

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 733 153**

51 Int. Cl.:

C22C 38/00	(2006.01) C22C 38/26	(2006.01)
C22C 38/28	(2006.01) C22C 38/30	(2006.01)
C22C 38/54	(2006.01)	
C21D 9/46	(2006.01)	
C21D 6/00	(2006.01)	
C21D 8/02	(2006.01)	
C22C 1/02	(2006.01)	
C22C 38/02	(2006.01)	
C22C 38/04	(2006.01)	
C22C 38/06	(2006.01)	

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.10.2011** **PCT/JP2011/073981**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **18.05.2012** **WO12063613**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.10.2011** **E 11840408 (6)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.04.2019** **EP 2639325**

54 Título: **Acero inoxidable ferrítico con excelente resistencia a la oxidación**

30 Prioridad:

11.11.2010 JP 2010252772

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

27.11.2019

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;
OTA, HIROKI y
UJIRO, TAKUMI

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 733 153 T3

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

DESCRIPCIÓN

Acero inoxidable ferrítico con excelente resistencia a la oxidación

[Campo técnico]

5 La presente invención se relaciona con un acero inoxidable ferrítico que tiene excelente resistencia a la oxidación, que puede ser usado idealmente para las partes de un sistema de escape que se usan en un ambiente de elevada temperatura. Las partes son tales como una tubería de escape y un cilindro exterior de catalizador (también llamado una caja de conversión) de un automóvil y una motocicleta, y un ducto de escape de aire de una planta térmica de energía eléctrica.

[Técnica base]

10 Las partes de un sistema de escape tales como un tubo un múltiple de escape, una tubería de escape, una caja de conversión y un silenciador, son usadas en un ambiente del sistema de escape de un automóvil. Se requiere que las partes sean excelentes en una propiedad de fatiga térmica, una propiedad de fatiga a elevada temperatura y resistencia a la oxidación (en lo sucesivo, estas propiedades son llamadas colectivamente una resistencia al calor). Para aplicaciones en las cuales se requiere la resistencia al calor como se describió anteriormente, actualmente se usa frecuentemente acero que contiene Cr al cual se añaden Nb y Si, tales como el tipo 429 (14Cr-0.9Si-0.4Nb). Sin embargo, dado que una temperatura de gas de escape puede tornarse más alta que 900°C asociado con la mejora en el desempeño del motor, la propiedad de fatiga térmica del tipo 429 se ha tornado insatisfactoria.

20 Con objeto de resolver este problema, se han desarrollado acero que contiene Cr que tiene un límite de resistencia a alta temperatura aumentado por adición Nb y Mo, SUS444 (19Cr-0.5Nb-2Mo) conforme a JIS G 4305 y un acero inoxidable ferrítico que contiene menos Cr al cual se añaden Nb, Mo y W, y similares (refiérase, por ejemplo, a la literatura 1 de patente). Sin embargo, dado que los precios de los metales raros tales como Mo y W han estado aumentando recientemente de manera notable, se ha tornado necesario el desarrollo de un material que tiene una resistencia al calor equivalente a estas clases de acero, usando materias primas no costosas.

25 En las literaturas 2 a 4 de patente se divulgan ejemplos de materiales que tienen una excelente resistencia al calor sin el uso de elementos químicos costosos, tales como Mo y W. La literatura 2 de patente divulga un acero inoxidable ferrítico que se usa en las partes de un canal de flujo de gas de escape de un automóvil en el cual se añaden Nb: 0.50 % en masa o menos, Cu: 0.8 % en masa o más y 2.0 % en masa o menos y V: 0.03 % en masa o más y 0.20 % en masa o menos un acero que tiene un contenido de Cr de 10 % en masa o más y 20 % en masa o menos. La literatura 3 de patente divulga un acero inoxidable ferrítico excelente en una propiedad de fatiga térmica, en el cual se añaden Ti: 0.05 % en masa o más y 0.30 % en masa o menos, Nb: 0.10 % en masa o más y 0.60 % en masa o menos, Cu: 0.8 % en masa o más y 2.0 % en masa o menos y B: 0.0005 % en masa o más y 0.02 % en masa o menos a un acero que tiene un contenido de Cr de 10 % en masa o más y 20 % en masa o menos. La literatura 4 de patente divulga un acero inoxidable ferrítico para ser usado en las partes de un canal de flujo de gas de escape de un automóvil, en el cual se añade Cu: 1 % en masa o más y 3 % en masa o menos a un acero con un contenido de Cr de 15 % en masa o más y 25 % en masa o menos. Estas clases de acero divulgadas se caracterizan por tener una mejora en la propiedad de fatiga térmica, mediante adición de Cu. El documento WO-A-2009/110641 describe un acero inoxidable ferrítico que tiene excelentes características de fatiga térmica y resistencia a la oxidación, sin la adición de elementos costosos, tales como molibdeno y tungsteno, y que tienen una tenacidad equivalente a o mayor a la del tipo 429. Específicamente, el acero inoxidable ferrítico tiene, en masa: 40 no más de 0.015% de carbono, no más de 0.5% de silicio, no más de 0.5% de manganeso, no más de 0.04% de fósforo, no más de 0.006% de azufre, entre 16% a 20% de cromo, no más de 0.015% de nitrógeno, entre 0.3% y 0.55% de niobio, no más de 0.01% de titanio, no más de 0.1% molibdeno, no más de 0.1% tungsteno, entre 1.0% y 2.5% de cobre, y entre 0.2% a 1.2% de aluminio, donde el resto comprende hierro e impurezas inevitables.

