

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 639 544**

51 Int. Cl.:

<b>C22C 38/00</b>	(2006.01)	<b>C22C 38/46</b>	(2006.01)
<b>C22C 38/58</b>	(2006.01)	<b>C22C 38/48</b>	(2006.01)
<b>C21D 6/00</b>	(2006.01)	<b>C22C 38/50</b>	(2006.01)
<b>C21D 8/02</b>	(2006.01)	<b>C22C 38/52</b>	(2006.01)
<b>C21D 9/46</b>	(2006.01)	<b>C22C 38/54</b>	(2006.01)
<b>C22C 38/02</b>	(2006.01)		
<b>C22C 38/04</b>	(2006.01)		
<b>C22C 38/06</b>	(2006.01)		
<b>C22C 38/42</b>	(2006.01)		
<b>C22C 38/44</b>	(2006.01)		

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **11.10.2012 PCT/JP2012/006523**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **18.04.2013 WO13054523**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.10.2012 E 12839532 (4)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.07.2017 EP 2767603**

54 Título: **Acero inoxidable ferrítico**

30 Prioridad:

**14.10.2011 JP 2011226506**  
**25.09.2012 JP 2012210444**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**27.10.2017**

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**  
**OGATA, HIROYUKI**

74 Agente/Representante:

**MILTENYI, Peter**

**ES 2 639 544 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

### Campo técnico

5 La presente invención se refiere a acero inoxidable ferrítico que puede usarse preferiblemente para las partes de un sistema de escape, que se usan en un entorno a alta temperatura, tal como un tubo de escape y un cilindro exterior de catalizador (también denominado carcasa de convertidor) de un automóvil o una motocicleta y un conducto de aire de escape de una central termoeléctrica.

### Técnica anterior

10 Se requiere que las partes de un sistema de escape tales como un colector de escape, un tubo de escape, una carcasa de convertidor y un silenciador que se usan en el entorno del sistema de escape de un automóvil sean excelentes en la resistencia a la fatiga térmica, la resistencia a la fatiga a alta temperatura y la resistencia a la oxidación (a continuación en el presente documento, estas se denominan colectivamente "resistencia al calor"). Para usar aplicaciones en las que se requiere resistencia al calor tal como se describió anteriormente, en la actualidad se usa a menudo acero que contiene Cr al que se le añaden Nb y Si tal como JFE429EX (que contiene el 15% en masa de Cr – el 0,9% en masa de Si – el 0,4% en masa de Nb) (a continuación en el presente documento, denominado 15 acero con Nb-Si añadido). En particular, se conoce que el Nb incrementa significativamente la resistencia al calor. Sin embargo, cuando se añade Nb, no sólo se incrementa el coste de material debido a que el Nb es caro, sino que también se incrementa el coste de fabricación del acero. Por tanto, es necesario que se desarrolle acero que tenga alta resistencia al calor con la condición de que se controle el contenido en Nb para que sea lo más pequeño 20 posible.

Para resolver este problema, el documento de patente 1 da a conocer una chapa de acero inoxidable cuya resistencia al calor se incrementa utilizando la adición combinada de Ti, Cu, y B.

El documento de patente 2 da a conocer una chapa de acero inoxidable con Cu añadido con excelente conformabilidad.

25 El documento de patente 3 da a conocer una chapa de acero inoxidable ferrítico resistente al calor a la que se le añaden Cu, Ti y Ni.

### Lista de referencias

#### Bibliografía de patentes

PTL 1: Publicación de solicitud de patente no examinada japonesa n.º 2010-248620

30 PTL 2: Publicación de solicitud de patente no examinada japonesa n.º 2008-138270

PTL 3: Publicación de solicitud de patente no examinada japonesa n.º 2009-68113

### Sumario de la invención

#### Problema técnico

35 Sin embargo, en el caso de la técnica según el documento de patente 1, puesto que se añade Cu, la resistencia a la oxidación continua es insatisfactoria, y puesto que se añade Ti, disminuye la adhesividad de la cascarilla de óxido. Cuando la resistencia a la oxidación continua es insuficiente, se incrementa la cantidad de cascarilla de óxido durante el funcionamiento a alta temperatura, lo que da como resultado una disminución en el grosor del material de base, no pudiendo lograrse una resistencia a la fatiga térmica excelente. Además, cuando la adhesividad de la cascarilla de óxido es baja, se produce desconchado de la cascarilla de óxido durante el funcionamiento y puede 40 conducir a afectar adversamente a otras partes.

Habitualmente, con el fin de evaluar el incremento de la cantidad de cascarilla de óxido, se lleva a cabo un ensayo de oxidación continua para determinar el aumento de peso por la oxidación tras el mantenimiento isotérmico a alta temperatura, y el resultado indica una propiedad denominada resistencia a la oxidación continua. Con el fin de evaluar la adhesividad de la cascarilla de óxido, se lleva a cabo un ensayo de oxidación cíclica para investigar si se produce o no desconchado de la cascarilla de óxido tras realizarse repetidamente un calentamiento y enfriamiento, y el resultado indica una propiedad denominada resistencia a la oxidación cíclica. A continuación en el presente documento, "resistencia a la oxidación" significa tanto resistencia a la oxidación continua como resistencia a la oxidación cíclica.

50 En el caso de la técnica según el documento de patente 2, puesto que se añade insuficientemente Ti al acero, produce sensibilización, lo que significa que se forma una zona de agotamiento de Cr en las proximidades de los límites de grano debido a la combinación de Cr con C y N en el acero. Cuando se produce sensibilización, puesto

que disminuye la resistencia a la oxidación en una zona de agotamiento de Cr, desgraciadamente se logra una resistencia a la oxidación del acero excelente.

5 En el caso de la técnica según el documento de patente 3, no se describe un ejemplo en el que se añada B en combinación con Cu, Ti y Ni. Cuando no se añade B, puesto que no puede obtenerse el efecto de disminuir el tamaño de partícula de  $\epsilon$ -Cu en su precipitación, desgraciadamente se logra una resistencia a la fatiga térmica excelente.

10 El documento JP 2006 117985 A da a conocer un material de acero inoxidable ferrítico que emplea una composición de componentes comparativamente económica y que tiene características de fatiga térmica mejoradas, y un elemento de trayectoria de gas residual de automóvil que lo usa. El material de acero inoxidable ferrítico superior en las características de fatiga térmica tiene una composición que comprende, en % en masa, el 0,03% o menos de C, el 10-20% de Cr, el 0,05-0,30% de Ti, el 0,10-0,60% de Nb y el 0,8-2,5% de Cu, mientras que satisface la siguiente expresión (1):  $Nb-8(C+N) \geq 0$  y la expresión (2):  $10Si+20Mo+30Cu+30(Ti+V) +160Nb-(Mn+Ni) \geq 100$ ; y tiene una estructura metalográfica que tiene fases de  $\epsilon$ -Cu con un diámetro mayor de 0,5  $\mu m$  o mayor controlado en 10 piezas/25  $\mu m^2$  o menos. Un elemento de trayectoria de gas residual de automóvil preferido que lo usa incluye un elemento compuesto por, por ejemplo, un colector de escape, un convertidor catalítico, un tubo frontal y un tubo central.

