(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 811 140**

(51) Int. CI.:

C21D 8/04	(2006.01)	***C22C 38/46***	(2006.01)
C21D 9/00	(2006.01)	***C22C 38/48***	(2006.01)
C22C 38/58	(2006.01)	***C22C 38/50***	(2006.01)
C22C 38/02	(2006.01)	***C22C 38/52***	(2006.01)
C22C 38/00	(2006.01)	***C22C 38/54***	(2006.01)
C22C 38/04	(2006.01)	***C21D 6/00***	(2006.01)
C22C 38/06	(2006.01)	***C21D 1/18***	(2006.01)
C22C 38/40	(2006.01)	***C21D 1/25***	(2006.01)
C22C 38/42	(2006.01)	***C21D 9/46***	(2006.01)
C22C 38/44	(2006.01)		

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **15.04.2016 PCT/JP2016/002044**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **27.10.2016 WO16170761**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.04.2016 E 16782785 (6)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.07.2020 EP 3287536**

(54) Título: **Acero inoxidable martensítico**

(30) Prioridad:

21.04.2015 JP 2015086981

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
10.03.2021

(73) Titular/es:

JFE STEEL CORPORATION (100.0%)
2-3, Uchisaiwai-cho 2-chome Chiyoda-ku
Tokyo 100-0011, JP

(72) Inventor/es:

NAKAMURA, TETSUYUKI;
SAMUKAWA, TAKASHI;
FUJISAWA, MITSUYUKI y
KAMI, CHIKARA

(74) Agente/Representante:

FÚSTER OLAGUIBEL, Gustavo Nicolás

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 inoxidable martensítico

Campo técnico

La presente divulgación se refiere a un acero inoxidable martensítico excelente en resistencia mecánica, alargamiento y resistencia a la corrosión.

Antecedentes

Los huecos entre dos partes del sistema de escape de un automóvil se sellan mediante partes de sellado denominadas juntas de estanqueidad para evitar fugas de gas de escape, refrigerante, aceite lubricante y similares. El hueco entre las partes se ensancha o se estrecha según la variación de presión en tuberías y similares, y es necesario que la junta de estanqueidad muestre un rendimiento de sello en cualquier caso, por lo que se forma una porción convexa denominada cordón en la junta de estanqueidad. El cordón se comprime y se relaja cuando se usa y el proceso se repite, por lo que se requiere una alta resistencia mecánica a la tracción. Además, el cordón puede someterse a un procesamiento intenso según su forma, por lo que también se requiere una excelente trabajabilidad para los materiales utilizados en la junta de estanqueidad. Además, la junta de estanqueidad está expuesta a gas de escape, refrigerante y similares cuando se usa, por lo que también es necesaria una resistencia a la corrosión. Puede producirse una ruptura provocada por la corrosión si el material usado en la junta de estanqueidad tiene una resistencia a la corrosión deficiente.

De manera convencional, habitualmente se usaban aceros inoxidables austeníticos que tienen tanto una alta resistencia mecánica como una alta trabajabilidad, tal como SUS301 (el 17% en masa de Cr – el 7% en masa de Ni) y SUS304 (el 18% en masa de Cr – el 8% en masa de Ni) como materiales de junta de estanqueidad. Sin embargo, dado que los aceros inoxidables austeníticos contienen un alto contenido de Ni, que es un elemento caro, existe un grave problema en lo que se refiere al coste del material. Además, los aceros inoxidables austeníticos también tienen un problema de alta propensión al agrietamiento por corrosión bajo tensión.

En respuesta a estos problemas, existen propuestas de aceros inoxidables martensíticos tales como SUS403 (el 12% en masa de Cr – el 0,13% en masa de C), y aceros inoxidables que comprenden una estructura de múltiples fases que contiene martensita. Ambos son aceros inoxidables económicos debido a un bajo contenido de Ni, y la resistencia mecánica de los mismos puede mejorarse mediante tratamiento térmico de temple.

Por ejemplo, el documento JP 2002-38243 A (PTL 1) divulga un acero inoxidable martensítico y un acero inoxidable de fase dual con fases de martensita y ferrita, cuyas propiedades de fatiga se mejoran realizando tratamiento térmico de temple en una atmósfera que contiene nitrógeno, nitrurando la capa de superficie y formando una fase de austenita.

El documento JP 2005-54272 A (PTL 2) divulga un acero inoxidable de fase dual con fases de martensita y ferrita cuya dureza y trabajabilidad se mantienen ambas realizando temple en un intervalo de temperatura de dos fases de austenita y ferrita.

El documento JP 2002-97554 A (PTL 3) divulga una estructura de acero inoxidable de múltiples fases, donde la capa de superficie consiste en fases de martensita y austenita retenida, y la capa interior consiste en una sola fase de martensita realizando tratamiento térmico de temple en una atmósfera que contiene nitrógeno.

Además, el documento JP H03-56621 A (PTL 4) divulga un acero inoxidable de fase dual con fases de martensita y ferrita cuyas propiedades de alabeo se mejoran realizando un tratamiento de envejecimiento después del tratamiento térmico de múltiples fases.

El documento JP H08-319519 A (PTL 5) divulga un acero inoxidable de fase dual con fases de martensita y ferrita que tienen una dureza deseada al proporcionar la razón de laminación en frío.

El documento JP 2001-140041 A (PTL 6) divulga un acero inoxidable donde la capa de superficie está con dos fases de martensita y austenita retenida.

El documento JP 2006-97050 A (PTL 7) divulga un acero inoxidable donde SUS403 y similares absorben nitrógeno y precipitan compuestos de nitrógeno sobre la capa de superficie.

El documento JP H07-316740 A (PTL 8) divulga una estructura de acero inoxidable de múltiples fases donde la capa de superficie con una profundidad de al menos 1 μm desde la superficie más exterior está cubierta con una capa monofásica de martensita.

El documento EP 1 840 237 A1 (PTL 9) se refiere a un producto tubular de uso petrolero de acero inoxidable martensítico que contiene en masa, del 0,005% al 0,1% de C, del 0,05% al 1% de Si, del 1,5% al 5% de Mn, como

máximo el 0,05% de P, como máximo el 0,01% de S, del 9% al 13% de Cr, como máximo el 0,5% de Ni, como máximo el 2% de Mo, como máximo el 2% de Cu, del 0,001% al 0,1% de Al y del 0,001% al 0,1% de N, siendo el resto Fe e impurezas, y la tubería tiene una región con empobrecimiento en Cr bajo la superficie.

El documento JP 2010-106315 A (PTL 10) D2 describe un acero inoxidable martensítico para un freno de disco que consiste en, en % en masa, el 0,025-0,055% de C, el 0,040-0,060% de N, el 0,25-0,45% de Si, el 1,0-1,5% de Mn, el 0,3% o menos de Ni, el 11,5-13,5% de Cr, el 0,3-0,8% de Cu, el 0,001-0,010% de Al y el resto Fe con impurezas inevitables, mientras que satisface las expresiones: C+0,8*N: el 0,055-0,080% y C/N=0,6-1,2, y mientras se controla γ p expresado mediante la expresión:

γ p = 420[% de C] + 470[% de N] + 23[% de Ni] + 9[% de Cu] + 7[Mn] - 11,5[% de Cr] - 11,5[% de Si] - 52[% de AL] + 189 de 85 a menos de 100; y tiene una dureza de 32-38 obtenida mediante HRC después de haberse templado.

El documento JP S63-28829 A (PTL 11) D3 se refiere a un procedimiento de fabricación de una chapa metálica de acero inoxidable al Cr con alta eficacia. El ejemplo 5 de D3 describe una composición de acero que consiste en, en % en masa, el 0,033% de C, el 0,006% de N, el 0,44% de Si, el 0,66% de Mn, el 0,016% de P, el 0,001% de S, el 0,01% de Ni, el 14,8% de Cr, el 0,013% de Al y el resto Fe con impurezas inevitables

El documento JP 2002-146489 A (PTL 12) trata de una chapa de acero inoxidable martensítico que tiene una alta resistencia al reblandecimiento por revenido producido por el aumento de temperatura en el uso de un freno de disco que puede usarse nada más templarse. Esta chapa de acero tiene una composición que contiene, en masa, del 0,03 al 0,10% de C, $\leq$ el 0,5% de Si, del 1,0 al 2,5% de Mn, de >10,0 al 15,0% de Cr, $\leq$ el 1,0% de Ni y $\leq$ el 0,5% de Cu, y que también contiene uno o más tipos seleccionados del 0,01 al 0,5% de Ti, del 0,01 al 0,5% de V, del 0,01 al 1,0% de Nb y del 0,01 al 1,0% de Zr, y que contiene además N en el intervalo que satisface la fórmula de N = de 0,005% al [(Ti+V)*14/50+(Nb+Zr)*14/90%], y el resto Fe con impurezas inevitables.

El documento JP S61-174361 A (PTL 13) se refiere al acero para el disco de freno de una motocicleta, etc., que tiene resistencia al óxido superior así como capacidad de endurecimiento, usándose el acero inoxidable martensítico que contiene el 0,04-0,10% de C, el 0,03-0,07% de N, < el 0,5% de Si, el 0,5-1,2% de Mn, < el 0,01% de S, el 10-15% de Cr, < el 0,6% de Ni y el 0,3-1,0% de Cu.

El documento WO 2014/148015 A1 (PTL 14) D6 es una chapa de acero inoxidable que muestra conformabilidad mejorada y su uso como un freno de disco de automóvil. Esta chapa de acero inoxidable contiene, en % en masa, del 0,015 a menos del 0,100% de C, del 0,01 al 1,00% de Si, del 0,01 al 2,00% de Mn, como máximo el 0,040% de P, como máximo el 0,030% de S, del 10,0 a menos del 14,0% de Cr, del 0,01 al 0,70% de Ni, del 0,001 al 0,200% de Al, del 0,005 al 0,080% de N, como máximo el 0,0060% de O, del 0,0002 al 0,0030% de B y del [10x(contenido en B) (%)] al 0,300% de V, siendo el resto Fe e impurezas inevitables.

El documento EP 1 314 791 A1 (PTL 15) proporciona una chapa de acero inoxidable martensítico que es difícil de ablandar mediante revenido producido por calentamiento durante el uso de un freno de disco y puede mantener la dureza predeterminada. La chapa contiene, basándose en el porcentaje en masa, del 0,030% al 0,100% de C; el 0,50% o menos de Si; del 1,00% al 2,50% de Mn; más del 10,00% al 15,00% de Cr; al menos uno seleccionado del grupo que consiste en del 0,01% al 0,50% de Ti, del 0,01% al 0,50% de V, del 0,01% al 1,00% de Nb y del 0,01% al 1,00% de Zr; N en una cantidad definida por la siguiente expresión, N: del 0,005% a (Ti + V) x 14/50 + (Nb + Zr) x 14/90; y siendo el resto Fe e impurezas imprevistas. La chapa contiene además, basándose en porcentaje en masa, más del 0,040% al 0,100% de C + N y del 0,02% al 0,50% en total de al menos uno seleccionado del grupo que consiste en del 0,01% al 0,50% de V, del 0,01% al 0,50% de Nb, del 0,01% al 0,50% de Ti, del 0,01% al 0,50% de Zr, el 0,50% o menos de Ta, y el 0,50% o menos de Hf, y contiene además Mo, B, Co, W, Ca, y Mg según sea necesario.