[Lista de citas]

45 [Literatura de patente]

[PTL 1] Publicación de solicitud de patente japonesa no examinada No. 2004-018921

[PTL 2] Publicación internacional No. WO2003/004714

[PTL 3] Publicación de solicitud de patente japonesa no examinada No. 2006-117985

[PTL 4] Publicación de solicitud de patente japonesa no examinada No. 2000-297355

50 [Resumen de la invención]

[Problema técnico]

Sin embargo, de acuerdo con investigaciones llevadas a cabo, en el caso donde se añade Cu, como en los métodos divulgados por las literaturas 2 a 4 de patente, se ha hallado que se deterioran significativamente la facilidad para el moldeo y resistencia a la oxidación.

- 5 Se ha completado la presente invención en vista de la situación descrita anteriormente, y un objeto de la presente invención es suministrar un acero inoxidable ferrítico que tiene excelente resistencia a la oxidación, mientras previene un deterioro en la facilidad para el moldeo, sin añadir elementos químicos costosos tales como Mo y W.

El significado de "que tiene excelente resistencia a la oxidación" de acuerdo con la presente invención es que la oxidación con ruptura no ocurre (una ganancia en peso por oxidación es 50 (g/m²) o menos) incluso si el acero es mantenido en un ambiente atmosférico a una temperatura de 1000°C por un periodo de 200 horas.

10 [Solución al problema]

- Se han conducido diligentes investigaciones con objeto de desarrollar un acero inoxidable ferrítico excelente en resistencia a la oxidación, mientras se previene un deterioro en la facilidad para el moldeo, sin añadir elementos químicos costosos tales como Mo o W. Como un resultado, se ha hallado que puede lograrse la excelente resistencia a la oxidación a una temperatura de 1000°C (en lo sucesivo, llamada resistencia a la oxidación a 1000°C), ajustando el contenido de Cu para que sea 1.0 % en masa o menos, y, adicionalmente, ajustando el contenido de Si para que sea 0.4 % en masa o más y 1.0 % en masa o menos y contenido de Al para que sea 0.2 % en masa o más y 1.0 % en masa o menos mientras se satisface la relación Si>Al lo cual conduce a completar la presente invención.

- 20 Es decir, la presente invención suministra un acero inoxidable ferrítico excelente en resistencia a la oxidación que tiene una composición química que contiene, en % en masa, C: 0.001% a 0.015%, Si: 0.40 % o más y 1.00% o menos, Mn: 0.05% a 1.00%, P: 0.040% o menos, S: 0.010% o menos, Cr: 12.0% o más y 23.0% o menos, N: 0.015% o menos, Nb: 0.3% o más y 0.65% o menos, Ti: 0.010% o menos, Mo: 0.10% o menos, W: 0.10% o menos, Cu: 0.2% a menos de 1.00%, Al: 0.20% o más y 1.00% o menos, mientras se satisface la relación Si>Al, y el balance de Fe e impurezas inevitables.

- 25 Adicionalmente, la presente invención suministra el acero inoxidable ferrítico excelente en resistencia a la oxidación que tiene una composición química que contiene además uno o más elementos químicos seleccionados de entre, en % en masa, B: 0.0030% o menos, REM: 0.08% o menos, Zr: 0.50% o menos, V: 0.50% o menos, Co: 0.50% o menos y Ni: 0.50% o menos.

[Efectos ventajosos de la invención]

- 30 De acuerdo con la presente invención, puede obtenerse el acero inoxidable ferrítico excelente en resistencia a la oxidación a 1000°C, mientras se previene un deterioro en la facilidad para el moldeo, sin añadir elementos químicos costosos tales como Mo o W. El acero de acuerdo con la presente invención puede ser usado idealmente para las partes del sistema de escape de un automóvil.

[Breve descripción de los dibujos]

- 35 La Fig. 1 es una gráfica que ilustra la influencia de los contenidos de Si y Al sobre la resistencia a la oxidación (una ganancia en peso por oxidación).

[Descripción de las realizaciones]

Se describirán los experimentos fundamentales que condujeron a completar la presente invención. En lo sucesivo, % usado cuando se describe composición química, siempre denota % en masa.

- 40 Se fundió acero que tenía una composición química básica que contenía C: 0.006%, N: 0.007%, P: 0.03%, S: 0.003%, Mn: 0.2%, Cr: 15%, Nb: 0.49%, Cu: 0.5%, Ti: 0.005%, Mo: 0.01% y W: 0.01%, se ajustó de manera diversa el contenido de Si al intervalo de 0.1% o más y 1.5% o menos y se ajustó el contenido de Al de manera diversa al intervalo de 0.02% o más y 1.5% o menos, usando un método experimental y se convirtió en un lingote de acero de 50 kg.