20 Con el fin de resolver los problemas descritos anteriormente, la presente invención proporciona acero inoxidable ferrítico excelente en la resistencia a la fatiga térmica y la resistencia a la oxidación sin añadir Mo ni W, que son elementos químicos caros, controlando el contenido en Nb para que sea lo más pequeño posible y añadiendo una cantidad apropiada de Ni que mejora la resistencia a la oxidación que se disminuye por la adición de Cu y Ti.

#### Solución al problema

Los presentes inventores realizaron investigaciones diligentemente con el fin de impedir que la resistencia a la oxidación disminuya cuando se añaden Cu y Ti y encontraron que puede mejorarse la resistencia a la oxidación añadiendo una cantidad apropiada del 0,05-1% de Ni.

25 En este caso, "resistencia a la fatiga térmica excelente" mencionado en la presente invención significa específicamente que un material tiene una vida útil con fatiga térmica equivalente a o mayor que la del acero con Nb-Si añadido en un ensayo de fatiga térmica en el que la temperatura cambia repetidamente entre 800°C y 100°C con una razón de restricción de 0,5. Además, "resistencia a la oxidación excelente" significa que no se produce oxidación de avance rápido (el aumento de peso por oxidación es de menos de 50  $g/m^2$ ) aunque el material se mantenga al aire a una temperatura de 950°C durante 300 horas y que no se produce desconchado de la cascarilla de óxido incluso tras haberse cambiado repetidamente la temperatura al aire entre 950°C y 100°C durante 400 ciclos.

La presente invención se ha completado basándose en investigaciones además del conocimiento descrito anteriormente, y el contenido de la presente invención es tal como se especifica en la reivindicación 1.

#### 35 Efectos ventajosos de la invención

Según la presente invención, acero inoxidable ferrítico que tiene resistencia a la fatiga térmica y resistencia a la oxidación equivalentes a o mayores que las del acero con Nb-Si añadido sin añadir Mo o W caros y con control del contenido en Nb para que sea lo más pequeño posible. Por tanto, es significativamente eficaz usar el acero para las partes del sistema de escape de un automóvil.

#### 40 Breve descripción de los dibujos

[Figura 1] La figura 1 es un diagrama que ilustra una probeta de ensayo de fatiga térmica.

[Figura 2] La figura 2 es un diagrama que ilustra condiciones de restricción y temperatura en un ensayo de fatiga térmica.

45 [Figura 3] La figura 3 es un diagrama que ilustra la influencia del contenido en Cu sobre la resistencia a la fatiga térmica (vida útil).

[Figura 4] La figura 4 es un diagrama que ilustra la influencia del contenido en Ni sobre la resistencia a la oxidación continua (aumento de peso por oxidación).

[Figura 5] La figura 5 es un diagrama que ilustra la influencia del contenido en Ni sobre la resistencia a la oxidación cíclica (aumento de peso por oxidación y si se produce o no desconchado de la cascarilla de óxido).

#### 50 Descripción de realizaciones

En primer lugar se describirán los experimentos fundamentales que han conducido a la finalización de la presente invención con referencia a los dibujos.

## 1. Experimentos fundamentales

A continuación en el presente documento, % usado cuando se describe una composición química de acero siempre representa el % en masa.

Se fundieron aceros, que se obtuvieron añadiendo Cu y Ni en diversas cantidades respectivamente en los intervalos de desde el 0,3% hasta el 3,0% y desde el 0,03% hasta el 1,3% a un acero básico que tenía una composición química que contenía, C: el 0,010%, N: el 0,012%, Si: el 0,5%, Mn: el 0,4%, Cr: el 14%, Ti: el 0,25% y B: el 0,0015%, a nivel de laboratorio y se convirtieron en lingotes de 30 kg. Se calentó cada lingote hasta una temperatura de 1170°C y se laminaron en caliente para dar un llantón que tenía un grosor de 35 mm y una anchura de 150 mm. Se dividió este llantón en dos piezas, y una de las dos piezas se convirtió en una barra cuadrada que tenía una sección transversal de 30 mm × 30 mm realizando una forja en caliente. La barra cuadrada se convirtió en probetas de ensayo de fatiga térmica que tenían las dimensiones ilustradas en la figura 1 realizando un mecanizado tras un recocido a una temperatura en un intervalo de desde 900°C hasta 1000°C y se usaron en un ensayo de fatiga térmica. En este caso, se controló la temperatura de recocido para que fuera una temperatura determinada en el intervalo descrito anteriormente dependiendo de la composición química, confirmando la microestructura de la probeta.

### 1.1 Ensayo de fatiga térmica

La figura 2 ilustra el método de ensayo de fatiga térmica. Se determinó la vida útil con fatiga térmica aplicando repetidamente tensión a una probeta con una razón de restricción de 0,5 a la vez que se repetía un calentamiento y enfriamiento entre temperaturas de 100°C y 800°C a una velocidad de calentamiento de 10°C/s y una velocidad de enfriamiento de 10°C/s. Los periodos de mantenimiento a las temperaturas de 100°C y 800°C fueron ambos de 2 minutos. En este caso, se determinó la vida útil con fatiga térmica descrita anteriormente según la norma publicada por la Sociedad de ciencia de materiales, "Norma para el ensayo de fatiga en ciclo corto a alta temperatura" de Japón, en la que se calculó la tensión dividiendo una carga detectada cuando la temperatura era de 100°C entre el área de sección transversal de una parte paralela calentada uniformemente de la probeta ilustrada en la figura 1, y en la que la vida útil con fatiga térmica se definió por el número de ciclos en los que la tensión disminuyó hasta el 75% de la misma en el 5º ciclo. En este caso, por comparación, se llevó a cabo el mismo ensayo usando acero con Nb-Si añadido (15% de Cr-0,9% de Si-0,4%de Nb).

La figura 3 ilustra los resultados del ensayo de fatiga térmica. La figura 3 indica que, en caso de que el contenido en Cu sea del 0,55% o más y del 2,0% o menos, se logra una vida útil con fatiga térmica equivalente a o mayor que la del acero con Nb-Si añadido (aproximadamente 900 ciclos).