Lista de referencias

Bibliografía de patentes

PTL 1: Documento JP 2002-38243 A

PTL 2: Documento JP 2005-54272 A

PTL 3: Documento JP 2002-97554 A

PTL 4: Documento JP H03-56621 A

PTL 5: Documento JP H08-319519 A

PTL 6: Documento JP 2001-140041 A

PTL 7: Documento JP 2006-97050 A

PTL 8: Documento JP H07-316740 A

PTL 9: Documento EP 1 840 237 A1

PTL 10: Documento JP 2010-106315 A

PTL 11: Documento JP S63-28829 A

PTL 12: Documento JP 2002-146489 A

PTL 13: Documento JP S61-174361 A

PTL 14: Documento WO 2014/148015 A1

PTL 15: Documento EP 1 314 791 A1

Sumario

(Problema técnico)

Sin embargo, todos los aceros inoxidables de los documentos PTL 1 a 3 aumentan el contenido en C para aumentar la resistencia mecánica, y por tanto tienen problemas en la trabajabilidad.

En el documento PTL 4, el acero inoxidable puede obtener una dureza deseada cuando el contenido en C o el contenido en Ni es alto. Sin embargo, un alto contenido de C hace que la trabajabilidad sea insuficiente, y un alto contenido de Ni requiere altos costes.

En el documento PTL 5, la trabajabilidad del acero inoxidable disminuye debido a la laminación en frío, y en los documentos PTL 6 y 7, la trabajabilidad de los aceros inoxidables también es insuficiente. Por tanto, es difícil decir que se ha logrado suficientemente una compatibilidad de la resistencia mecánica y la trabajabilidad para estos aceros inoxidables en los documentos PTL 5 a 7.

Además, en cuanto al acero inoxidable en el documento PTL 8, hay problemas de que la trabajabilidad es deficiente debido a un alto contenido de C, o no puede garantizarse una resistencia mecánica suficiente debido a los bajos contenidos tanto de C como de N, o no puede garantizarse una resistencia mecánica suficiente debido a un alto contenido de Cr.

Tal como se describió anteriormente, los aceros inoxidables martensíticos tienen una pequeña propensión al agrietamiento por corrosión bajo tensión y un precio económico en comparación con el acero inoxidable austenítico, aunque la trabajabilidad del mismo es deficiente. En cuanto a los aceros inoxidables martensíticos templados, la trabajabilidad puede mejorarse realizando tratamiento térmico a una temperatura relativamente baja denominado revenido, aunque tal tratamiento conduce a una disminución en la resistencia mecánica y la resistencia a la corrosión debido a la precipitación de carburo de Cr.

Con el objetivo de resolver los problemas mencionados anteriormente, podría ser útil proporcionar un acero inoxidable martensítico que tenga compatibilidad entre una resistencia mecánica y una trabajabilidad excelentes, y que posea además una resistencia a la corrosión excelente.

(Solución al problema)

Se estudió la resistencia mecánica, la trabajabilidad y la resistencia a la corrosión de aceros inoxidables martensíticos, particularmente la influencia del contenido en C y el contenido en N sobre la resistencia mecánica, la trabajabilidad y la resistencia a la corrosión, y se descubrió lo siguiente.

(1) Aunque el C aumenta eficazmente la resistencia mecánica después del temple, reduce significativamente la trabajabilidad, particularmente el alargamiento. Por otro lado, aunque el N es ligeramente inferior al C en el efecto de aumentar la resistencia mecánica, su desventaja de disminuir el alargamiento es menor que la del C. Por tanto, resulta eficaz usar N para mejorar la resistencia mecánica y el alargamiento en buen equilibrio.

(2) Al optimizar el contenido en Cr y el contenido en Ni, y luego aumentar el N y suprimir el C hasta que el contenido en N es igual a o mayor que el contenido en C, puede obtenerse un acero inoxidable martensítico que tiene un equilibrio excelente de resistencia mecánica-alargamiento, donde se garantiza una resistencia mecánica suficiente y también se logra un alargamiento excelente.

(3) Cuando el contenido en C aumenta, la resistencia a la corrosión tiende a disminuir debido a la precipitación de

carburo de Cr grueso. Por otro lado, cuando el contenido en N aumenta, precipita nitruro de Cr, aunque el nitruro se engrosa más que el carburo. Por tanto, controlando el contenido en C y el contenido en N del modo descrito en (2), es posible minimizar la disminución de la resistencia a la corrosión después del temple y después del revenido.

La divulgación se basa en los descubrimientos mencionados anteriormente y en estudios adicionales.

En detalle, se proporciona:

1. Un acero inoxidable martensítico tal como se define en la reivindicación.

(Efecto ventajoso)

Según la divulgación, se obtiene un acero inoxidable martensítico que tiene compatibilidad entre una resistencia mecánica y una trabajabilidad excelentes, y que posee además una resistencia a la corrosión excelente no sólo en los casos en que se realiza con un simple tratamiento de temple, sino también en los casos en que se realiza con el tratamiento de temple-revenido. El acero inoxidable martensítico puede usarse de manera adecuada en una parte de junta de estanqueidad de un automóvil.

Breve descripción de los dibujos

La divulgación se describirá adicionalmente a continuación con referencia a los dibujos adjuntos, donde:

la figura 1 es un gráfico que ilustra los resultados de evaluación de la resistencia mecánica a la tracción y el alargamiento en chapas de acero con diversas composiciones químicas, que se representan gráficamente con respecto al contenido en C y el contenido en N.

Descripción detallada

La divulgación se describirá en detalle a continuación.

En primer lugar se describe la composición química del acero inoxidable. A continuación en el presente documento, la unidad “%” relativa al contenido de elementos en la composición química se refiere a “% en masa”, a menos que se especifique de otro modo.

C: el 0,020% o más y menos del 0,10%

El C estabiliza la fase de austenita a alta temperatura y aumenta el contenido en martensita después del tratamiento térmico de temple. El aumento del contenido en martensita aumenta en gran medida la resistencia mecánica. El C refuerza en gran medida el acero al endurecer la propia martensita. Este efecto se obtiene al contener C en un contenido del 0,020% o más. Sin embargo, un contenido en C del 0,10% o más tiende a reducir la trabajabilidad y dificulta obtener un equilibrio excelente de resistencia mecánica-alargamiento. Además, puesto que el C se combina con el Cr en el acero y precipita como carburos, un aumento excesivo de C reduce el contenido en Cr disuelto en el acero, y por consiguiente la resistencia a la corrosión del acero se deteriora. A continuación en el presente documento, el contenido en Cr disuelto en el acero se denomina simplemente el contenido en Cr en el acero a menos que se especifique de otro modo. Por tanto, el contenido en C es del 0,020% o más y menos del 0,10%. Cuando el contenido en C es del 0,050% o más, realizar el tratamiento térmico de revenido después del temple mejora la trabajabilidad, pero reduce significativamente la resistencia mecánica, y por consiguiente no puede obtenerse un equilibrio excelente de resistencia mecánica-alargamiento. Desde este punto de vista, el contenido en C es preferiblemente de menos del 0,050%.

Si: más del 0,3% y el 2,0% o menos

El Si es un elemento eficaz para aumentar la resistencia mecánica del acero. Este efecto se obtiene al contener Si en un contenido del 0,01% o más. Sin embargo, el Si es también un elemento que facilita la formación de una fase de ferrita a alta temperatura. Un contenido en Si de más del 2,0% reduce el contenido en martensita después del tratamiento térmico de temple, y por consiguiente no puede obtenerse una resistencia mecánica deseada. Por tanto, el contenido en Si es de más del 0,3% y del 2,0% o menos. El contenido en Si es preferiblemente del 1,0% o menos.

Mn: el 0,01% o más y el 3,0% o menos

El Mn es un elemento que estabiliza la fase de austenita a alta temperatura y puede aumentar el contenido en martensita después del tratamiento térmico de temple. El Mn también aumenta la resistencia mecánica del acero. Estos efectos se obtienen al contener Mn en un contenido del 0,01% o más. Sin embargo, un contenido en Mn de más del 3,0% o más deteriora la trabajabilidad del acero. Por tanto, el contenido en Mn es del 0,01% o más y del 3,0% o menos. El contenido en Mn es preferiblemente de más del 0,3%. El contenido en Mn es preferiblemente del 2,0% o menos. El contenido en Mn es más preferiblemente de más del 0,7%. El contenido en Mn es más preferiblemente del

1,6% o menos. Sin embargo, en un caso en que el contenido en Cu es del 1,0% o más, que se describirá más adelante, un contenido en Mn de más del 1,0% deteriora tanto la trabajabilidad como la capacidad de endurecimiento por temple del acero. Por tanto, cuando el contenido en Cu es del 1,0% o más, es necesario mantener el contenido en Mn al 1,0% o menos.

P: el 0,050% o menos

El P es un elemento que deteriora la tenacidad y su contenido es preferiblemente lo más bajo posible. Por tanto, el contenido en P es del 0,050% o menos. El contenido en P es preferiblemente del 0,040% o menos. El contenido en P es más preferiblemente del 0,030% o menos. El límite inferior del contenido en P no está limitado particularmente. Sin embargo, la retirada excesiva de P aumenta los costes de fabricación, y por tanto su contenido de manera habitual es de aproximadamente el 0,010%.

S: el 0,050% o menos

El S es un elemento que deteriora la conformabilidad y la resistencia a la corrosión, y su contenido es preferiblemente lo más bajo posible. Por tanto, el contenido en S es del 0,050% o menos. El contenido en S es preferiblemente del 0,010% o menos. El contenido en S es más preferiblemente del 0,005% o menos. El límite inferior del contenido en S no está limitado particularmente. Sin embargo, la retirada excesiva de S aumenta los costes de fabricación, y por tanto su contenido de manera habitual es de aproximadamente el 0,001%.

Cr: el 10,0% o más y el 16,0% o menos

El Cr es un elemento importante para garantizar la resistencia a la corrosión. Este efecto se obtiene al contener Cr en un contenido del 10,0% o más. Por otro lado, un contenido en Cr de más del 16,0% endurece el acero y se deteriora la capacidad de fabricación y la trabajabilidad. Además, puesto que es más fácil que se forme una fase de ferrita, el contenido en martensita después del tratamiento térmico de temple se reduce. La reducción del contenido en martensita reduce la resistencia mecánica. Por tanto, el contenido en Cr está en un intervalo del 10,0% o más y del 16,0% o menos. El contenido en Cr es preferiblemente del 11,0% o más. El contenido en Cr es preferiblemente del 14,0% o menos.

Ni: el 0,01% o más y el 0,80% o menos

El Ni es un elemento que estabiliza la fase de austenita a alta temperatura y tiene el efecto de aumentar el contenido en martensita después del tratamiento térmico de temple. También ayuda a reforzar en gran medida el acero. Estos efectos se obtienen al contener Ni en un contenido del 0,01% o más. Por otro lado, un contenido en Ni de más del 0,80% deteriora la trabajabilidad y por consiguiente no puede obtenerse un equilibrio excelente de resistencia mecánica-alargamiento. Por tanto, el contenido en N es del 0,01% o más y del 0,80% o menos. El contenido en Ni es preferiblemente de menos del 0,50%. El contenido en Ni es más preferiblemente de menos del 0,30%.