- 45 Después se sometió el lingote de acero a laminación en caliente, recocido con laminación en caliente, laminación en frío y recocido de finalización y se convirtió en una lámina de acero recocido y laminado en frío con un espesor de 2 mm. Se cortó un espécimen de prueba de 30 mm × 20 mm de la lámina de acero laminado en frío, obtenida como se describió anteriormente. Entonces se perforó un hueco de 4 mm de diámetro en la parte superior del espécimen de prueba. Luego se pulió la superficie y la superficie del borde del espécimen con un papel esmeril #320. Entonces se desengrasó y se usó luego en una prueba de oxidación descrita abajo.

<Prueba de oxidación continua en el aire>

Se mantuvo el espécimen de prueba descrito anteriormente, en un horno en aire a una temperatura de 1000°C por un periodo de 200 horas. Entonces se derivó una ganancia en peso por unidad de área por oxidación (g/m^2), a partir de la diferencia medida en la masa de los especímenes de prueba, antes y después de la prueba de calentamiento. Se probaron dos especímenes por cada aleación, y el caso en el que hubo una ganancia en peso por oxidación de 50 g/m^2 o más, fue mirado como un caso de oxidación con ruptura, incluso una vez fue 50 g/m^2 o más.

La Fig. 1 es un diagrama que ilustra la relación entre el contenido de Si y Al y la resistencia a la oxidación. Esta figura indica que, en el caso donde el contenido de Si es 0.4% o más y el contenido de Al es 0.2% o más mientras se satisface la relación $\text{Si} > \text{Al}$, no ocurre oxidación con ruptura, lo cual indica que se ha logrado una excelente resistencia a la oxidación.

La presente invención ha sido completada conduciendo investigaciones adicionales, sobre la base de los experimentos fundamentales descritos anteriormente.

A continuación se describirá en detalle el acero inoxidable ferrítico de acuerdo con la presente invención.

Se describirá la composición química de acuerdo con la presente invención.

C: 0.001% a 0.015%

El C es un elemento químico que es eficaz para aumentar la fuerza del acero, hay un deterioro significativo en tenacidad y facilidad para el moldeo en el caso donde el contenido de C es mayor a 0.015%. Por ello, de acuerdo con la presente invención, se ajusta el contenido de C para que sea 0.015% o menos. Es preferible que el contenido de C sea tan pequeño como sea posible, desde el punto de vista de alcanzar la facilidad para el moldeo, que el contenido de carbono sea preferiblemente 0.008% o menos. Por otro lado, el contenido de C es 0.001% o más con objeto de lograr una fuerza que es requerida por las partes de un sistema de escape. Más preferiblemente el contenido de C es 0.002% o más y 0.008% o menos.

Si: 0.40% o más y 1.0% o menos y Al: 0.20% o más y 1.00% o menos, mientras se satisface la relación $\text{Si} > \text{Al}$.

Si y Al son ambos elementos químicos que son importantes para mejorar la resistencia a la oxidación. Como indica la Fig. 1, es necesario satisfacer las condiciones Si: 0.40% o más, Al: 0.20% o más y $\text{Si} > \text{Al}$ al mismo tiempo, con objeto de lograr excelente resistencia a la oxidación a una temperatura de 1000°C. Sin embargo, en el caso donde el contenido de Si es mayor a 1.00%, hay un deterioro en la facilidad para el moldeo y una propiedad de desprendimiento de la incrustación de óxido. Adicionalmente, en el caso donde el contenido de Al es mayor a 1.00%, existe un deterioro en la facilidad para el moldeo e incluso resistencia a la oxidación. Por ello, se ajusta el contenido de Si para que sea 0.40% o más y 1.00% o menos y se ajusta el contenido de Al para que sea 0.20 % en masa o más y 1.00 % en masa o menos mientras se satisface la relación $\text{Si} > \text{Al}$. Es preferible que el contenido de Si sea 0.50% o más en el caso en el que se requiere la resistencia a la oxidación en un ambiente más severo.

El mecanismo a través del cual se mejora la resistencia a la oxidación en los intervalos descritos anteriormente, no es necesariamente claro. Se considera que es como sigue.

Se forma una capa densa continua de óxido de Si, sobre la superficie de una lámina de acero en el caso en el que el contenido de Si es 0.40% o más y la capa de óxido bloquea una penetración de oxígeno desde el exterior. Además, algo de oxígeno que penetra a través de la capa de óxido de Si al interior de la lámina de acero, forma un óxido en combinación con Al en el caso en que el contenido de Al es 0.20% o más. Por ello, se suprime la oxidación de Cr y Fe, lo cual da como resultado una mejora en la resistencia a la oxidación. Sin embargo, en el caso en que no se satisface la relación $\text{Si} > \text{Al}$, puesto que el Al tiene una menor energía libre estándar de formación de óxido, el Al se combina preferencialmente con oxígeno antes de que Si se combine con oxígeno. Por ello, la capa de óxido de Si no puede formarse suficientemente, lo cual hace imposible la prevención de la difusión de oxígeno dentro de la lámina de acero. Por ello, la oxidación con ruptura tiende a ocurrir, porque la oxidación de Al, Cr y Fe ocurre de manera significativa.