El otro de los dos llantones divididos descritos anteriormente se convirtió en una chapa recocida y laminada en frío que tenía un grosor de 2 mm realizando laminación en caliente, recocido de una chapa laminada en caliente, laminación en frío y recocido de acabado. Se cortaron probetas de 30 mm × 20 mm de la chapa recocida y laminada en frío obtenida. Se formó una abertura de 4 mmφ en la parte superior de la probeta. Se pulieron las superficies y las caras de extremo de la probeta usando papel de lija n.º 320 y se desengrasaron. Entonces se usaron las probetas en un ensayo de oxidación continua y un ensayo de oxidación cíclica.

### 1.2 Ensayo de oxidación continua

Se mantuvo la probeta descrita anteriormente en un horno en aire atmosférico a una temperatura de 950°C durante 300 horas, y se calculó el aumento de peso por área unitaria ( $\text{g/m}^2$ ) que se produjo por la oxidación usando la diferencia determinada en la masa de la probeta entre antes y después del mantenimiento. Se llevó a cabo el ensayo dos veces para cada acero, y se evaluó un caso en el que el aumento de peso por área unitaria fue de 50  $\text{g/m}^2$  o más al menos una vez como caso en el que se producía oxidación de avance rápido.

La figura 4 ilustra la influencia del contenido en Ni sobre la resistencia a la oxidación continua. Este dibujo indica que, en caso de que el contenido en Ni sea del 0,05% o más y del 1,0% o menos, puede impedirse la aparición de oxidación de avance rápido.

### 1.3 Ensayo de oxidación cíclica

Se sometió la probeta descrita anteriormente a tratamiento térmico, en el que se repitieron el calentamiento y enfriamiento en aire en las condiciones en las que la probeta se mantenía a una temperatura de 100°C durante 1 minuto y a una temperatura de 950°C durante 20 minutos, durante 400 ciclos. Se calculó el aumento de peso por área unitaria ( $\text{g/m}^2$ ) que se produjo por la oxidación usando la diferencia determinada en la masa de la probeta entre antes y después del tratamiento térmico, y se confirmó si se producía o no desconchado de la cascarilla de óxido de la superficie de la probeta. Se evaluó como insatisfactorio un caso en el que se observó un desconchado significativo de la cascarilla de óxido, y un caso en el que no se observó desconchado de la cascarilla de óxido se evaluó como satisfactorio. En este caso, en el ensayo descrito anteriormente, la velocidad de calentamiento fue de 5°C/s y la velocidad de enfriamiento fue de 1,5°C/s.

La figura 5 ilustra la influencia del Ni sobre la resistencia a la oxidación cíclica. Este dibujo indica que, en caso de

que el contenido en Ni sea del 0,05% o más y del 1,0% o menos, puede impedirse el desconchado de la cascarilla de óxido.

5 Tal como se describió anteriormente, se entiende que, con el fin de impedir la oxidación de avance rápido y el desconchado de la cascarilla de óxido, es necesario que el contenido en Ni sea del 0,05% o más y del 1,0% o menos.

## 2. Composición química

Posteriormente, se describirá el motivo por el que la composición química del acero inoxidable ferrítico según la presente invención es limitada. En este caso, el % usado cuando se describe una composición química a continuación también representa siempre el % en masa.

10 C: el 0,020% o menos

Aunque el C es un elemento químico que es eficaz para incrementar la resistencia mecánica del acero, hay una disminución significativa en la tenacidad y la conformabilidad en caso de que el contenido en C sea de más del 0,020%. Por tanto, en la presente invención, se fija el contenido en C para que sea del 0,020% o menos. Por otro lado, puesto que es preferible que el contenido en C sea lo más pequeño posible con el fin de lograr buena conformabilidad, es preferible que el contenido en C sea del 0,003% o más.

Si: el 3,0% o menos

15 El Si es un elemento químico que es importante para incrementar la resistencia a la oxidación del acero. Este efecto se logra en caso de que el contenido en Si sea del 0,1% o más. Es preferible que el contenido en Si sea del 0,3% o más en caso de que se requiera una resistencia a la oxidación. Sin embargo, en caso de que el contenido en Si sea del 3,0%, no sólo hay una disminución en la conformabilidad, sino también una disminución en la adhesividad de la cascarilla de óxido. Por tanto, se fija el límite superior para que sea del 3,0%, más preferiblemente del 0,3% al 2,0%, de manera todavía más preferiblemente del 0,4% al 1,0%.

Mn: el 3,0% o menos

25 El Mn es un elemento químico que incrementa la resistencia mecánica del acero, que funciona como agente desoxidante y que suprime el desconchado de la cascarilla de óxido producido por la adición de Si. Es preferible que el contenido en Mn sea del 0,1% o más con el fin de lograr estos efectos. Sin embargo, en caso de que el Mn se añada en exceso, no sólo hay un incremento en el aumento de peso por oxidación pero también una disminución en la resistencia al calor debido a la tendencia a que se forme una fase  $\gamma$  a alta temperatura. Por tanto, en la presente invención, se fija el contenido en Mn para que sea del 3,0% o menos

30 P: el 0,040% o menos

Puesto que el P es un elemento químico adverso que disminuye la tenacidad del acero, es preferible que el contenido en P sea lo más pequeño posible. Por tanto, en la presente invención, se fija que el contenido en P sea del 0,040% o menos, preferiblemente del 0,030% o menos.

S: el 0,030% o menos

35 Puesto que el S es un elemento químico adverso que disminuye el alargamiento y con un valor de  $r$  que tiene una influencia negativa sobre la conformabilidad y que disminuye la resistencia a la corrosión que es la propiedad fundamental del acero inoxidable, es preferible que el contenido en S sea lo más pequeño posible. Por tanto, en la presente invención, se fija el contenido en S para que sea del 0,030% o menos, preferiblemente del 0,010% o menos, más preferiblemente del 0,005% o menos.

40 Cr: el 10% o más y el 16% o menos

Aunque el Cr es un elemento químico importante que es eficaz para incrementar la resistencia a la corrosión y la resistencia a la oxidación que caracterizan al acero inoxidable, no puede lograrse resistencia a la oxidación suficiente en caso de que el contenido en Cr sea de menos del 10%. Por otra parte, el Cr es un elemento químico que incrementa la dureza y disminuye la ductilidad incrementando la resistencia mecánica del acero mediante la intensificación de la disolución sólida a temperatura ambiente. Se fija el límite superior del contenido en Cr para que sea del 25%. Por tanto, se fija el contenido en Cr para que sea del 10% o más y del 16% o menos, preferiblemente del 14% o más y del 16% o menos.