Al: el 0,001% o más y el 0,50% o menos

El Al es un elemento eficaz para la desoxidación. Este efecto se obtiene al contener Al en un contenido del 0,001% o más. Sin embargo, el Al es también un elemento que estabiliza la fase de ferrita a alta temperatura. Cuando el contenido en Al es de más del 0,50%, no puede garantizarse un contenido en martensita suficiente después del tratamiento térmico de temple. Por tanto, el contenido en Al está en un intervalo del 0,001% o más y del 0,50% o menos. El contenido en Al es preferiblemente del 0,02% o más. El contenido en Al es preferiblemente del 0,35% o menos. El contenido en Al es más preferiblemente del 0,02% o más. El contenido en Al es más preferiblemente del 0,10% o menos.

N: más del 0,050% y el 0,20% o menos

El N puede aumentar enormemente la resistencia mecánica del acero inoxidable martensítico al igual que el C, y es un elemento importante en la divulgación. El N también aumenta el contenido en martensita después del tratamiento térmico de temple al estabilizar la fase de austenita a alta temperatura, y refuerza en gran medida el acero al endurecer la propia martensita. Este efecto se obtiene al contener N en un contenido de más del 0,050%. Por otro lado, un contenido en N de más del 0,20% deteriora la trabajabilidad. Por tanto, el contenido en N está en un intervalo de más del 0,050% y del 0,20% o menos. El contenido en N es preferiblemente de más del 0,050%. El contenido en N es preferiblemente de menos del 0,12%. Además, en un caso en que el contenido en N es de más del 0,060%, realizar el tratamiento térmico de revenido después del temple puede aumentar la resistencia mecánica sin reducir el alargamiento, puesto que el N precipita como nitruros finos durante el tratamiento térmico de revenido. Desde este punto de vista, el contenido en N es más preferiblemente de más del 0,060%. El contenido en N es todavía más preferiblemente de más del 0,070%.

Además de satisfacer la composición química, en particular ajustando el contenido en C y el contenido en N dentro del intervalo, también es muy importante satisfacer la siguiente expresión de relación (1) en cuanto al contenido en C

y contenido en N para el acero inoxidable de la divulgación.

% de N ≥ % de C (1)

donde el % de C y el % de N indican respectivamente los contenidos de C y N (% en masa) en el acero.

A continuación en el presente documento se explicarán los experimentos que se realizaron para decidir el contenido en C y el contenido en N de la divulgación para satisfacer la expresión de relación (1) después de haberse ajustado dentro del intervalo anterior.

(Experimento 1)

Un lingote de acero que tenía una composición química cuyos contenidos en C y N se modifican en una variedad, se fundió y se coló en un horno de fusión al vacío, conteniendo también el acero, en % en masa, Si: el 0,01% o más y el 2,0% o menos, Mn: el 0,01% o más y el 3,0% o menos, P: el 0,050% o menos, S: el 0,050% o menos, Cr: el 10,0% o más y el 16,0% o menos, Ni: el 0,01% o más y el 0,80% o menos, y Al: el 0,001% o más y el 0,50% o menos. Después de calentar el lingote de acero hasta 1200ºC, se realizó laminación en caliente para obtener una barra de chapa de 25 mm de grosor x 150 mm de anchura. La barra de chapa se mantuvo y se ablandó en un horno a 700ºC durante 10 horas. A continuación, la barra de chapa se calentó hasta 1100ºC y se laminó en caliente para dar una chapa laminada en caliente que tenía un grosor de 4 mm. A continuación, la chapa laminada en caliente se mantuvo y se recoció en un horno a 700ºC durante 10 horas para obtener una chapa recocida laminada en caliente. A continuación, la chapa recocida laminada en caliente se laminó en frío para dar una chapa laminada en frío que tenía un grosor de 0,2 mm. La chapa laminada en frío se sometió a tratamiento térmico de temple dentro de un intervalo de temperatura de desde 900ºC hasta 1100ºC y luego se enfrió. La velocidad de enfriamiento se estableció a 1ºC/s o más en todos los casos. Además, para algunas de las chapas laminadas en frío, se realizó tratamiento térmico de revenido dentro de un intervalo de temperatura de desde 200ºC hasta 600ºC cuando la chapa se había enfriado después del tratamiento térmico de temple.

Usando una chapa de acero inoxidable martensítico laminada en frío (material templado y material templado-revenido) preparada del modo descrito anteriormente, se preparó una probeta para ensayos de tracción n.º 5 según la norma JIS con su dirección longitudinal paralela a la dirección de laminación y se sometió a un ensayo de tracción a temperatura ambiente para medir la resistencia mecánica a la tracción (T. S.) y alargamiento (EL). La distancia de calibre original fue de 50 mm y la velocidad de tracción fue de 10 mm/min. Se realizó el ensayo con cada acero N = 2, y se evaluó el valor promedio. Se calculó el alargamiento (EL) mediante la siguiente ecuación haciendo contacto estrechamente entre dos probetas para ensayos rotas de modo que el eje de la probeta para ensayos estuviera en una línea recta y midiendo la distancia de calibre final.

EL (%) = (Lu – L0) / L0 x 100

donde EL es el alargamiento (alargamiento tras fractura), L0 es la distancia de calibre original y Lu es la distancia de calibre final.

Los resultados de la evaluación se ilustran en la figura 1, representada gráficamente con respecto a los contenidos en C y N. Los significados de los círculos y las cruces en la figura 1 son los siguientes.

círculo: resistencia a la tracción (T. S.) ≥ 1200 MPa y alargamiento (EL) ≥ el 7,5%

cruz: resistencia a la tracción (T. S.) < 1200 MPa y/o alargamiento (EL) < el 7,5%

Tal como se ilustra en la figura 1, ajustar el contenido en C y el contenido en N respectivamente en los intervalos del 0,020% o más y menos del 0,10%, más del 0,050% y el 0,20% o menos, y satisfacer la expresión de relación anterior (1) pueden garantizar una resistencia mecánica suficiente y obtener un alargamiento excelente al mismo tiempo. Cuando el contenido en C y/o el contenido en N estaban fuera del intervalo predeterminado, no se obtuvieron una resistencia mecánica y/o alargamiento suficientes, ni siquiera se satisfizo la expresión de relación (1).

Por tanto, para el acero inoxidable de la divulgación, el contenido en C y el contenido en N se ajustan respectivamente dentro de los intervalos y para satisfacer la expresión de relación (1).

Tal como se describió anteriormente, el C y el N son ambos elementos eficaces que refuerzan en gran medida los aceros inoxidables martensíticos. Sin embargo, aumentar el contenido en C deteriora la trabajabilidad significativamente, y por tanto es necesario suprimir el contenido en C. En lugar del C, aumentar el contenido de N, que puede aumentar la resistencia mecánica con menos deterioro de la trabajabilidad, posibilita lograr tanto resistencia mecánica excelente como trabajabilidad excelente.

Además, tal como se ilustra en la figura 1, aunque el contenido en C y el contenido en N se ajusten respectivamente a los intervalos del 0,020% o más y menos del 0,10%, más del 0,050% y el 0,20% o menos, no puede obtenerse un

acero inoxidable con alta resistencia mecánica y alta trabajabilidad si la expresión de relación (1) no se satisface. Particularmente, cuando el % de N < el % de C, la influencia sobre el equilibro resistencia mecánica-alargamiento del acero está dominada por el C, que refuerza el acero excesivamente y deteriora la trabajabilidad, y por consiguiente el efecto de N de reforzar en gran medida el acero sin deteriorar la trabajabilidad no se muestra eficazmente. Sin embargo, al satisfacer que el % de N ≥ el % de C, el N se convierte en el factor dominante de resistencia mecánica-alargamiento, y puede obtenerse el efecto de lograr alta resistencia mecánica sin deteriorar la trabajabilidad. Además, cuando el % de N < el % de C, la resistencia a la corrosión se deteriora porque los carburos gruesos precipitan preferentemente durante el enfriamiento después del tratamiento térmico de temple o durante el tratamiento térmico de revenido. Por otro lado, cuando el % de N ≥ el % de C, precipitan nitruros finos antes de la precipitación de los carburos gruesos. Los nitruros finos tienen menos influencia perjudicial sobre la resistencia a la corrosión del acero que los carburos gruesos, y por consiguiente puede impedirse el deterioro de la resistencia a la corrosión.

Tal como se describió anteriormente, con el fin de obtener un acero excelente en resistencia mecánica, trabajabilidad (alargamiento) y resistencia a la corrosión, es necesario aprovechar al máximo el efecto del N, que requiere ajustar el contenido en C y el contenido en N, respectivamente, en los intervalos del 0,020% o más y menos del 0,10%, más del 0,050% y el 0,20% o menos, y satisfacer la expresión de relación (1).

Con respecto a la expresión de relación (1), es preferiblemente el % de N ≥ 1,05 x el % de C, y más preferiblemente el % de N ≥ 1,16 x el % de C. Sin embargo, cuando el % de N > 5 x el % de C, se forman nitruros gruesos, y se deterioran tanto la resistencia mecánica como la resistencia a la corrosión. Por tanto, es el % de N ≤ 5 x el % de C.

Aunque el C y el N son eficaces para aumentar en gran medida la resistencia mecánica, el efecto no puede mostrarse suficientemente cuando el % de C + el % de N < 0,10%. Por tanto, es el % de C + el % de N ≥ 0,10%.

Además de los componentes básicos descritos anteriormente, el acero inoxidable de esta divulgación contiene Nb y V y, si es necesario, uno o más seleccionados de Cu, Mo y Co, uno o más seleccionados de Ti y Zr, y uno o más seleccionados de B, Ca y Mg en los intervalos siguientes.

Cu: el 0,01% o más y el 5,0% o menos

El Cu precipita finamente en el acero y refuerza en gran medida el acero durante el enfriamiento del tratamiento térmico de temple. Por otro lado, puesto que el Cu precipita finamente, hay poca influencia perjudicial sobre el alargamiento. Tal efecto de gran reforzamiento se obtiene al contener Cu en un contenido del 0,01% o más. Sin embargo, un contenido en Cu de más del 5,0% no solo satura el efecto de reforzamiento, sino que también endurece el acero y deteriora la trabajabilidad. Por tanto, cuando se contiene, el contenido en Cu está en un intervalo del 0,01% o más y del 5,0% o menos. El contenido en Cu es preferiblemente del 0,05% o más. El contenido en Cu es preferiblemente del 3,5% o menos. El contenido en Cu es más preferiblemente de más del 0,5%. El contenido en Cu es más preferiblemente del 3,0% o menos.

Además, el Cu precipita finamente en el acero y aumenta en gran medida, no sólo la resistencia mecánica, sino también la carga de prueba durante tratamiento térmico de revenido. Este efecto se obtiene al contener Cu en un contenido del 1,0% o más. Sin embargo, si el contenido en Mn es de más del 1,0% al mismo tiempo, se reducen tanto la trabajabilidad como la capacidad de endurecimiento por temple del acero. Por tanto, cuando el contenido en Cu es del 1,0% o más, es necesario mantener el contenido en Mn del 1,0% o menos.