Mn: 0.05% a 1.00%

El Mn es un elemento químico que causa un incremento en la fuerza del acero. El Mn es efectivo como un agente de desoxidación, tiende a formarse una fase y a elevada temperatura en el caso en que el contenido de Mn sea excesivamente grande, lo cual da como resultado un deterioro en una resistencia al calor. Por ello, se ajusta el contenido de Mn para que sea 1.00% o menos, preferiblemente 0.70% o menos, y 0.05% o más con objeto de realizar el efecto de aumentar la fuerza y desoxidación.

P: 0.040% o menos

El P es un elemento químico peligroso que causa un deterioro en la ductilidad, se prefiere que el contenido de P

sea tan pequeño como sea posible. Por ello, se ajusta el contenido de P para que sea 0.040% o menos, preferiblemente 0.030% o menos.

S: 0.010% o menos

- 5 El S es un elemento químico peligroso que causa un deterioro en la elongación y en el valor r, lo cual tiene una influencia negativa sobre la facilidad para el moldeo. El S causa un deterioro en la resistencia a la corrosión, la cual es la propiedad básica del acero inoxidable, es preferible que el contenido de S sea tan pequeño como sea posible. Por ello, se ajusta el contenido de S para que sea 0.010% o menos, preferiblemente 0.005% o menos.

Cr: 12.0% o más y 23.0% o menos

- 10 El Cr es un elemento químico que es efectivo para mejorar la resistencia a la corrosión y resistencia a la oxidación, que son características del acero inoxidable. No puede lograrse suficiente resistencia a la oxidación en el caso en que el contenido de Cr es menor a 12.0%. Por otro lado, el Cr es un elemento químico que causa un incremento en la dureza y un deterioro en la ductilidad, debido a fortalecimiento de la solución sólida de acero a temperatura ambiente. En particular, estas influencias negativas se tornan significativas en el caso en que el contenido de Cr es 23.0% o más. Por ello, el contenido Cr es ajustado para que sea 12.0% o más y 23.0% o menos, preferiblemente 14.0% o más y 20.0% o menos.

N: 0.015% o menos

- 20 El N es un elemento químico que causa un deterioro en la ductilidad y la facilidad para el moldeo del acero. Estas influencias negativas son significativas en el caso en que el contenido de N es mayor a 0.015%. Por ello, se ajusta el contenido de N para que sea 0.015% o menos. Se prefiere que el contenido de N sea tan pequeño como sea posible desde el punto de vista de lograr buena ductilidad y facilidad para el moldeo y preferiblemente el contenido de N sea menor a 0.010%.

Nb: 0.30% o más y 0.65% o menos

- 25 El Nb es un elemento químico que es efectivo para mejorar la resistencia a la corrosión, facilidad para el moldeo y la resistencia intergranular a la corrosión en la parte soldada, formando carburo, nitruro y carbonitruro en combinación con C y N. Nb es efectivo para la mejora en una propiedad de fatiga térmica, mediante el incremento de la fuerza a alta temperatura. Estos efectos pueden ser logrados ajustando el contenido de Nb para que sea 0.30% o más. Por otro lado, una fase Laves (Fe_2Nb) tiende a precipitar en el caso en que el contenido de Nb sea mayor a 0.65%, lo cual da como resultado la aceleración de la fragilización. Por ello, se ajusta el contenido de Nb para que sea 0.30% o más y 0.65% o menos, preferiblemente 0.40% o más y 0.55% o menos.

- 30 Mo: 0.10% o menos

El Mo es un elemento químico costoso, adicionalmente en vista del propósito de la presente invención, el Mo no es añadido positivamente. Sin embargo, el Mo puede mezclarse desde la materia prima del acero, tal como chatarra, en el intervalo de 0.10% o menos. Por ello, el contenido de Mo está limitado para ser 0.10% o menos.

W: 0.10% o menos

- 35 El W es un elemento químico costoso como Mo, adicionalmente en vista del propósito de la presente invención, el W no es añadido positivamente. Sin embargo, el W puede ser mezclado en la forma de materia prima de acero, tal como chatarra en el intervalo de 0.10% o menos. Por ello, el contenido de W está limitado para ser 0.10% o menos.