N: el 0,020% o menos

50 Puesto que el N es un elemento químico que disminuye la tenacidad y la conformabilidad del acero, la conformabilidad del acero disminuye significativamente en caso de que el contenido en N sea de más del 0,020%. Por tanto, se fija el contenido en N para que sea del 0,020% o menos. Por otro lado, puesto que es preferible que el contenido en N sea lo más pequeño posible con el fin de lograr tenacidad y conformabilidad suficientes, es preferible

que el contenido en N sea del 0,015% o menos.

Nb: el 0,005% o más y el 0,15% o menos

El Nb es un elemento químico que es eficaz para incrementar la resistencia a la corrosión, la conformabilidad y la resistencia a la corrosión intergranular de una parte soldada fijando C y N como resultado de formar carbonitruros y que es eficaz para incrementar la resistencia a la fatiga térmica y la resistencia a la fatiga a alta temperatura incrementando la resistencia a la fatiga a alta temperatura. En particular, en la presente invención, el Nb es eficaz para incrementar significativamente la resistencia a la fatiga térmica y la resistencia a la fatiga a alta temperatura disminuyendo adicionalmente el tamaño de partícula de  $\epsilon$ -Cu. Aunque estos efectos se logran en caso de que el contenido en Nb sea del 0,005% o más, es preferible que el contenido en Nb sea del 0,01% o más, y más preferiblemente del 0,02% o más. Sin embargo, hay problemas porque el Nb es un elemento químico caro y porque la contribución a un incremento en la resistencia mecánica del acero no puede lograrse en caso de que se forme una fase de Laves ( $\text{Fe}_2\text{Nb}$ ) y que el tamaño de partícula de esta fase incremente en los ciclos térmicos. Además, puesto que la temperatura de recristalización del acero se incrementa en caso de que se añada Nb, es necesario que la temperatura de recocido sea alta, lo que da como resultado un incremento en el coste de fabricación. Por tanto, se fija el límite superior del contenido en Nb para que sea del 0,15%. Por tanto, se fija el contenido en Nb para que sea del 0,005% o más y del 0,15% o menos, preferiblemente del 0,01% o más y del 0,15% o menos, más preferiblemente del 0,02% o más y del 0,10% o menos.

Mo: el 0,1% o menos

El Mo es un elemento químico que incrementa la resistencia al calor incrementando significativamente la resistencia mecánica del acero mediante la intensificación de la disolución sólida. Sin embargo, puesto que el Mo es un elemento químico caro y disminuye la resistencia a la oxidación del acero que contiene Ti y Cu según la presente invención, el Mo no se añade activamente desde el punto de vista del objeto de la presente invención. Sin embargo, hay un caso en el que el Mo se mezcla para dar acero a partir de materiales tales como chatarra en una cantidad del 0,1% o menos. Por tanto, se fija el contenido en Mo para que sea del 0,1% o menos, preferiblemente del 0,05% o menos.

W: el 0,1% o menos

El W es un elemento químico que incrementa la resistencia al calor incrementando significativamente la resistencia mecánica del acero mediante la intensificación de la disolución sólida como lo hace el Mo. Sin embargo, puesto que el W es un elemento químico caro como lo es el Mo, y puesto que el W es eficaz para estabilizar la cascarilla de óxido del acero inoxidable, lo que da como resultado un incremento en la carga de trabajo para retirar la cascarilla de óxido que se forma en el recocido, el W no se añade activamente. Sin embargo, hay un caso en el que el W se mezcla para dar acero a partir de materiales tales como chatarra en una cantidad del 0,1% o menos. Por tanto, se fija el contenido en W para que sea del 0,1% o menos, preferiblemente del 0,05% o menos, más preferiblemente del 0,02% o menos.

Al: menos del 0,20%

El Al es un elemento químico que es eficaz para incrementar la resistencia a la oxidación y la resistencia a la corrosión salina a alta temperatura. Sin embargo, en caso de que el contenido en Al sea del 0,20% o más, hay un incremento en la dureza del acero, lo que da como resultado una disminución en la conformabilidad. Se fija el contenido en Al para que sea de menos del 0,20%, preferiblemente del 0,02% o más y del 0,10% o menos.

Cu: el 0,55% o más y el 2,0% o menos

El Cu es un elemento químico que es muy eficaz para incrementar la resistencia a la fatiga térmica del acero. Esto se debe al efecto de la intensificación de precipitación de  $\epsilon$ -Cu, y es necesario que el contenido en Cu sea del 0,55% o más tal como indica la figura 3. Por otra parte, el Cu disminuye la resistencia a la oxidación y la conformabilidad y, puesto que en caso de que el contenido en Cu sea de más del 2,0%, hay un incremento en el tamaño de partícula de  $\epsilon$ -Cu, por el contrario, disminuye la resistencia a la fatiga térmica. Por tanto, se fija el límite superior del contenido en Cu para que sea del 2,0%, preferiblemente del 0,7% o más y del 1,6% o menos. Tal como se describe a continuación, no hay un incremento suficiente en la resistencia a la fatiga térmica añadiendo sólo Cu. Puesto que el tamaño de partícula de  $\epsilon$ -Cu disminuye mediante la adición de B en combinación con Cu, se incrementa la resistencia a la fatiga térmica del acero.

Ti:  $5 \times (\% \text{ de C} + \% \text{ de N})$  o más y el 0,5% o menos

El Ti es eficaz para incrementar la resistencia a la corrosión, la conformabilidad y la resistencia a la corrosión intergranular de una parte soldada fijando el C y el N de la misma manera que el Nb. En la presente invención, el Ti es un elemento químico importante para fijar C y N, puesto que el Nb no se añade activamente. Es necesario que el contenido en Ti sea de  $5 \times (\% \text{ de C} + \% \text{ de N})$  o más, donde el % de C y el % de N en la expresión  $5 \times (\% \text{ de C} + \% \text{ de N})$  representan respectivamente los contenidos (% en masa) de los elementos químicos C y N. Puesto que en caso de que el contenido en Ti sea menor a este, el C y el N no pueden fijarse completamente, se produce

sensibilización, lo que da como resultado una disminución en la resistencia a la oxidación. Por otra parte, puesto que en caso de que el contenido en Ti sea de más del 0,5%, hay una disminución en la tenacidad del acero y la adhesividad de la cascarilla de óxido (= resistencia a la oxidación cíclica), se fija el contenido en Ti para que sea de  $5 \times (\% \text{ de C} + \% \text{ de N})$  o más y del 0,5% o menos, preferiblemente el 0,15% o más y el 0,4% o menos, más preferiblemente el 0,2% o más y el 0,3% o menos.

B: el 0,0002% o más y el 0,0050% o menos

El B es un elemento químico importante en la presente invención. El B incrementa la conformabilidad, en particular el rendimiento de trabajo secundario. Además, el B es eficaz para incrementar la resistencia a la fatiga térmica de acero que contiene Cu, porque el B incrementa la resistencia mecánica a alta temperatura del acero disminuyendo el tamaño de partícula de  $\epsilon$ -Cu.