Mo: el 0,01% o más y el 0,50% o menos

El Mo es un elemento que aumenta la resistencia mecánica del acero por endurecimiento de soluto. Este efecto se obtiene al contener Mo en un contenido del 0,01% o más. Sin embargo, el Mo es caro, y un contenido en Mo de más del 0,50% deteriora la trabajabilidad del acero. Por tanto, cuando se contiene, el contenido en Mo está en un intervalo del 0,01% o más y del 0,50% o menos. El contenido en Mo es preferiblemente del 0,02% o más. El contenido en Mo es preferiblemente del 0,25% o menos.

Co: el 0,01% o más y el 0,50% o menos

El Co es un elemento que mejora la tenacidad del acero. Este efecto se obtiene al contener Co en un contenido del 0,01% o más. Por otro lado, Co es caro, y un contenido en Co de más del 0,50% no solo satura el efecto, sino que también deteriora la trabajabilidad. Por tanto, cuando se contiene, el contenido en Co está en un intervalo del 0,01% o más y del 0,50% o menos. El contenido en Co es preferiblemente del 0,02% o más. El contenido en Co es preferiblemente del 0,25% o menos. El contenido en Co es más preferiblemente del 0,02% o más. El contenido en Co es más preferiblemente del 0,10% o menos.

Ti: el 0,01% o más y el 0,50% o menos

El Ti se combina con C y precipita como carburos, y se combina con N y precipita como nitruros. Esto suprime la

formación de carburos de Cr o nitruros de Cr durante el enfriamiento después del tratamiento térmico de temple, y por consiguiente mejora la resistencia a la corrosión del acero. Este efecto se obtiene al contener Ti en un contenido del 0,01% o más. Por otro lado, cuando el contenido en Ti es de más del 0,50%, precipitan nitruros de Ti gruesos y se deteriora la tenacidad del acero. Por tanto, cuando se contiene, el contenido en Ti está en un intervalo del 0,01% o más y del 0,50% o menos. El contenido en Ti es preferiblemente del 0,02% o más. El contenido en Ti es preferiblemente del 0,25% o menos.

Nb: el 0,002% o más y menos del 0,050%

El Nb afina el tamaño de grano y mejora la resistencia mecánica y la trabajabilidad. Este efecto se obtiene al contener Nb en un contenido del 0,002% o más. Además, el Nb se combina con C y precipita como carburos finos, lo que suprime la precipitación de carburos de Cr gruesos y mejora la deformabilidad final. En un caso en que se realiza localmente un procesamiento grave tal como el cordón (parte convexa) de una junta de estanqueidad, mejorar el alargamiento medido en un ensayo de tracción habitual es un método para mejorar la trabajabilidad. Adicionalmente, mejorar la deformabilidad final también es eficaz. Además, el Nb suprime la precipitación de carburos de Cr, lo que impide la disminución del contenido en Cr en el acero, y mejora la resistencia a la corrosión. Por otro lado, cuando el contenido en Nb es del 0,15% o más, precipita una gran cantidad de carburos de Nb, disminuye el contenido en C disuelto en el acero, y se reduce la capacidad de resistencia mecánica de la fase de martensita. El contenido en Nb está en un intervalo del 0,002% o más y menos del 0,050%. El contenido en Nb es preferiblemente del 0,005% o más. El contenido en Nb es más preferiblemente del 0,020% o más. El contenido en Nb es todavía más preferiblemente del 0,030% o menos.

V: el 0,01% o más y menos del 0,10%

El V es un elemento eficaz que mejora tanto la resistencia mecánica a alta temperatura como la resistencia a la corrosión. El C y el N disueltos en el acero se combinan preferiblemente con el Cr y precipitan como carburos o nitruros (a continuación en el presente documento, el carburo y el nitruro pueden denominarse colectivamente carbonitruro). Cuando los carbonitruros de Cr precipitan, el contenido en Cr en el acero disminuye en la cantidad convertida en carbonitruros, y la resistencia a la corrosión del acero se deteriora. Sin embargo, el C y el N se combinan con V antes de combinarse con Cr, y precipitan finamente como carbonitruros de V. Por tanto, al contener V, se suprime la precipitación de carbonitruros de Cr, y puede impedirse el deterioro de la resistencia a la corrosión del acero. Además, el V se combina de manera particularmente preferente con el N disuelto en el acero y precipita como nitruros finos, lo que suprime la precipitación de nitruros de Cr gruesos y mejora la deformabilidad final. Los efectos se obtienen al contener V en un contenido del 0,01% o más. Sin embargo, cuando el contenido en V es de más del 0,50%, los carbonitruros de V gruesos precipitan, y se deterioran la trabajabilidad y la tenacidad. Los carbonitruros de V gruesos también tienden a ser un punto de partida de corrosión, y por tanto la resistencia a la corrosión se deteriora por el contrario. El contenido en V está en un intervalo del 0,01% o más y menos del 0,1%. El contenido en V es preferiblemente del 0,02% o más. El contenido en V es preferiblemente del 0,05% o menos.

Tal como se describió anteriormente, el Nb tiende a combinarse con C y precipita como carburos, y el V tiende a combinarse con N y precipita como nitruros. Por tanto, al contener Nb: el 0,002% o más y menos del 0,050%, V: el 0,01% o más y menos del 0,10% al mismo tiempo, y satisfacer la siguiente expresión de relación (2), es posible mejorar adicionalmente la deformabilidad final a la vez que se mantiene alta resistencia mecánica.

$$\%\text{ de Nb} + \%\text{ de V} \leq \%\text{ de C} + \%\text{ de N} \qquad (2)$$

donde el % de C, el % de N, el % de Nb y el % de V indican respectivamente los contenidos de C, N, Nb y V (% en masa) en el acero.

Es decir, dado que el Nb y el V se combinan respectivamente con C y N y precipitan como carburos y nitruros, el contenido en C y el contenido en Ni en el acero disminuyen con el aumento de los contenidos de Nb y V, y la resistencia mecánica tiende a reducirse. Por tanto, con el fin de mejorar la deformabilidad final a la vez que se mantiene una alta resistencia mecánica, es necesario ajustar el Nb y el V en un intervalo predeterminado y contenerlos al mismo tiempo, y satisfacer una relación predeterminada entre el contenido total de contenido en Nb y contenido en V, y el contenido total de contenido en C y contenido en Ni. Específicamente, es particularmente eficaz satisfacer la expresión de relación (2) con Nb: el 0,002% o más y menos del 0,050%, V: el 0,01% o más y menos del 0,10%.

Además, el contenido en Nb es preferiblemente del 0,005% o más. El contenido en Nb es más preferiblemente del 0,020% o más. El contenido en Nb es todavía más preferiblemente del 0,030% o menos.

El contenido en V es más preferiblemente del 0,02% o más. El contenido en V es todavía más preferiblemente del 0,05% o menos.

En cuanto a la expresión de relación (2), es más preferible satisfacer (Nb% + V%) x 1,5 ≤ el % de C + el % de N.

Zr: el 0,01% o más y el 0,50% o menos

El Zr se combina con C y precipita como carburos, y se combina con N y precipita como nitruros. Esto suprime la carburación y la nitruración del Cr, y por consiguiente mejora la resistencia a la corrosión del acero. Además, el Zr también tiene el efecto de reforzar en gran medida el acero. Los efectos se obtienen al contener Zr en un contenido del 0,01% o más. Por otro lado, cuando el contenido en Zr es de más del 0,50%, precipitan carbonitruros y nitruros de Zr gruesos, y por consiguiente la tenacidad se deteriora. Por tanto, cuando se contiene, el contenido en Zr está en un intervalo del 0,01% o más y el 0,50% o menos. El contenido en Zr es preferiblemente del 0,02% o más. El contenido en Zr es preferiblemente del 0,25% o menos.

B: el 0,0002% o más y el 0,0100% o menos

El B es un elemento que mejora eficazmente la trabajabilidad. Este efecto se obtiene al contener B en un contenido del 0,0002% o más. Sin embargo, un contenido en B de más del 0,0100% deteriora la trabajabilidad y la tenacidad del acero. Además, el B se combina con el N en el acero y precipita como nitruros, por lo que el contenido en martensita disminuye y la resistencia mecánica del acero se reduce. Por tanto, cuando se contiene, el contenido en B está en un intervalo del 0,0002% o más y del 0,0100% o menos. El contenido en B es preferiblemente del 0,0005% o más. El contenido en B es preferiblemente del 0,0050% o menos. El contenido en B es más preferiblemente del 0,0010% o más. El contenido en B es más preferiblemente del 0,0030% o menos.

Ca: el 0,0002% o más y el 0,0100% o menos

El Ca es un componente que impide eficazmente la obstrucción de la boquilla al precipitar inclusiones que tienden a formarse durante una colada continua. Este efecto se obtiene al contener Ca en un contenido del 0,0002% o más. Por otro lado, cuando el contenido en Ca es de más del 0,0100%, se generan defectos de superficie. Por tanto, cuando se contiene, el contenido en Ca está en un intervalo de desde el 0,0002% hasta el 0,0100%. El contenido en Ca es preferiblemente del 0,0002% o más. El contenido en Ca es preferiblemente del 0,0030% o menos. El contenido en Ca es más preferiblemente del 0,0005% o más. El contenido en Ca es más preferiblemente del 0,0020% o menos.

Mg: el 0,0002% o más y el 0,0100% o menos

El Mg es un elemento que suprime eficazmente el engrosamiento de carbonitruros. Cuando los carbonitruros precipitan de manera gruesa, se convierten en el origen de grietas por fragilidad, y por consiguiente la tenacidad se deteriora. El efecto de mejorar la tenacidad se obtiene al contener Mg en un contenido del 0,0002% o más. Por otro lado, cuando el contenido en Mg es de más del 0,0100%, las características de superficie del acero se deterioran. Por tanto, cuando se contiene, el contenido en Mg está en un intervalo del 0,0002% o más y del 0,0100% o menos. El contenido en Mg es preferiblemente del 0,0002% o más. El contenido en Mg es preferiblemente del 0,0030% o menos. El contenido en Mg es más preferiblemente del 0,0005% o más. El contenido en Mg es más preferiblemente del 0,0020% o menos.

El resto distinto de los componentes anteriores contiene Fe e impurezas imprevistas.

Para el acero inoxidable martensítico de la divulgación, la composición química contiene además preferiblemente, si es necesario, uno o más seleccionados de Cu, Mo y Co, uno o más seleccionados de Ti y Zr, y uno o más seleccionados de B, Ca y Mg en un contenido predeterminado, además de los componentes básicos mencionados anteriormente, conteniendo el resto Fe e impurezas imprevistas.

La estructura del acero inoxidable martensítico de la divulgación está principalmente en una fase de martensita con el fin de obtener un material de alta resistencia mecánica de 1200 MPa o más. Específicamente, el 80% o más en razón en volumen de toda la estructura está en una fase de martensita, y el resto está en una fase de ferrita y/o una fase de austenita retenida. Es preferible, sin embargo, que el 90% o más en razón en volumen sea martensita, incluso en una sola fase de martensita.