Cu: 0.2% a menos de 1.00%

- 40 El Cu es un elemento químico que es muy efectivo para mejorar una propiedad de fatiga térmica. El Cu causa un deterioro significativo en la resistencia a la oxidación y facilidad para el moldeo. Esto es causado por la precipitación de ϵ -Cu, y la precipitación de ϵ -Cu ocurre de manera significativa en el caso en que el contenido de Cu sea 1.00% o más. Por otro lado, dado que el Cu es efectivo como un elemento que fortalece la solución sólida y dado que la fuerza promotora de la precipitación de ϵ -Cu se torna pequeña, el Cu no precipita y es mantenido en el estado de solución sólida cuando el contenido de Cu es menor a 1.00%. El Cu contribuye al fortalecimiento del acero sin un deterioro significativo en la facilidad para el moldeo y en la resistencia a la oxidación. El contenido de Cu es ajustado para que sea 0.2% o más con objeto de realizar este efecto. Por ello, se ajusta el contenido de Cu para que sea 0.2% a menos de 1.00%, preferiblemente 0.30% o más y 0.80% o menos, más preferiblemente 0.30% o más y 0.70% o menos.

Ti: 0.010% o menos

- 50 El Ti es efectivo para mejorar la resistencia a la corrosión, facilidad para el moldeo y la resistencia intergranular a la

corrosión de una parte soldada, fijando C y N como lo hace Nb. Sin embargo, este efecto satura y hay un aumento en la dureza del acero en el caso en que el contenido de Ti es mayor a 0.150% en un acero que contiene Nb. Dado que el Ti tiene mayor afinidad por N que el Nb, el Ti tiende a formar TiN de un gran tamaño. Dado que TiN de un gran tamaño tiende a tornarse el origen de una ruptura y causa un deterioro en la tenacidad, se ajusta el contenido de Ti para que sea 0.010% o menos en el caso en que sea necesaria la tenacidad de una lámina de acero laminada en caliente. Dado que no es necesario añadir positivamente Ti en la presente invención, el límite inferior del contenido de Ti incluye 0%.

En el acero inoxidable ferrítico de acuerdo con la presente invención puede estar presente además uno o más elementos químicos seleccionados de entre B, REM, Zr, V, Co y Ni, adicionalmente a la composición química descrita anteriormente.

B: 0.0030% o menos

El B es un elemento químico que es efectivo para mejorar la facilidad para el moldeo, en particular, la facilidad secundaria para el moldeo. Sin embargo, en el caso en que el contenido de B es mayor a 0.0030%, B causa un deterioro en la facilidad para el moldeo, por formación de BN. Por ello, en el caso en que B esté presente, se ajusta el contenido de B para que sea 0.0030% o menos. Dado que el efecto descrito anteriormente es realizado en el caso en que el contenido de B es 0.0004% o más, es preferible que el contenido de B sea 0.0004% o más y 0.0030% o menos.

REM: 0.08% o menos y Zr: 0.50% o menos

Los REM (elementos de tierras raras) y Zr son elementos químicos que son efectivos para mejorar la resistencia a la oxidación y pueden ser añadidos según se requiera en la presente invención. Sin embargo, en el caso en que el contenido de REM (la suma de los contenidos de REM en el caso en que están presentes especies plurales de REM) es mayor a 0.08%, existe el deterioro de la fragilización del acero, y, en el caso en que el contenido de Zr es mayor a 0.50%, existe también el deterioro de la fragilización del acero debida a la precipitación del compuesto intermetálico de Zr. Por ello, en el caso en que estén presentes REM, se ajusta el contenido de REM para que sea 0.08% o menos, y, en el caso en que este presente Zr, se ajusta el contenido de Zr para que sea 0.50% o menos. Dado que el efecto descrito anteriormente es materializado en el caso en que el contenido de REM es 0.01% o más y en el caso en que el contenido de Zr es 0.0050% o más, se prefiere que el contenido de REM sea 0.01% o más y 0.08% o menos y que el contenido de Zr sea 0.0050% o más y 0.50% o menos.

V: 0.50% o menos

El V es un elemento químico que es efectivo para mejorar la facilidad para el moldeo y la resistencia a la oxidación. Sin embargo, en el caso en que el contenido de V es mayor a 0.50%, precipita V(C,N) de un gran tamaño, lo cual da como resultado el deterioro de la calidad superficial. Por ello, en el caso en que V esté presente, se ajusta el contenido de V para que sea 0.50% o menos. Es preferible que el contenido de V sea 0.15% o más y 0.50% o menos, más preferiblemente 0.15% o más y 0.40% o menos, con objeto de materializar el efecto de mejora de la facilidad para el moldeo y resistencia a la oxidación.

Co: 0.50% o menos

El Co es un elemento químico que es efectivo para mejorar la tenacidad. Sin embargo, el Co es un elemento químico costoso y el efecto de Co satura en el caso en que el contenido de Co es mayor a 0.50%. Por ello, en el caso en que esté presente Co, el contenido de Co es ajustado para que sea 0.50% o menos. Dado que el efecto descrito anteriormente es materializado efectivamente en el caso en que el contenido de Co es 0.02% o más, se prefiere que el contenido de Co sea 0.02% o más y 0.50% o menos, más preferiblemente 0.02% o más y 0.20% o menos.