Puesto que, en caso de que no se añada B, tiende a incrementarse el tamaño de partícula de  $\epsilon$ -Cu, no puede lograrse un efecto suficiente de incrementar la resistencia a la fatiga térmica añadiendo Cu. Este efecto se logra en caso de que el contenido en B sea del 0,0002% o más. Por otra parte, en caso de que el contenido en B sea excesivamente grande, hay una disminución en la conformabilidad y la tenacidad del acero. Por tanto, se fija el límite superior del contenido en B para que sea del 0,0050%, preferiblemente del 0,0005% o más y del 0,0030% o menos.

Ni: el 0,05% o más y el 1,0% o menos

El Ni es un elemento químico importante en la presente invención. El Ni es un elemento químico que incrementa no sólo la tenacidad del acero sino también la resistencia a la oxidación. Con el fin de lograr estos efectos, es necesario que el contenido en Ni sea del 0,05% o más. En caso de que no se añada Ni o en caso de que el contenido en Ni sea menor que ese, disminuye la resistencia a la oxidación debido a la adición de Cu y Ti. En caso de que disminuya la resistencia a la oxidación, disminuye el grosor del material de base debido a un incremento en el aumento de peso por oxidación durante el funcionamiento a alta temperatura, y no puede lograrse una resistencia a la fatiga térmica excelente porque la parte en la que se produce el desconchado de la cascarilla de óxido se convierte en el origen de una grieta. Por otra parte, el Ni es un elemento químico que es caro y que es muy eficaz para formar una fase  $\gamma$ . Cuando el contenido en Ni es excesivamente grande, se deteriora la resistencia a la oxidación debido a la formación de la fase  $\gamma$  a alta temperatura. Por tanto, se fija el límite superior del contenido en Ni para que sea del 1,0%, preferiblemente del 0,08% o más y del 0,5% o menos, más preferiblemente del 0,15% o más y del 0,25% o menos.

Opcionalmente, la composición del acero inoxidable ferrítico comprende además uno o más elementos seleccionados de entre REM, Zr, V y Co como elementos químicos selectivos en las cantidades descritas a continuación con el fin de aumentar la resistencia al calor.

REM: el 0,001% o más y el 0,08% o menos y Zr: el 0,01% o más y el 0,5% o menos

Los REM (metales de tierras raras) y el Zr son ambos elementos químicos que incrementan la resistencia a la oxidación del acero y que se añaden según sea necesario en la presente invención. Con el fin de lograr este efecto, es preferible que el contenido en REM sea del 0,001% o más y que el contenido en Zr sea del 0,01% o más. Sin embargo, hay fragilidad del acero en caso de que el contenido en REM sea de más del 0,08%, y hay fragilidad del acero debido a la precipitación de compuestos intermetálicos que contienen Zr en caso de que el contenido en Zr sea de más del 0,5%. Por tanto, es preferible que el contenido en REM sea del 0,001% o más y del 0,08% o menos en caso de que estén contenidos REM y que el contenido en Zr sea del 0,01% o más y del 0,5% o menos en caso de que esté contenido Zr.

V: el 0,01% o más y el 0,5% o menos

El V es un elemento químico que es eficaz para incrementar no sólo la resistencia a la oxidación sino también la resistencia a alta temperatura del acero. Con el fin de lograr estos efectos, es preferible que el contenido en V sea del 0,01% o más. Sin embargo, en caso de que el contenido en V sea de más del 0,5%, la tenacidad del acero disminuye debido a la precipitación de V(C, N) que tiene un tamaño de partícula grande. Por tanto, en caso de que esté contenido V, es preferible que el contenido en V sea del 0,01% o más y del 0,5% o menos, más preferiblemente del 0,03% o más y del 0,4% o menos, todavía más preferiblemente del 0,05% o más y del 0,25% o menos.

Co: el 0,01% o más y el 0,5% o menos

El Co es un elemento químico que es eficaz para incrementar la tenacidad y la resistencia a alta temperatura del acero. Con el fin de lograr estos efectos, es preferible que el contenido en Co sea del 0,01% o más. Sin embargo, el Co es un elemento químico caro y los efectos descritos anteriormente llegan a saturarse incluso en caso de que el contenido en Co sea de más del 0,5%. Por tanto, en caso de que esté contenido Co, es preferible que el contenido en Co sea del 0,01% o más y del 0,5% o menos, más preferiblemente del 0,02% o más y del 0,2% o menos.

Además, pueden estar contenidos uno o dos elementos seleccionados de Ca y Mg como elementos químicos selectivos en la cantidad descrita a continuación con el fin de incrementar la capacidad de fabricación.

Ca: el 0,0005% o más y el 0,0030% o menos

5 El Ca es un elemento químico que es eficaz para impedir que las boquillas de colada continua se obturen con la precipitación de inclusiones que contienen Ti. Este efecto no puede lograrse en caso de que el contenido en Ca sea de menos del 0,0005%. Por otra parte, es preferible que el límite superior del contenido en Ca sea del 0,0030% con el fin de lograr una buena calidad de superficie impidiendo la aparición de defectos de superficie. Por tanto, en caso de que esté contenido Ca, es preferible que el contenido en Ca sea del 0,0005% o más y del 0,0030% o menos, más preferiblemente del 0,0005% o más y del 0,0020% o menos, todavía más preferiblemente del 0,0005% o más y del 0,0015% o menos.

Mg: el 0,0002% o más y el 0,0020% o menos

10 El Mg es un elemento químico que es eficaz para incrementar la conformabilidad y la tenacidad como resultado de incrementar una razón de cristal equiaxial y que también es eficaz para suprimir un incremento en el tamaño de partícula del carbonitruro de Ti en el caso del acero con Ti añadido según la presente invención. Estos efectos se logran en caso de que el contenido en Mg sea del 0,0002% o más. Puesto que, en caso de que haya un incremento en el tamaño de partícula del carbonitruro de Ti, el carbonitruro se convierte en el origen de una fractura por fragilidad, hay una disminución significativa en la tenacidad del acero. Por otra parte, en caso de que el contenido en Mg sea de más del 0,0020%, se produce el deterioro de la calidad de superficie del acero. Por tanto, en caso de que esté contenido Mg, es preferible que el contenido en Mg sea del 0,0002% o más y del 0,0020% o menos, más preferiblemente del 0,0002% o más y del 0,0015% o menos, todavía más preferiblemente del 0,0004% o más y del 0,0010% o menos.