En cuanto a la razón en volumen de la fase de martensita, se determina preparando una probeta para ensayos para la observación en sección transversal de la chapa final laminada en frío después del temple o el revenido, sometiéndola a tratamiento de ataque químico con agua regia, observando luego 10 campos de visión bajo un microscopio óptico con un aumento de 100 veces, distinguiendo la fase de martensita, la fase de ferrita y la fase de austenita retenida a partir de la forma de estructura y la fuerza del ataque químico, obteniendo entonces las razones en volumen de la fase de martensita mediante procesamiento de imágenes, y calculando el valor promedio.

Lo siguiente describe un método de producción adecuado para el acero inoxidable martensítico divulgado actualmente.

El acero inoxidable martensítico puede producirse fundiendo un acero que contiene la composición química en un horno de fusión tal como un convertidor o un horno de calentamiento eléctrico, sometiéndolo a un afino secundario tal como afino en cuchara y afino a vacío, obteniendo un desbaste plano mediante el método de colada continua o el método de obtención de lingotes-desbaste, sometiéndolo a laminación en caliente, recocido de banda en caliente, decapando para obtener una chapa recocida laminada en caliente, y luego realizando laminación en frío, tratamiento

térmico de temple, y todas las etapas de decapado, tratamiento térmico de revenido, etc. si es necesario para obtener una chapa laminada en frío.

Por ejemplo, un acero fundido se funde en un convertidor o un horno de calentamiento eléctrico o similar, y se somete a un afino secundario mediante el método de VOD (descarburación con oxígeno al vacío) o el método de AOD (descarburación al argón-oxígeno) para obtener la composición química mencionada anteriormente, y entonces se obtiene un desbaste plano mediante el método de colada continua. En ese momento, con el fin de disminuir el contenido en C y aumentar el contenido en N y mantener el contenido en N igual o mayor que el contenido en C, se añaden materiales de partida que contienen nitrógeno tales como nitruro de cromo o se sopla gas nitrógeno, si es necesario, para mantener el contenido en N a un nivel predeterminado. El desbaste plano se calienta hasta de 1000ºC a 1250ºC para obtener una chapa laminada en caliente de grosor deseado mediante laminación en caliente. La chapa laminada en caliente se somete a recocido discontinuo a una temperatura de 600ºC a 800ºC, y entonces se retira la cascarilla de óxido mediante granallado y decapado para obtener una chapa recocida laminada en caliente. La chapa recocida laminada en caliente se somete adicionalmente a laminación en frío, tratamiento térmico de temple y luego se enfría para obtener una chapa laminada en frío. En la etapa de laminación en frío, pueden realizarse dos o más periodos de laminación en frío incluyendo recocido intermedio, si es necesario. La reducción por laminación total en la etapa de laminación en frío que contiene uno o más periodos de laminación en frío es del 60% o más, preferiblemente del 80% o más. Con el fin de obtener las propiedades deseadas (resistencia mecánica y alargamiento), el tratamiento térmico de temple se realiza preferiblemente con un intervalo de temperatura de desde 900ºC hasta 1200ºC. La temperatura del tratamiento térmico de temple es más preferiblemente de 950ºC o más. La temperatura del tratamiento térmico de temple es más preferiblemente de 1100ºC o menos. La velocidad de enfriamiento después del tratamiento térmico de temple es preferiblemente de 1ºC/s o más con el fin de obtener a una resistencia mecánica deseada. Puede realizarse tratamiento de revenido heat tratamiento, si es necesario, cuando la chapa se ha enfriado después del tratamiento térmico de temple. Además, con el fin de obtener las propiedades deseadas, el tratamiento térmico de revenido se realiza preferiblemente en un intervalo de temperatura de desde 200ºC hasta 600ºC. La temperatura del tratamiento térmico de revenido es más preferiblemente de 300ºC o más. La temperatura del tratamiento térmico de revenido es más preferiblemente de 500ºC o menos. El tratamiento de decapado puede realizarse después del tratamiento térmico de temple y el tratamiento térmico de revenido. Además, al realizar el tratamiento térmico de temple y el tratamiento térmico de revenido en una atmósfera reductora que contiene hidrógeno, puede usarse acabado BA sin decapado.

Las chapas laminadas en frío producidas de este modo se someten a un procedimiento de doblado, un procedimiento de acanalado, un procedimiento de perforación o similar, según los usos respectivos y para formar partes de junta de estanqueidad o similar usadas como materiales de sellado entre el motor y la parte de sistema de escape de un automóvil. Adicionalmente, las chapas también pueden usarse en elementos que requieren fuerza elástica. Si es necesario, las partes formadas pueden someterse a tratamiento térmico de temple.

Ejemplos

30 kg de lingote de acero que tiene las composiciones químicas enumeradas en la tabla 1 se fundieron y se colaron en un horno de fusión al vacío. Después de haberse calentado el lingote de acero hasta 1200ºC, se realizó laminación en caliente para obtener una barra de chapa de 25 mm de grosor x 150 mm de anchura. La barra de chapa se mantuvo y se ablandó en un horno a 700ºC durante 10 horas. A continuación, la barra de chapa se calentó hasta 1100ºC y se laminó en caliente para dar una chapa laminada que tenía un grosor de 4 mm. A continuación, la chapa laminada en caliente se mantuvo y se recoció en un horno a 700ºC durante 10 horas para obtener una chapa recocida laminada en caliente. A continuación, la chapa recocida laminada en caliente se laminó en frío para dar una chapa laminada en frío que tenía un grosor de 0,2 mm, y se sometió a tratamiento térmico de temple a las temperaturas enumerada en la tabla 2, y luego se enfrió. La velocidad de enfriamiento se estableció a 1ºC/s o más en todos los casos. Además, para algunas de las chapas laminadas en frío, se realizó tratamiento térmico de revenido a las temperaturas enumeradas en la tabla 2 cuando la chapa se había enfriado después del tratamiento térmico de temple.

(Observación de la estructura)

Para las chapas laminadas en frío de acero inoxidable martensítico (material templado y material templado-revenido) preparadas del modo descrito anteriormente, se prepara una probeta para ensayos para la observación en sección transversal, sometiéndola a tratamiento de ataque químico con agua regia, se observan luego 10 campos de visión bajo un microscopio óptico con un aumento de 100 veces, se distingue la fase de martensita y la fase de ferrita a partir de la forma de la estructura y la fuerza del ataque químico, se obtienen entonces las razones en volumen de la fase de martensita mediante procesamiento de imágenes y se calcula el valor promedio. En los ejemplos n.º 1 a 58 y en los ejemplos n.os 73 a 82, el 80% o más en razón en volumen de toda la estructura estaba en una fase de martensita. En los ejemplos comparativos n.º 59, n.º 60, n.º 61, n.º 63, n.º 64, n.º 67 a 69, n.º 71 y n.º 72, el 80% o más en razón en volumen de toda la estructura estaba también en una fase de martensita. Por otro lado, en los ejemplos comparativos n.º 62, n.º 65, n.º 66 y n.º 70, menos del 80% en razón en volumen de toda la estructura estaba en una fase de martensita. Los ejemplos n.º 1 a 58, 75, 78 y 83 son únicamente para comparación y están fuera del alcance de la invención reivindicada.

(Ensayo de tracción)

Usando una chapa laminada en frío de acero inoxidable martensítico (material templado y material templado-revenido) preparada del modo descrito anteriormente, se preparó una probeta para ensayos de tracción n.º 5 según la norma JIS con su dirección longitudinal paralela a la dirección de laminación y se sometió a un ensayo de tracción a temperatura ambiente según la norma JIS Z2241, y se midieron la resistencia mecánica a la tracción (T.S.), la carga de prueba (P.S.), el alargamiento (EL) y la deformabilidad final (ε_1). La distancia de calibre original fue de 50 mm y la velocidad de tracción fue de 10 mm/min. Se realizó el ensayo con cada acero N = 2, y se evaluó el valor promedio.

Se calculó el alargamiento (EL) mediante la siguiente expresión haciendo contacto estrechamente dos probetas para ensayos rotas de modo que el eje de la probeta para ensayos estuviera en una línea recta, y midiendo la distancia de calibre final.

$$EL\ (\%) = (Lu - L0) / L0 \times 100$$

donde EL es el alargamiento (alargamiento tras fractura), L0 es la distancia de calibre original y Lu es la distancia de calibre final.

Se midieron la anchura de la plancha W y el grosor de la plancha T sobre la superficie fracturada de la probeta para ensayos de tracción después del ensayo de tracción, y se calculó la deformabilidad final ε_1 mediante la siguiente expresión junto con la anchura de la plancha W_0 y el grosor de la plancha T_0 de la probeta para ensayos de tracción antes del ensayo de tracción.

$$\varepsilon_1 = - \{\ln (W/W_0) + \ln (T/T_0)\}$$

donde ε_1 es la deformabilidad final, W es la anchura de la plancha sobre la superficie fracturada de la probeta para ensayos de tracción después del ensayo de tracción, W_0 es la anchura de la plancha de la probeta para ensayos de tracción antes del ensayo de tracción, T es el grosor de la plancha sobre la superficie fracturada de la probeta para ensayos de tracción después del ensayo de tracción, y T_0 es el grosor de la plancha de la probeta para ensayos de tracción antes del ensayo de tracción.

Los resultados de la evaluación se enumeran en la tabla 2. Los criterios de evaluación son los siguientes.

Resistencia mecánica a la tracción (TS)

Excelente:	pasa y es particularmente excelente a 1400 MPa o más
Buena:	pasa a 1200 MPa o más y menos de 1400 MPa
Deficiente:	no pasa a menos de 1200 MPa

Alargamiento (EL)

Excelente:	pasa y es particularmente excelente al 8,5% o más
Bueno:	pasa al 7,5% o más y a menos del 8,5%
Deficiente:	no pasa a menos del 7,5%

Carga de prueba (P.S.)

Excelente:	pasa y es particularmente excelente a 1150 MPa o más
Buena:	pasa a 1050 MPa o más y menos de 1150 MPa
Deficiente:	no pasa a menos de 1050 MPa

Deformabilidad final (ε_1)

Excelente:	pasa y es particularmente excelente a 0,7 o más
Buena:	pasa a 0,5 o más y menos de 0,7
Deficiente:	no pasa a menos de 0,5

(Resistencia a la corrosión evaluación test)

Se cortó una probeta para ensayos de 60 mm de anchura x 80 mm de longitud a partir de una chapa laminada en frío (material templado y material templado-revenido) preparada del modo descrito anteriormente, y se realizó un ensayo de evaluación de resistencia a la corrosión según el Método de Ensayo de Corrosión para Materiales de Automóviles de las normas JASO (JASO M 609-91). La superficie de la probeta para ensayos se pulió con papel de lija n.º 600. Toda la superficie posterior y 5 mm alrededor de la superficie se cubrieron con un sello. En el ensayo, se midió la razón de área de corrosión de la superficie tras quince ciclos, donde un ciclo incluye dos horas de pulverización con

agua salada al 5%, cuatro horas de secado a 60ºC y dos horas de humectación a 50ºC. Además, en el ensayo, N = 2, y la razón de mayor área de corrosión se observó como la evaluación de la chapa laminada en frío.

Los resultados obtenidos se enumeran en la tabla 2. Los criterios de evaluación son los siguientes.