Ni: 0.50% o menos

El Ni es un elemento químico que mejora la tenacidad. Sin embargo, dado que el Ni es costoso y que es un elemento químico que forma fuertemente una fase γ , el Ni causa un deterioro en la resistencia a la oxidación, por formación de una fase γ a elevada temperatura, en el caso en que el contenido de Ni es mayor a 0.50%. Por ello, en el caso en que Ni esté presente, se ajusta el contenido de Ni para que sea 0.50% o menos. Dado que el efecto descrito anteriormente es materializado efectivamente en el caso en que el contenido de Ni es 0.05% o más, se prefiere que el contenido de Ni sea 0.05 o más y 0.50 o menos, más preferiblemente 0.05% o más y 0.40% o menos.

El resto de la composición química consiste en Fe e impurezas inevitables. Entre las impurezas inevitables, se prefiere que el contenido de O sea 0.010% o menos, el contenido de Sn sea 0.005% o menos, el contenido de Mg sea 0.005% o menos y el contenido de Ca sea 0.005% o menos. Más preferiblemente el contenido de O es 0.005 o

menos, el contenido de Sn es 0.003% o menos, el contenido de Mg es 0.003% o menos y el contenido de Ca es 0.003% o menos.

A continuación se describirá el método para la manufactura de acero inoxidable ferrítico. El acero inoxidable de acuerdo con la presente invención puede ser manufacturado usando un método común para la fabricación de un acero inoxidable ferrítico y no existe limitación particular sobre las condiciones de manufactura. Los ejemplos de métodos ideales de manufactura incluyen fusión del acero usando un horno de fusión bien conocido, tal como un convertidor de acero o un horno eléctrico. Además, opcionalmente, hacer que el acero tenga la composición química de acuerdo con la presente invención descrita anteriormente, mediante ejecución de refinación secundaria tal como refinación con cazo o refinación al vacío. Después, hacer una barra del acero usando un método continuo de colado o un método de laminación de lingote de moldeo por fundición, y entonces convertir la barra en una lámina de acero laminado en frío y recocido, a través de los procesos tales como laminación en caliente, recocido con laminación en caliente, decapado, laminación en frío, recocido de finalización, decapado y así sucesivamente. El laminado en frío descrito anteriormente puede ser ejecutado una vez o repetido dos veces o más con recocido de proceso entre, y los procesos de laminación en frío, recocido de finalización y decapado pueden ser ejecutados repetidamente. Además, opcionalmente, puede omitirse el recocido de laminación en caliente, y puede ejecutarse laminado de acabado, después de laminado en frío o del recocido de finalización, en el caso en que se requiera brillantez de una lámina de acero.

Los ejemplos de condiciones más preferibles de manufactura, son como sigue.

Es preferible que se especifiquen algunas de las condiciones de un proceso de laminado en caliente y un proceso de laminado en frío. En un proceso de fabricación de acero, es preferible fundir el acero fundido, para separar el metal, acero que tiene la composición química esencial descrita anteriormente, y los elementos químicos opcionales que van a ser añadidos según se requiera y ejecutar refinación secundaria usando un método VOD (método de descarburización con oxígeno al vacío). El acero fundido que ha sido fundido para separar metales puede ser convertido en un material de acero, en un procedimiento bien conocido. Desde el punto de vista de productividad y calidad del material, es preferible usar un método continuo de fundición. El material de acero obtenido a través de un proceso continuo de fundición es calentado hasta una temperatura de, por ejemplo, 1000°C o mayor y 1250°C o menor y entonces convertido en una lámina de acero laminada en caliente, que tiene un espesor especificado. Sobre decir que el material de acero puede ser convertido en un material de una forma diferente a una lámina. Esta lámina de acero laminada en caliente es sometida a, según se requiera, recocido en lote a una temperatura de 600°C o mayor y 800°C o menor o recocido continuo a una temperatura de 900°C o mayor y 1100°C o menor y entonces es convertida en un producto de lámina laminada en caliente, después de haber sido desincrustada ejecutando decapado o similar. Adicionalmente, según se requiera, la desincrustación puede ser ejecutada usando un método de disparo de chorro, antes de ejecutar el decapado.

Con objeto de obtener una lámina de acero laminado en frío, la lámina de acero laminado en caliente y recocida obtenida como se describió anteriormente, es convertida en una lámina de acero laminado en frío, a través de un proceso de laminado en frío. En este proceso de laminado en frío, de acuerdo con las circunstancias de manufactura, el laminado en frío puede ser ejecutado dos veces o más con recocimiento intermedio de proceso, según se requiera. La relación total de laminado del proceso de laminado en frío, en el cual el laminado en frío es ejecutado por una, dos o más veces, es ajustada para que sea 60% o más, preferiblemente 70% o más. La lámina de acero laminado en frío es sometida a recocido continuo (recocido de finalización) a una temperatura de 900°C o mayor y 1150°C o menor, preferiblemente 950°C o mayor y 1120°C o menor, y decapado, y entonces convertida en una lámina de acero laminado en frío y recocida. Adicionalmente, de acuerdo con la aplicación de uso, la forma y la calidad del material de la lámina de acero pueden ser ajustadas ejecutando laminado con una ligera relación de reducción (tal como laminación de acabado) después de haber ejecutado el recocido laminado en frío.