### 20 3. Método de fabricación

Posteriormente, se describirá a continuación en el presente documento un método para fabricar el acero inoxidable ferrítico según la presente invención.

Un método común para fabricar acero inoxidable ferrítico puede usarse idealmente para fabricar el acero inoxidable según la presente invención, y no hay limitación particular sobre el método.

25 Por ejemplo, se obtiene acero que tiene la composición química según la presente invención realizando fundición usando un horno de fusión tal como un convertidor de acero o un horno eléctrico, opcionalmente realizando adicionalmente un refinado secundario usando un método tal como un refinado en cuchara o refinado a vacío. Posteriormente, es preferible que se obtenga un bloque usando un método de colada continua o un método de colada-laminación de desbaste de lingotes y que se obtenga una chapa recocida y laminada en frío realizando laminación en caliente, recocido de chapa laminada en caliente, decapado, laminación en frío, recocido de acabado y decapado del bloque.

30 Por otro lado, la laminación en frío descrita anteriormente puede realizarse una vez, dos veces o más, realizándose el procedimiento de recocido entre las realizaciones de la laminación en frío. Además, los procedimientos de laminación en frío, recocido de acabado y decapado pueden realizarse repetidas veces. Además, puede omitirse en algunos casos el recocido de chapa laminada en caliente y puede realizarse una laminación de alisado una vez que se ha realizado la laminación en frío o el recocido de acabado en caso de que se requiera la calidad lustrosa de la superficie de una chapa de acero.

35 Es más preferible que se limiten algunas de las condiciones de los procedimientos de laminación en caliente y laminación en frío. Considerando un procedimiento de obtención de acero, es preferible que el refinado secundario se realice usando un método de VOD (método de descarburación con oxígeno a vacío) en el acero licuado que tiene la composición química indispensable descrita anteriormente y que contiene elementos químicos adicionales según sea necesario que se ha fundido usando un convertidor de acero o un horno eléctrico. Aunque el acero licuado fundido puede convertirse en un material de acero usando un método bien conocido, es preferible que se use un método de colada continua desde el punto de vista de la productividad y la calidad del material.

40 El material de acero obtenido realizando colada continua se calienta hasta una temperatura de, por ejemplo, 1000°C a 1250°C, y se lamina en caliente para dar una chapa laminada en caliente que tiene un grosor deseado. Sobra decir que el material de acero puede procesarse para dar un material distinto de una chapa. Esta chapa laminada en caliente se somete, según sea necesario, a recocido discontinuo a una temperatura de 600°C a 900°C o a recocido continuo a una temperatura de 900°C a 1100°C y entonces se convierte en un producto de chapa laminada en caliente realizando, por ejemplo, decapado. Además, puede realizarse descascarillado según sea necesario usando un método de granallado antes de realizar el decapado.

45 Además, con el fin de obtener una chapa recocida y laminada en frío, la chapa laminada en caliente y recocida se convierte en una chapa laminada en frío a través de un procedimiento de laminación en frío. En este procedimiento de laminación en frío, puede realizarse laminación en frío dos veces o más según sea necesario con el procedimiento de recocido por motivos de fabricación. Se fija la razón de reducción de laminación total de un procedimiento de laminación en frío que consiste en laminación en frío realizada una vez, dos veces o más, para que sea del 60% o más, preferiblemente del 70% o más.

La chapa laminada en frío se convierte en una chapa recocida y laminada en frío realizando recocido continuo (recocido de acabado) a una temperatura de 850°C a 1150°C, preferiblemente de 850°C a 1050°C, y luego realizando decapado. Además, la chapa decapada puede someterse a laminación con una razón de reducción de laminación pequeña (tal como laminación de alisado) con el fin de controlar la forma y la calidad de la chapa de acero para algunas aplicaciones de uso.

El producto de chapa laminada en caliente o el producto de chapa recocida y laminada en frío obtenido tal como se describió anteriormente se forma para dar un tubo de escape de un automóvil o una motocicleta, un material que va a usarse para un cilindro exterior de catalizador, un conducto de aire de escape de una central termoeléctrica o un material relacionado con una pila de combustible tal como un separador, un interconector o un reformador realizando un procesamiento tal como un trabajo de doblado dependiendo de las aplicaciones de uso.

No hay limitación sobre el método para soldar estos materiales y puede aplicarse un método de soldadura por arco tal como MIG (gas inerte de metal), MAG (gas activo de metal) o TIG (gas inerte de tungsteno), una soldadura por resistencia tal como una soldadura por puntos o soldadura por costura, una soldadura por resistencia de alta frecuencia tal como un método de soldadura por resistencia eléctrica o una soldadura por inducción a alta frecuencia.

### Ejemplo 1

Se fundieron aceros n.<sup>os</sup> 1 a 19 y 23 a 32 que tenían las composiciones químicas facilitadas en la tabla 1-1 usando un horno de fusión a vacío y se convirtieron en lingotes de 30 kg realizando colada. Se convirtió el lingote en un llantón que tenía un grosor de 35 mm y una anchura de 150 mm realizando calentamiento hasta una temperatura de 1170°C y realizando laminación en caliente. Se dividió este llantón en dos piezas, y una de las dos piezas se convirtió en una barra cuadrada que tenía una sección transversal de 30 mm × 30 mm realizando forja. Se convirtió la barra cuadrada en probetas de ensayo de fatiga térmica que tenían las dimensiones ilustradas en la figura 1 realizando recocido a una temperatura en un intervalo de desde 850°C hasta 1050°C y realizando mecanizado y entonces se usaron en un ensayo de fatiga térmica descrito a continuación. Se controló la temperatura de recocido para que fuera una temperatura determinada en el intervalo descrito anteriormente dependiendo de la composición química, confirmando la microestructura. También se controló de manera similar la temperatura de recocido descrita a continuación.

#### Ensayo de fatiga térmica

Se determinó la vida útil con fatiga térmica aplicando repetidamente una tensión a la probeta descrita anteriormente con una razón de restricción de 0,5 tal como se ilustra en la figura 2 a la vez que se repetía un calentamiento y enfriamiento entre temperaturas de 100°C y 800°C. Los tiempos de mantenimiento a las temperaturas de 100°C y 800°C fueron ambos de 2 minutos. En este caso, se determinó la vida útil con fatiga térmica descrita anteriormente según la norma publicada por la Sociedad de ciencia de materiales, "Norma para el ensayo de fatiga en ciclo corto a alta temperatura" de Japón, en la que se calculó la tensión dividiendo una carga detectada cuando la temperatura era de 100°C entre el área de sección transversal de la parte paralela calentada uniformemente de la probeta ilustrada en la figura 1, y en la que se definió la vida útil con fatiga térmica como el número de ciclos en los que la tensión disminuyó hasta el 75% de la misma en la fase inicial. En este caso, por comparación, se llevó a cabo el mismo ensayo usando acero con Nb-Si (15% de Cr-0,9% de Si-0,4% de Nb).