Excelente: pasa y es particularmente excelente una razón de área de corrosión de menos del 30%
Buena: pasa una razón de área de corrosión que es del 30% o más y de menos del 60%
Deficiente: no pasa una razón de área de corrosión que es del 60% o más

Tabla 1

Acero n.º	Composición química (% en masa)																			% de N/% de C	(% de C + % de N)*/(% de Nb + % de V)	Observaciones
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Al	N	Cu	No	Co	Ti	Nb	V	Zr	B	Ca	Mg			
1	0,044	0,36	0,46	0,022	0,004	12,9	0,08	0,02	0,108	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,45	-	Ejemplo**
2	0,041	0,55	1,10	0,029	0,002	11,1	0,12	0,01	0,093	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,28	-	Ejemplo**
3	0,041	0,58	0,35	0,030	0,002	11,9	0,10	0,03	0,071	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,72	-	Ejemplo**
4	0,095	0,56	0,88	0,028	0,001	13,3	0,13	0,02	0,101	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,07	-	Ejemplo**
5	0,027	0,32	1,45	0,034	0,001	14,2	0,09	0,02	0,120	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,44	-	Ejemplo**
6	0,043	0,43	1,05	0,032	0,003	15,6	0,19	0,04	0,109	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,54	-	Ejemplo**
7	0,063	0,58	1,21	0,026	0,003	10,9	0,15	0,05	0,076	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,21	-	Ejemplo**
8	0,089	1,58	0,67	0,028	0,003	12,4	0,09	0,09	0,119	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,34	-	Ejemplo**
9	0,043	0,43	2,42	0,027	0,002	14,3	0,18	0,15	0,106	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,45	-	Ejemplo**
10	0,038	0,42	0,38	0,028	0,003	14,5	0,64	0,02	0,102	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,67	-	Ejemplo**
11	0,040	0,51	1,25	0,04	0,002	12,6	0,07	0,03	0,163	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,10	-	Ejemplo**
12	0,042	0,44	1,52	0,028	0,002	11,6	0,19	0,04	0,093	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,22	-	Ejemplo**
13	0,065	0,51	1,37	0,035	0,001	12,5	0,17	0,28	0,081	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,25	-	Ejemplo**
14	0,045	0,55	0,69	0,030	0,002	11,4	0,08	0,08	0,135	-	-	-	-	0,143	-	-	-	-	-	3,00	-	Ejemplo**
15	0,049	0,32	1,54	0,026	0,002	11,1	0,12	0,02	0,127	-	-	-	0,14	-	-	-	-	-	-	2,59	-	Ejemplo**
16	0,039	0,33	0,62	0,035	0,002	12,4	0,20	0,01	0,070	-	0,25	-	-	-	-	-	-	-	-	1,77	-	Ejemplo**
17	0,044	0,37	0,96	0,032	0,002	14,3	0,12	0,01	0,103	-	-	-	-	-	-	0,09	-	-	-	2,34	-	Ejemplo**
18	0,038	0,41	0,15	0,040	0,003	10,6	0,20	0,02	0,087	-	-	-	-	-	-	-	0,0014	-	-	2,27	-	Ejemplo**
19	0,049	0,51	0,37	0,038	0,002	11,2	0,14	0,05	0,062	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0009	1,26	-	Ejemplo**
20	0,042	0,30	0,37	0,035	0,002	12,1	0,07	0,10	0,109	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0008	-	2,63	-	Ejemplo**
21	0,036	0,33	0,71	0,029	0,003	12,6	0,14	0,03	0,107	-	-	0,04	-	-	-	-	-	-	-	3,01	-	Ejemplo**
22	0,037	0,39	0,59	0,033	0,002	12,3	0,19	0,02	0,074	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0008	0,0011	2,00	-	Ejemplo**
23	0,045	0,34	1,16	0,031	0,002	10,9	0,17	0,02	0,088	-	-	-	0,07	0,0095	-	-	-	-	-	1,95	-	Ejemplo**
24	0,039	0,30	0,96	0,034	0,003	11,6	0,13	0,07	0,084	1,98	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,16	-	Ejemplo**
25	0,040	0,51	0,86	0,025	0,001	13,3	0,08	0,02	0,100	3,52	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,51	-	Ejemplo**
26	0,039	0,51	0,75	0,026	0,001	12,6	0,14	0,01	0,096	2,80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,45	-	Ejemplo**
27	0,044	0,33	0,83	0,036	0,002	11,3	0,07	0,05	0,085	1,69	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,93	-	Ejemplo**
28	0,044	0,56	0,96	0,036	0,002	10,6	0,19	0,03	0,081	1,47	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,82	-	Ejemplo**
29	0,037	0,39	0,98	0,032	0,002	12,3	0,20	0,05	0,106	3,48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,84	-	Ejemplo**
30	0,043	0,39	0,81	0,036	0,003	13,0	0,17	0,24	0,086	3,08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,98	-	Ejemplo**
31	0,040	0,34	0,79	0,031	0,002	10,6	0,08	0,19	0,099	2,22	-	-	-	0,122	-	-	-	-	-	2,51	-	Ejemplo**
32	0,049	0,49	0,88	0,029	0,003	13,3	0,06	0,09	0,074	2,95	-	-	0,22	-	-	-	-	-	-	1,50	-	Ejemplo**
33	0,046	0,57	0,34	0,040	0,002	13,5	0,06	0,07	0,086	3,89	0,31	-	-	-	-	-	-	-	-	1,85	-	Ejemplo**
34	0,042	0,37	0,66	0,034	0,002	10,7	0,07	0,02	0,098	3,57	-	-	-	-	0,19	-	-	-	-	2,35	-	Ejemplo**
35	0,044	0,47	0,95	0,034	0,001	11,1	0,18	0,06	0,109	4,20	-	-	-	-	-	0,07	-	-	-	2,50	-	Ejemplo**
36	0,048	0,49	0,90	0,035	0,002	13,8	0,05	0,07	0,100	1,88	-	-	-	-	-	-	0,0012	-	-	2,06	-	Ejemplo**

* sólo en los casos en que Nb: el 0,002% o más y menos del 0,050% y V: el 0,01% o más y menos del 0,10%

Tabla 1 (continuación)

Acero n.º	Composición química (% en masa)																					Observaciones
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Al	N	Cu	No	Co	Ti	Nb	V	Zr	B	Ca	Mg	% de N/% de C	(% de C + % de N)*/(% de Nb + % de V)	
37	0,047	0,50	0,94	0,035	0,002	14,2	0,11	0,02	0,085	2,10	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0007	1,81	-	Ejemplo**
38	0,036	0,59	0,66	0,039	0,003	12,3	0,10	0,03	0,072	4,28	-	-	-	-	-	-	-	0,0010	-	2,03	-	Ejemplo**
39	0,040	0,31	0,92	0,027	0,003	12,3	0,14	0,05	0,080	3,87	-	0,03	-	-	-	-	-	-	-	1,99	-	Ejemplo**
40	0,042	0,36	0,90	0,032	0,002	11,5	0,09	0,01	0,072	1,43	-	-	-	0,055	-	-	0,0018	-	-	1,69	-	Ejemplo**
41	0,073	0,48	0,72	0,029	0,002	12,1	0,20	0,01	0,084	0,55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,15	-	Ejemplo**
42	0,049	0,40	0,33	0,038	0,001	14,2	0,28	0,01	0,094	0,96	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,93	-	Ejemplo**
43	0,049	0,34	0,71	0,035	0,002	13,6	0,18	0,10	0,082	-	-	-	-	-	0,26	-	-	-	-	1,66	-	Ejemplo**
44	0,040	0,51	0,51	0,035	0,002	10,6	0,09	0,13	0,071	-	-	-	-	-	0,07	-	-	-	-	1,75	-	Ejemplo**
45	0,041	0,54	1,50	0,026	0,003	12,1	0,05	0,08	0,104	-	-	-	-	-	0,17	-	-	-	-	2,53	-	Ejemplo**
46	0,038	0,42	1,48	0,031	0,001	13,9	0,20	0,02	0,082	-	-	-	-	-	0,41	-	-	-	-	2,14	-	Ejemplo**
47	0,040	0,47	0,31	0,026	0,003	14,1	0,07	0,02	0,090	-	-	-	-	-	0,32	-	-	-	-	2,23	-	Ejemplo**
48	0,045	0,42	0,33	0,035	0,003	13,0	0,17	0,03	0,083	2,80	-	-	-	-	0,05	-	-	-	-	1,84	-	Ejemplo**
49	0,049	0,59	1,57	0,032	0,003	12,0	0,13	0,07	0,093	-	-	-	-	-	0,32	-	-	-	-	1,91	-	Ejemplo**
50	0,043	0,43	1,56	0,032	0,003	11,2	0,07	0,05	0,087	-	-	-	-	0,087	0,16	-	-	-	-	2,02	0,5	Ejemplo**
51	0,038	0,57	0,98	0,038	0,003	12,9	0,06	0,06	0,102	-	-	-	0,08	-	0,10	-	-	-	-	2,68	-	Ejemplo**
52	0,036	0,51	0,65	0,034	0,002	11,9	0,07	0,11	0,076	-	0,19	-	-	-	0,39	-	-	-	-	2,10	-	Ejemplo**
53	0,036	0,45	1,49	0,038	0,001	11,4	0,19	0,02	0,109	-	-	-	-	-	0,19	0,04	-	-	-	3,04	-	Ejemplo**
54	0,046	0,60	1,14	0,031	0,001	13,4	0,05	0,03	0,093	-	-	-	-	-	0,14	-	0,0015	-	-	2,01	-	Ejemplo**
55	0,042	0,42	1,54	0,035	0,002	12,4	0,10	0,02	0,097	-	-	-	-	-	0,33	-	-	-	0,0008	2,33	-	Ejemplo**
56	0,041	0,56	0,37	0,025	0,002	14,2	0,16	0,04	0,082	-	-	-	-	-	0,06	-	-	0,0011	-	1,99	-	Ejemplo**
57	0,042	0,51	0,58	0,028	0,003	13,1	0,08	0,01	0,083	-	-	0,05	-	-	0,16	-	-	-	-	1,97	-	Ejemplo**
58	0,045	0,49	0,58	0,025	0,001	11,2	0,12	0,02	0,078	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,74	-	Ejemplo**
59	0,128	0,35	0,46	0,020	0,004	12,7	0,07	0,09	0,031	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,24	-	Ej.comparativo
60	0,113	0,56	1,57	0,0028	0,003	14,0	0,10	0,03	0,088	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,78	-	Ej.comparativo
61	0,095	0,60	0,86	0,035	0,002	11,5	0,11	0,04	0,071	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,75	-	Ej.comparativo
62	0,041	2,18	0,63	0,034	0,001	12,7	0,22	0,02	0,70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,70	-	Ej.comparativo
63	0,047	0,31	3,36	0,030	0,001	13,8	0,09	0,10	0,100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,12	-	Ej.comparativo
64	0,068	0,40	1,55	0,034	0,001	11,6	0,28	0,15	0,083	1,98	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,22	-	Ej.comparativo
65	0,024	0,56	0,99	0,033	0,001	11,5	0,27	0,02	0,028	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,17	-	Ej.comparativo
66	0,047	0,58	0,66	0,033	0,002	16,7	0,18	0,07	0,093	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,98	-	Ej.comparativo
67	0,089	0,47	1,22	0,036	0,001	11,4	0,14	0,05	0,073	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,82	-	Ej.comparativo
68	0,108	0,47	1,22	0,036	0,001	11,4	0,14	0,06	0,123	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,14	-	Ej.comparativo
69	0,119	0,47	1,22	0,036	0,001	11,4	0,14	0,03	0,123	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,03	-	Ej.comparativo
70	0,039	0,35	0,99	0,026	0,002	11,3	0,14	0,06	0,074	-	-	-	-	-	0,88	-	-	-	-	1,88	-	Ej.comparativo
71	0,048	0,56	0,65	0,038	0,001	9,3	0,18	0,08	0,107	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,22	-	Ej.comparativo
72	0,052	0,49	0,66	0,032	0,001	14,1	0,87	0,02	0,089	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,71	-	Ej.comparativo