El producto de lámina laminada en caliente o producto de lámina laminada en frío y recocida obtenido como se describió anteriormente es moldeado hasta formar la tubería de escape de un automóvil o una motocicleta, un material que va a ser usado para un cilindro exterior de catalizador, el tubo de escape de aire de una planta térmica de energía eléctrica, o una parte relacionada con una celda de combustible (tal como un separador, un interconector o un reformador) ejecutando trabajo de flexión u otros tipos de trabajo de acuerdo con la aplicación de uso. No existe limitación sobre métodos de soldadura para ensamblar estas partes, y pueden aplicarse métodos comunes de soldadura de arco, tales como MIG (gas inerte metal), MAG (gas activo metal) y TIG (gas inerte tungsteno), métodos de soldadura por resistencia, tales como soldadura de punto y soldadura de costura, métodos de soldadura por resistencia de alta frecuencia tales como soldadura por resistencia eléctrica y métodos de soldadura por inducción de alta frecuencia.

[Ejemplos]

[Ejemplo 1]

Cada uno de los aceros No. 1 a 18 que tienen composiciones químicas dadas en la tabla 1 fue fundido usando un horno de fusión al vacío y convertido en un lingote de acero de 50 kg. Este lingote es calentado hasta una temperatura de 1170°C, luego sometido a laminado en caliente convertido en una lámina de acero laminada en caliente que tiene un espesor de 5 mm. Entonces es sometida a recocido con laminado en caliente a una temperatura de 1040°C, y entonces a decapado. Esta lámina de acero laminada en caliente fue sometida a laminado en frío con una relación de laminación de 60%, recocido de finalización a una temperatura de 1040°C, enfriamiento a una tasa de enfriamiento de 5°C/seg, decapado y entonces convertida en una lámina de acero recocida y laminada en frío que tiene un espesor de 2 mm. Cada uno de los aceros No. 1 a 10 es un ejemplo en el ámbito de acuerdo con la presente invención, y cada uno de los aceros No. 11 a 18 es un ejemplo de comparación que está fuera del ámbito de acuerdo con la presente invención. Entre los ejemplos de comparación, el acero No. 11 tiene una composición química correspondiente a SUS444, el No. 12 tiene una composición química correspondiente al tipo 429, y los No. 16, No. 17 y No. 18 respectivamente tienen composiciones químicas correspondientes al ejemplo 3 de la literatura 2 de patente, ejemplo 3 de la literatura 3 de patente y ejemplo 5 de literatura 4 de patente. Se usaron láminas de acero No. 1 a 18 recocido y laminadas en frío en una prueba de oxidación, como se describe abajo.

<Prueba continua de oxidación en aire >

Se cortó una muestra de 30 mm × 20 mm de cada una de las láminas de acero recocidas y laminadas en frío, obtenidas como se describió anteriormente. Entonces se perforó un hueco de 4 mm de diámetro en la parte superior de la muestra, entonces se pulieron la superficie y la cara del borde de la muestra con un papel esmeril #320, entonces se desengrasó y luego se suspendió la muestra en un horno calentado a una temperatura de 1000°C en un ambiente atmosférico por un tiempo de retención de 200 horas. Después de la prueba, se midió la masa de la muestra, y entonces se calculó una ganancia de peso por oxidación (g/m^2), derivando la diferencia entre la masa medida antes y después de la prueba. Se probaron dos especímenes para cada aleación, y se evaluó la resistencia a la oxidación en aire usando el promedio del valor de la diferencia en masa.

Adicionalmente, en la tabla 1 se dan los resultados de la prueba de oxidación continua en aire, como resistencia a la oxidación a 1000°C. En la columna de resistencia a la oxidación a 1000°C, ○ denota un caso en el que no ocurrió oxidación con ruptura, y × denota un caso en el que ocurrió oxidación con ruptura. Como indica la tabla 1, se confirma que cualquiera de los aceros del ejemplo de la presente invención que está dentro del ámbito de la presente invención es de manera similar a No. 11 el cual tiene una composición química correspondiente a SUS444, excelente en resistencia a la oxidación a 1000°C, porque no ocurrió la oxidación con ruptura. En contraste, se confirma que cualquiera de los aceros del ejemplo comparativo que está fuera del ámbito de acuerdo con la presente invención, diferente a No. 11, es pobre en resistencia a la oxidación a 1000°C, porque ocurrió la oxidación con ruptura. En la presente invención, dado que el contenido de Cu es menor a 1.00%, no hay un deterioro significativo en la facilidad para el moldeo. El contenido de Mo de No. 11 es 1.87% (siendo la composición química correspondiente a SUS444) está fuera del ámbito de la presente invención.

[Aplicabilidad industrial]

El acero de acuerdo con la presente invención puede ser usado idealmente no sólo para las partes de un sistema de escape de automóvil, sino también para las partes de un sistema de escape de un sistema térmico de energía eléctrica y las partes de una celda de combustible de óxido sólido, para la cual se requieren propiedades similares que las de las partes de un sistema de escape de un automóvil.