El otro de los dos llantones divididos descritos anteriormente se convirtió en una chapa laminada en caliente que tenía un grosor de 5 mm calentando la pieza hasta una temperatura de 1050°C y realizando laminación en caliente. La chapa laminada en caliente se convirtió en una chapa laminada en frío que tenía un grosor de 2 mm realizando recocido de chapa laminada en caliente a una temperatura en un intervalo de desde 900°C hasta 1050°C, realizando decapado, realizando laminación en frío y realizando recocido de acabado a una temperatura en un intervalo de desde 900°C a 1050°C. En este caso, como referencia, se obtuvo una chapa recocida y laminada en frío usando acero con Nb-Si añadido (n.º 23 en la tabla 1) de la misma manera que se describió anteriormente y se usó en ensayos de evaluación.

#### Ensayo de oxidación continua

Se cortó una probeta de 30 mm × 20 mm de cada una de las diversas chapas recocidas y laminadas en frío obtenidas tal como se describió anteriormente. Se formó una abertura de 4 mmφ en la parte superior de la probeta. Se pulieron las superficies y las caras de extremo de la probeta usando papel de lija n.º 320 y se desengrasaron. Entonces se mantuvo la probeta en un horno en aire atmosférico a una temperatura de 900°C durante 300 horas. Tras el mantenimiento, se midió la masa de la probeta y se calculó el aumento de peso por oxidación (g/m<sup>2</sup>) a partir de la diferencia entre la masa y la medida de antemano antes del mantenimiento. En este caso, el ensayo se repitió dos veces y se evaluó la resistencia a la oxidación del acero basándose en el mayor valor de los dos. Se evaluó un caso de un aumento de peso por oxidación de 50 g/m<sup>2</sup> o más como el caso de oxidación de avance rápido.

#### Ensayo de oxidación cíclica

Se sometió la probeta descrita anteriormente a tratamiento térmico, en el que se repitieron un calentamiento y

5 enfriamiento en las condiciones en las que la probeta se mantenía a una temperatura de 100°C durante 1 minuto y a una temperatura de 950°C durante 20 minutos, durante 400 ciclos. Se calculó el aumento de peso por área unitaria ( $\text{g}/\text{m}^2$ ) que se produjo por la oxidación usando la diferencia determinada en la masa de la probeta entre antes y después del tratamiento térmico, y se confirmó si se producía o no un desconchado de la cascarilla de óxido de la superficie de la probeta. Se evaluó como insatisfactorio un caso en el que se observó marcadamente un desconchado de la cascarilla de óxido, y un caso en el que no se observó desconchado de la cascarilla de óxido se evaluó como satisfactorio. En este caso, en el ensayo descrito anteriormente, la velocidad de calentamiento fue de 5°C/s y la velocidad de enfriamiento fue de 1,5°C/s.

Los resultados obtenidos se facilitan en la tabla 1-2.

[Tabla 1-1]

N°	Composición química (% en masa) *																							Ti/ (C+N)
	C	Si	Mn	Al	P	S	Cr	Ni	Cu	Nb	V	N	Zr	Ti	B	Co	Mo	W	REM	Ca	Mg	C+N		
1	0.010	0.48	0.40	0.01	0.03	0.003	13.9	0.17	0.83	0.04	-	0.012	-	0.25	0.0006	-	0.02	0.01	-	-	-	0.022	11.4	
2	0.009	0.51	0.38	0.01	0.03	0.002	14.1	0.16	1.27	0.03	-	0.011	-	0.24	0.0004	-	0.03	0.02	-	-	-	0.020	12.0	
3	0.010	0.50	0.42	0.01	0.03	0.003	13.7	0.33	1.50	0.02	-	0.011	-	0.23	0.0005	-	0.05	0.02	-	-	-	0.021	11.0	
4	0.009	0.52	0.42	0.01	0.03	0.002	14.3	0.51	1.48	0.03	-	0.011	-	0.25	0.0006	-	0.04	0.01	-	-	-	0.020	12.5	
5	0.005	0.62	0.25	0.01	0.02	0.003	17.1	0.26	1.14	0.02	-	0.006	-	0.15	0.0010	-	0.03	0.03	0.02	-	-	0.011	13.6	
6	0.014	0.21	0.53	0.02	0.03	0.002	16.7	0.19	0.99	0.04	-	0.015	-	0.48	0.0012	-	0.01	0.02	-	-	-	0.029	16.6	
7	0.008	0.11	0.14	0.09	0.03	0.002	18.3	0.32	1.13	0.06	-	0.010	-	0.21	0.0016	-	0.02	0.04	-	-	-	0.018	11.7	
8	0.012	0.86	0.64	0.03	0.03	0.002	15.5	0.23	1.26	0.03	-	0.009	0.02	0.29	0.0003	-	0.03	0.01	-	-	-	0.021	13.8	
9	0.007	1.38	0.98	0.02	0.03	0.002	13.7	0.16	1.59	0.02	-	0.008	-	0.33	0.0015	-	0.05	0.02	-	-	-	0.015	22.0	
10	0.013	0.59	0.20	0.04	0.03	0.003	11.4	0.34	1.16	0.03	-	0.010	0.18	0.23	0.0008	-	0.03	0.02	-	-	-	0.023	10.0	
11	0.012	0.17	0.18	0.12	0.03	0.002	21.9	0.13	0.90	0.05	-	0.009	-	0.26	0.0013	0.32	0.02	0.02	-	-	-	0.021	12.4	
12	0.014	0.25	0.36	0.11	0.03	0.002	12.8	0.18	0.84	0.04	0.22	0.014	-	0.16	0.0007	-	0.04	0.03	-	-	-	0.028	5.7	
13	0.009	0.68	0.57	0.06	0.03	0.002	18.7	0.33	1.87	0.04	-	0.012	-	0.30	0.0048	-	0.01	0.05	-	-	-	0.021	14.3	
14	0.011	0.53	0.39	0.01	0.03	0.002	14.2	0.16	1.02	0.04	-	0.012	-	0.24	0.0005	-	0.03	0.01	-	-	-	0.023	10.4	
15	0.010	0.46	0.40	0.01	0.03	0.002	13.9	0.14	2.42	0.02	-	0.012	-	0.24	0.0004	-	0.02	0.02	-	-	-	0.022	10.9	
16	0.009	0.53	0.38	0.01	0.03	0.001	14.0	0.03	1.48	0.02	-	0.013	-	0.25	0.0006	-	0.02	0.02	-	-	-	0.022	11.4	
17	0.009	0.51	0.29	0.03	0.03	0.001	14.3	0.26	1.36	0.03	-	0.010	-	0.25	0.0001	-	0.02	0.03	-	-	-	0.019	13.2	
18	0.010	0.49	0.39	0.01	0.03	0.002	13.8	1.28	1.53	0.05	-	0.012	-	0.23	0.0004	-	0.02	0.02	-	-	-	0.022	10.5	
19	0.013	0.29	0.37	0.04	0.03	0.002	13.3	0.24	1.30	0.03	-	0.015	-	0.12	0.0019	-	0.03	0.01	-	-	-	0.028	4.3	
23	0.006	0.83	0.38	0.02	0.03	0.003	14.9	0.22	0.02	0.46	0.04	0.009	0.002	0.01	0.0005	0.01	0.02	0.01	-	-	-	0.017	0.8	
24	0.009	0.89	0.16	0.02	0.02	0.002	15.1	0.08	0.77	0.12	-	0.010	-	0.24	0.0002	-	0.01	-	-	0.0009	0.0007	0.019	12.6	
25	0.007	0.56	0.20	0.04	0.02	0.003	17.0	0.14	0.57	0.14	-	0.009	-	0.27	0.0005	-	-	0.01	-	-	0.0011	0.016	16.9	
26	0.007	1.23	0.14	0.14	0.03	0.002	13.8	0.07	0.63	0.12	-	0.011	-	0.20	0.0009	-	-	-	-	0.0007	0.0009	0.018	11.1	
27	0.010	0.75	0.22	0.08	0.02	0.002	14.3	0.12	0.96	0.10	0.17	0.009	-	0.25	0.0004	-	-	0.02	-	0.0005	0.0010	0.019	13.2	
28	0.008	1.01	0.17	0.03	0.03	0.003	16.6	0.15	1.08	0.08	-	0.010	0.15	0.26	0.0003	-	0.01	-	-	0.0013	0.0008	0.018	14.4	
29	0.007	0.45	0.30	0.04	0.02	0.002	17.2	0.09	1.31	0.06	-	0.010	-	0.23	0.0006	0.04	-	-	-	0.0019	0.0011	0.017	13.5	
30	0.005	0.84	0.28	0.05	0.02	0.002	15.4	0.10	0.80	0.09	-	0.012	-	0.27	0.0013	-	-	-	0.03	0.0010	0.0013	0.017	15.9	
31	0.009	0.96	0.19	0.02	0.02	0.001	18.7	0.08	1.22	0.11	-	0.008	-	0.28	0.0010	-	0.02	0.01	-	0.0012	-	0.017	16.5	
32	0.008	0.68	0.26	0.04	0.03	0.002	14.9	0.11	1.13	0.07	-	0.009	-	0.22	0.0004	-	0.05	-	-	0.0009	0.0012	0.017	12.9	