* sólo en los casos en que Nb: el 0,002% o más y menos del 0,050% y V: el 0,01% o más y menos del 0,10%

Tabla 1 (continuación)

Acero n.º	Composición química (% en masa)																			% de N/% de C	(% de C + % de N)*/(% de Nb + % de V)	Observaciones
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Al	N	Cu	No	Co	Ti	Nb	V	Zr	B	Ca	Mg			
73	0,048	0,36	0,48	0,035	0,002	12,8	0,08	0,03	0,104	-	-	-	-	0,022	0,03	-	-	-	-	2,17	2,9	Ejemplo
74	0,046	0,47	0,32	0,028	0,001	12,1	0,11	0,10	0,113	-	-	-	-	0,006	0,08	-	-	-	-	2,46	1,8	Ejemplo
75	0,049	0,28	0,55	0,030	0,003	11,7	0,09	0,05	0,089	0,42	-	-	-	0,010	0,03	-	-	-	-	1,82	3,5	Ejemplo**
76	0,039	0,35	0,41	0,030	0,002	13.0	0,07	0,04	0,096	-	-	-	-	0,048	0,01	0,03	-	-	-	2,46	2,3	Ejemplo
77	0,049	0,78	0,45	0,032	0,002	13,4	0,12	0,04	0,106	-	-	-	-	0,029	0,02	-	-	-	0,0012	2,16	3,2	Ejemplo
78	0,045	0,18	0,56	0,025	0,002	12,5	0,10	0,02	0,108	-	-	-	-	0,018	0,05	-	-	0,0011	-	2,40	2,3	Ejemplo**
79	0,053	0,44	0,37	0,034	0,001	11,9	0,08	0,03	0,094	-	-	0,02	-	0,033	0,02	-	-	-	-	1,77	2,8	Ejemplo
80	0,077	0,52	0,22	0,036	0,003	13,3	0,22	0,02	0,099	-	-	-	0,02	0,020	0,02	-	-	-	-	1,29	4,4	Ejemplo
81	0,061	0,34	0,44	0,032	0,003	12,4	0,05	0,05	0,088	-	-	-	-	0,042	0,04	-	0,0009	-	-	1,44	1,8	Ejemplo
82	0,045	0,38	0,50	0,033	0,002	11,8	0,14	0,04	0,082	-	0,25	-	-	0,009	0,01	-	-	-	-	1,82	6,7	Ejemplo
83	0,040	0,61	0,28	0,029	0,002	12,3	0,12	0,03	0,073	-	-	-	-	0,045	0,08	-	-	-	-	1,83	0,9	Ejemplo

* sólo en los casos en que Nb: el 0,002% o más y menos del 0,050% y V: el 0,01% o más y menos del 0,10%

** Únicamente para comparación y fuera del alcance de la invención reivindicada.

Tabla 2

Acero n.º	Condiciones de producción		Resultados de evaluación					Observaciones
	Temperatura de temple (ºC)	Temperatura de revenido (ºC)	Resistencia mecánica a la tracción	Carga de prueba	Alargamiento	Deformabilidad final	Resistencia a la corrosión	
1	1000	300	Excelente	Buena	Excelente	Buena	Buena	Ejemplo **
2	950	400	Excelente	Buena	Excelente	Buena	Buena	Ejemplo **
3	1030	no revenido	Buena	Buena	Excelente	Buena	Buena	Ejemplo **
4	980	no revenido	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Ejemplo **
5	1050	200	Excelente	Buena	Excelente	Buena	Buena	Ejemplo **
6	1000	500	Excelente	Buena	Excelente	Buena	Buena	Ejemplo **
7	950	no revenido	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Ejemplo **
8	930	no revenido	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Ejemplo **
9	1100	no revenido	Buena	Buena	Excelente	Buena	Buena	Ejemplo **
10	1050	no revenido	Buena	Buena	Excelente	Buena	Buena	Ejemplo **
11	1000	no revenido	Buena	Buena	Excelente	Buena	Buena	Ejemplo **
12	1080	200	Excelente	Buena	Excelente	Buena	Buena	Ejemplo **
13	1030	no revenido	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Ejemplo **
14	1030	no revenido	Buena	Buena	Excelente	Buena	Buena	Ejemplo **
15	1000	no revenido	Buena	Buena	Excelente	Buena	Buena	Ejemplo **
16	1150	no revenido	Buena	Buena	Excelente	Buena	Buena	Ejemplo **
17	980	400	Excelente	Buena	Excelente	Buena	Buena	Ejemplo **
18	950	no revenido	Buena	Buena	Excelente	Buena	Buena	Ejemplo **
19	1000	no revenido	Buena	Buena	Excelente	Buena	Buena	Ejemplo **
20	1030	no revenido	Buena	Buena	Excelente	Buena	Buena	Ejemplo **
21	1100	no revenido	Buena	Buena	Excelente	Buena	Buena	Ejemplo **
22	950	no revenido	Buena	Buena	Excelente	Buena	Buena	Ejemplo **
23	1000	no revenido	Buena	Buena	Excelente	Buena	Buena	Ejemplo **
24	980	500	Excelente	Excelente	Excelente	Buena	Buena	Ejemplo **
25	1000	no revenido	Buena	Excelente	Excelente	Buena	Buena	Ejemplo **
26	1030	600	Excelente	Excelente	Excelente	Buena	Buena	Ejemplo **
27	1000	500	Excelente	Excelente	Excelente	Buena	Buena	Ejemplo **
28	1000	no revenido	Buena	Excelente	Excelente	Buena	Buena	Ejemplo **
29	1030	200	Excelente	Excelente	Excelente	Buena	Buena	Ejemplo **
30	1030	no revenido	Buena	Excelente	Excelente	Buena	Buena	Ejemplo **
31	1030	no revenido	Buena	Excelente	Excelente	Buena	Buena	Ejemplo **
32	980	no revenido	Buena	Excelente	Excelente	Buena	Buena	Ejemplo **
33	1030	400	Excelente	Excelente	Excelente	Buena	Buena	Ejemplo **
34	1000	no revenido	Buena	Excelente	Excelente	Buena	Excelente	Ejemplo **
35	980	no revenido	Buena	Excelente	Excelente	Buena	Buena	Ejemplo **
36	1030	300	Excelente	Excelente	Excelente	Buena	Buena	Ejemplo **
37	1030	no revenido	Buena	Excelente	Excelente	Buena	Buena	Ejemplo **
38	1000	no revenido	Buena	Excelente	Excelente	Buena	Buena	Ejemplo **
39	980	no revenido	Buena	Excelente	Excelente	Buena	Buena	Ejemplo **
40	1030	no revenido	Buena	Excelente	Excelente	Buena	Buena	Ejemplo **
41	1000	no revenido	Buena	Excelente	Buena	Buena	Buena	Ejemplo **
42	980	no revenido	Buena	Excelente	Excelente	Buena	Buena	Ejemplo **
43	1000	no revenido	Buena	Buena	Excelente	Buena	Excelente	Ejemplo **
44	980	300	Excelente	Buena	Excelente	Buena	Excelente	Ejemplo **

45	1000	no revenido	Buena	Buena	Excelente	Buena	Excelente	Ejemplo **
46	1030	no revenido	Buena	Buena	Excelente	Buena	Excelente	Ejemplo **
47	1030	200	Excelente	Buena	Excelente	Buena	Excelente	Ejemplo **
48	980	600	Excelente	Excelente	Excelente	Buena	Excelente	Ejemplo **
49	1050	no revenido	Buena	Buena	Excelente	Buena	Excelente	Ejemplo **
50	1000	no revenido	Buena	Buena	Excelente	Buena	Excelente	Ejemplo **
51	1030	no revenido	Buena	Buena	Excelente	Buena	Excelente	Ejemplo **
52	1080	no revenido	Buena	Buena	Excelente	Buena	Excelente	Ejemplo **
53	1050	no revenido	Buena	Buena	Excelente	Buena	Excelente	Ejemplo **
54	1030	no revenido	Buena	Buena	Excelente	Buena	Excelente	Ejemplo **
55	1030	no revenido	Buena	Buena	Excelente	Buena	Excelente	Ejemplo **
56	1030	400	Excelente	Buena	Excelente	Buena	Excelente	Ejemplo **
57	1100	no revenido	Buena	Buena	Excelente	Buena	Excelente	Ejemplo **
58	1000	no revenido	Buena	Buena	Excelente	Buena	Buena	Ejemplo **
59	1030	no revenido	Buena	Buena	Deficiente	Deficiente	Deficiente	Ejemplo comparativo
60	1050	no revenido	Buena	Buena	Deficiente	Deficiente	Deficiente	Ejemplo comparativo
61	1000	500	Deficiente	Deficiente	Buena	Deficiente	Buena	Ejemplo comparativo
62	980	no revenido	Deficiente	Deficiente	Buena	Deficiente	Buena	Ejemplo comparativo
63	1030	no revenido	Buena	Buena	Deficiente	Deficiente	Buena	Ejemplo comparativo
64	1050	no revenido	Buena	Excelente	Deficiente	Deficiente	Buena	Ejemplo comparativo
65	1050	no revenido	Deficiente	Deficiente	Buena	Buena	Buena	Ejemplo comparativo
66	1000	no revenido	Deficiente	Deficiente	Buena	Buena	Buena	Ejemplo comparativo
67	1030	300	Deficiente	Deficiente	Buena	Buena	Buena	Ejemplo comparativo
68	980	no revenido	Buena	Buena	Deficiente	Deficiente	Deficiente	Ejemplo comparativo
69	1000	400	Deficiente	Deficiente	Buena	Deficiente	Deficiente	Ejemplo comparativo
70	1050	no revenido	Deficiente	Deficiente	Deficiente	Deficiente	Deficiente	Ejemplo comparativo
71	1030	no revenido	Buena	Buena	Buena	Buena	Deficiente	Ejemplo comparativo
72	1050	no revenido	Buena	Buena	Deficiente	Deficiente	Buena	Ejemplo comparativo
73	1050	no revenido	Buena	Buena	Excelente	Excelente	Excelente	Ejemplo
74	1030	300	Excelente	Buena	Excelente	Excelente	Excelente	Ejemplo
75	1000	no revenido	Excelente	Buena	Excelente	Excelente	Excelente	Ejemplo **
76	1030	200	Excelente	Buena	Excelente	Excelente	Excelente	Ejemplo
77	1050	300	Excelente	Buena	Excelente	Excelente	Excelente	Ejemplo
78	1030	no revenido	Buena	Buena	Excelente	Excelente	Excelente	Ejemplo **
79	1000	200	Excelente	Buena	Buena	Excelente	Excelente	Ejemplo
80	1050	200	Excelente	Buena	Buena	Excelente	Excelente	Ejemplo
81	1050	300	Excelente	Buena	Buena	Excelente	Excelente	Ejemplo
82	1030	no revenido	Buena	Buena	Excelente	Excelente	Excelente	Ejemplo
83	1000	200	Excelente	Buena	Excelente	Buena	Excelente	Ejemplo **

** Únicamente para comparación y fuera del alcance de la invención reivindicada.

Tal como se ilustra en la tabla 1, los ejemplos n.º 1 a 58 y n.º 73 a 83 fueron excelentes tanto en resistencia mecánica como en alargamiento, y la carga de prueba, la deformabilidad final y la resistencia a la corrosión de los mismos también fueron suficientes. En particular, los ejemplos n.os 24 a 40 y n.º 48 que contienen el 1,0% o más de Cu son excelentes con alta carga de prueba después del temple. Los ejemplos n.º 34 y n.º 43 a 57 que contienen el 0,01% o más de V son particularmente excelentes en resistencia a la corrosión. Además, los ejemplos n.º 73 a 82 son particularmente excelentes en la deformabilidad final, donde los ejemplos n.º 73 a 82 contienen Nb y V, Nb: el 0,002% o más y menos del 0,050%, V: el 0,01% o más y menos del 0,10%, y satisfacen la relación de Nb% + V% ≤ el % de C + el % de N.