[Tabla 1]

Tabla 1 Unidad de composición química: % en masa

No de muestra	C	Si	Mn	Al	P	S	Cr	Cu	Nb	Ti	Mo	w	N	Otros	Si-Al	Resistencia a la oxidación 1000°C*	Nota
1	0.008	0.60	0.24	0.53	0.034	0.003	17.7	0.49	0.50	0.005	-	-	0.010	-	0.07	o	Ejemplo
2	0.008	0.43	0.19	0.38	0.032	0.003	21.9	0.39	0.47	0.006	-	-	0.009	-	0.05	o	Ejemplo
3	0.006	0.67	0.18	0.34	0.026	0.003	19.3	0.34	0.54	0.007	-	-	0.006	-	0.33	o	Ejemplo
4	0.006	0.58	0.25	0.42	0.024	0.004	14.7	0.46	0.51	0.009	-	-	0.008	-	0.16	o	Ejemplo
5	0.007	0.48	0.30	0.39	0.027	0.003	15.3	0.75	0.48	0.006	-	-	0.007	-	0.09	o	Ejemplo
6	0.007	0.77	0.32	0.72	0.027	0.002	12.6	0.61	0.41	0.008	-	-	0.008	V:0.22	0.05	o	Ejemplo
7	0.006	0.52	0.28	0.46	0.035	0.002	16.1	0.50	0.44	0.008	-	-	0.007	B:0.0015	0.06	o	Ejemplo
8	0.007	0.64	0.21	0.40	0.032	0.003	16.9	0.69	0.48	0.005	-	-	0.008	Zr:0.12	0.24	o	Ejemplo
9	0.007	0.72	0.33	0.49	0.029	0.002	18.2	0.25	0.52	0.007	-	-	0.009	Co:0.19	0.23	o	Ejemplo
10	0.008	0.45	0.26	0.28	0.033	0.003	14.0	0.82	0.43	0.007	-	-	0.007	REM:0.05	0.17	o	Ejemplo
11	0.007	0.31	0.42	0.02	0.031	0.003	18.7	0.02	0.52	0.005	1.87	0.02	0.008	-	0.29	o	Ejemplo de comparación*1
12	0.007	0.82	0.27	0.01	0.026	0.003	14.4	0.03	0.45	0.005	-	-	0.008	-	0.81	x	Ejemplo de comparación*2
13	0.007	0.79	0.21	0.06	0.028	0.003	17.6	0.41	0.43	0.009	-	-	0.008	-	0.73	x	Ejemplo de comparación
14	0.006	0.43	0.19	0.82	0.031	0.002	18.9	0.49	0.51	0.005	-	-	0.007	-	#iCA MPOI	x	Ejemplo de comparación
15	0.005	0.55	0.25	0.34	0.029	0.004	20.3	1.67	0.52	0.008	-	-	0.007	-	0.21	x	Ejemplo de comparación
16	0.008	0.32	0.05	0.01	0.028	0.002	17.0	1.93	0.33	0.010	0.01	0.02	0.010	Ni:0.10 V:0.10	0.31	x	Ejemplo de comparación*3
17	0.009	0.46	0.54	0.01	0.029	0.003	18.9	1.36	0.35	0.080	0.01	0.02	0.007	Ni:0.10 V: 0.03 B:0.0030	0.46	x	Ejemplo de comparación*4
18	0.006	0.22	0.05	0.05	0.005	0.005	18.8	1.65	0.42	0.090	0.02	0.02	0.006	Ni:0.15	0.17	x	Ejemplo de comparación*5

Subrayado indica el valor fuera del intervalo de acuerdo con la presente invención.

*resistencia a la oxidación a 1000°C: x con oxidación con ruptura o sin oxidación con ruptura

*1: SUS4 44 *2: tpi 429 *3: Ejemplo 3 de literatura 2 de patente

*4: Ejemplo 3 de literatura 3 de patente *5: Ejemplo 5 de literatura 4 de patente

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un acero inoxidable ferrítico que consiste en una composición química que contiene, en % en masa, C: 0.001 a 0.015%, Si: 0.40% o más y 1.00% o menos, Mn: 0.05 a 1.00%, P: 0.040% o menos, S: 0.010% o menos, Cr: 12.0% o más y 23.0% o menos, N: 0.015% o menos, Nb: 0.30% o más y 0.65% o menos, Ti: 0.010% o menos, Mo: 0.10% o menos, W: 0.10% o menos, Cu: 0.2 a menos de 1.00%, Al: 0.20% o más y 1.00% o menos, opcionalmente B: 0.0030% o menos, opcionalmente REM: 0.08% o menos, opcionalmente Zr: 0.50% o menos, opcionalmente V: 0.50% o menos, opcionalmente Co: 0.50% o menos y opcionalmente Ni: 0.50% o menos, mientras se satisface la relación $\text{Si} \geq \text{Al}$, y el resto son Fe e impurezas inevitables.

FIG. 1