Por otro lado, los ejemplos comparativos n.º 59 (que corresponden a SUS403) y n.º 60, cuyo contenido en C es alto y está fuera de un intervalo apropiado, pasaron en cuanto a la resistencia mecánica y la carga de prueba, aunque no pasaron en el alargamiento, la deformabilidad final y la resistencia a la corrosión. El ejemplo comparativo n.º 61, donde el % de N < el % de C (el % de N / el % de C < 1), pasaron en el alargamiento debido al revenido, aunque no pasaron en la resistencia mecánica, la carga de prueba y la deformabilidad final. En cuanto al ejemplo comparativo n.º 62, cuyo Si es alto y está fuera de un intervalo apropiado, el contenido en martensita después del temple fue bajo y la resistencia mecánica, la carga de prueba y la deformabilidad final no pasaron. El ejemplo comparativo n.º 63, cuyo Mn es alto y está fuera de un intervalo apropiado, tuvo un valor muy elevado de resistencia mecánica y carga de prueba, y no pasó en el alargamiento y la deformabilidad final. El ejemplo comparativo n.º 64 no pasó en el alargamiento y la deformabilidad final, porque el contenido en Mn es alto y está fuera de un intervalo apropiado en el caso de que el contenido en Cu sea alto. El ejemplo comparativo n.º 65 no pasó en resistencia mecánica y carga de prueba porque el contenido en Ni es bajo y está fuera de un intervalo apropiado. El ejemplo comparativo n.º 66 tuvo un mayor contenido en Cr que un intervalo apropiado, y por consiguiente el contenido en martensita después del temple fue bajo, y la resistencia mecánica y la carga de prueba no pasaron. El ejemplo comparativo n.º 67 no pasó en resistencia mecánica tras el revenido y la carga de prueba debido a que el % de N < el % de C. El ejemplo comparativo n.º 68, cuyo contenido en C es mayor que un intervalo apropiado, no pasó en alargamiento, deformabilidad final y resistencia a la corrosión. El ejemplo comparativo n.º 69, cuyo contenido en C también es alto, pasó en el alargamiento tras el revenido, aunque no pasó en la resistencia mecánica, la carga de prueba, la deformabilidad final y la resistencia a la corrosión. El ejemplo comparativo n.º 70 tuvo un alto contenido de V, y por consiguiente el contenido en martensita después del temple fue bajo, y la resistencia mecánica, la carga de prueba, el alargamiento, la deformabilidad final y la resistencia a la corrosión no pasaron. El ejemplo comparativo n.º 71 no pasó en la resistencia a la corrosión debido al bajo contenido de Cr. El ejemplo comparativo n.º 72 no pasa en alargamiento y deformabilidad final debido a un alto contenido de Ni.

Aplicabilidad industrial

El acero inoxidable martensítico de la divulgación es excelente tanto en resistencia mecánica (resistencia mecánica a la tracción y carga de prueba) y trabajabilidad (alargamiento y deformabilidad final), y por tanto es adecuado para los elementos de la junta de estanqueidad. También es adecuado para los elementos que requieren resistencia de resorte.

REIVINDICACIONES

1. Acero inoxidable martensítico que comprende una composición química que contiene, en % en masa:

C: el 0,020% o más y menos del 0,10%,

Si: más del 0,3% y el 2,0% o menos,

Mn: el 0,01% o más y el 3,0% o menos,

P: el 0,050% o menos,

S: el 0,050% o menos,

Cr: el 10,0% o más y el 16,0% o menos,

Ni: el 0,01% o más y el 0,80% o menos,

Nb: el 0,002% o más y menos del 0,050%,

V: el 0,01% o más y menos del 0,10%,

Al: el 0,001% o más y el 0,50% o menos, y

N: más del 0,050% y el 0,20% o menos,

y opcionalmente uno o más seleccionados de

Cu: el 0,01% o más y el 5,0% o menos,

Mo: el 0,01% o más y el 0,50% o menos,

Co: el 0,01% o más y el 0,50% o menos,

Ti: el 0,01% o más y el 0,50% o menos,

Zr: el 0,01% o más y el 0,50% o menos,

B: el 0,0002% o más y el 0,0100% o menos,

Ca: el 0,0002% o más y el 0,0100% o menos, y

Mg: el 0,0002% o más y el 0,0100% o menos, y

cuando Cu es el 1,0% o más, Mn es el 0,01% o más y el 1,0% o menos, satisfaciendo las siguientes expresiones de relación (1) a (3), y siendo el resto Fe e impurezas imprevistas,

$$5 \times \%\text{ de C} \geq \%\text{ de N} \geq \%\text{ de C} \quad (1)$$

$$\%\text{ de Nb} + \%\text{ de V} \leq \%\text{ de C} + \%\text{ de N} \quad (2)$$

$$\%\text{ de C} + \%\text{ de N} \geq 0{,}10\% \quad (3)$$

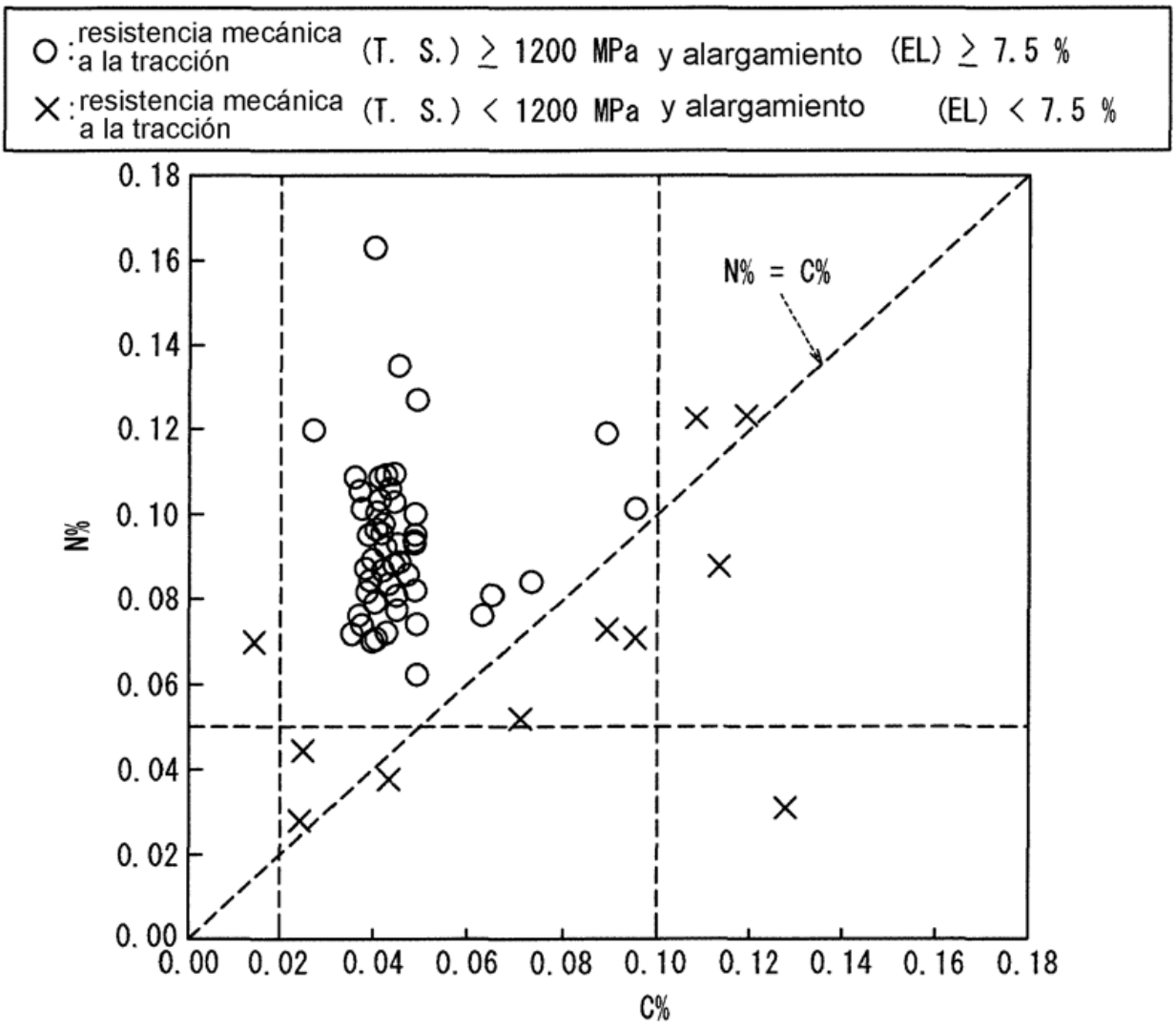
en el que el % de C, el % de N, el % de Nb y el % de V indican respectivamente los contenidos de C, N, Nb y V (% en masa) en el acero,

en el que el 80% o más del volumen de toda la estructura del acero inoxidable martensítico está en una fase de martensita y el resto está en una fase de ferrita y/o una fase de austenita retenida,

en el que el acero inoxidable martensítico tiene una resistencia mecánica a la tracción de 1200 MPa o más, un alargamiento del 7,5% o más, y una deformabilidad final de 0,7 o más, medidos en un ensayo de tracción a temperatura ambiente según la norma JIS Z2241, y

en el que el ensayo de tracción a temperatura ambiente se lleva a cabo según el método proporcionado en la descripción, y el alargamiento y la deformabilidad final se calculan mediante las expresiones proporcionadas en la descripción.

FIG. 1


○ : resistencia mecánica a la tracción (T. S.) ≥ 1200 MPa y alargamiento (EL) ≥ 7.5 %
× : resistencia mecánica a la tracción (T. S.) < 1200 MPa y alargamiento (EL) < 7.5 %
N% = C%
N%
C%
0.00
0.02
0.04
0.06
0.08
0.10
0.12
0.14
0.16
0.18