\*: El valor subrayado está fuera del intervalo según la presente invención

[Tabla 1-2]

N.º	Vida útil con fatiga térmica (número de ciclos)	Aumento de peso en ensayo de oxidación continua en aire (g/m <sup>2</sup> )	Resultado del ensayo de oxidación cíclica en aire **	Nota
1	910	39	Satisfactorio	Ejemplo comparativo
2	1090	38	Satisfactorio	Ejemplo comparativo
3	1040	41	Satisfactorio	Ejemplo comparativo
4	990	39	Satisfactorio	Ejemplo comparativo
5	940	33	Satisfactorio	Ejemplo comparativo
6	950	46	Satisfactorio	Ejemplo comparativo
7	930	43	Satisfactorio	Ejemplo comparativo
8	1060	36	Satisfactorio	Ejemplo
9	1000	45	Satisfactorio	Ejemplo
10	980	48	Satisfactorio	Ejemplo
11	940	39	Satisfactorio	Ejemplo comparativo
12	970	44	Satisfactorio	Ejemplo
13	960	45	Satisfactorio	Ejemplo comparativo
14	<u>590</u>	36	Satisfactorio	Ejemplo comparativo
15	<u>830</u>	<u>53</u>	<u>Insatisfactorio</u>	Ejemplo comparativo
16	<u>890</u>	<u>98</u>	<u>Insatisfactorio</u>	Ejemplo comparativo
17	<u>830</u>	44	Satisfactorio	Ejemplo comparativo
18	<u>850</u>	<u>66</u>	<u>Insatisfactorio</u>	Ejemplo comparativo
19	<u>850</u>	<u>83</u>	Satisfactorio	Ejemplo comparativo
23	910	48	Satisfactorio	Ejemplo comparativo Acero con Nb-Si añadido
24	950	37	Satisfactorio	Ejemplo
25	920	34	Satisfactorio	Ejemplo comparativo
26	930	43	Satisfactorio	Ejemplo
27	980	40	Satisfactorio	Ejemplo
28	970	38	Satisfactorio	Ejemplo comparativo
29	1070	35	Satisfactorio	Ejemplo comparativo
30	960	34	Satisfactorio	Ejemplo
31	1060	37	Satisfactorio	Ejemplo comparativo
32	970	41	Satisfactorio	Ejemplo

\*\* : Satisfactorio; sin desconchado de cascarilla,

Insatisfactorio; con desconchado de cascarilla

5 El valor subrayado está fuera del intervalo según la presente invención.

Se confirma claramente a partir de la tabla 1-2 que los ejemplos de la presente invención tienen todos resistencia a la fatiga térmica y resistencia a la oxidación equivalente a o mayor que los de acero con Nb-Si añadido, lo que significa que se logra el objeto de la presente invención.

**Aplicabilidad industrial**

10 El acero según la presente invención puede usarse idealmente, no sólo para las partes de un sistema de escape de, por ejemplo, un automóvil, sino también para las partes de un sistema de escape de una central termoeléctrica y las partes de una pila de combustible de óxido sólido que se requiere que tengan propiedades similares a las partes de un sistema de escape de un automóvil.

**REIVINDICACIONES**

1. Acero inoxidable ferrítico que tiene una composición química que consiste en, en % en masa, C: del 0,003 al 0,020%, Si: del 0,1 al 3,0%, Mn: del 0,1 al 3,0%, P: del 0,040% o menos, S: del 0,030% o menos, Cr: del 10% al 16%, N: del 0,020% o menos, Nb: del 0,005% al 0,15%, Al: del 0,02 a menos del 0,20%, Ti: de  $5 \times (\% \text{ de C} + \% \text{ de N})$  al 0,5%, Mo: del 0,1% o menos, W: del 0,1% o menos, Cu: del 0,55% al 2,0%, B: del 0,0002% al 0,0050%, Ni: del 0,05% al 1,0%, opcionalmente uno o más seleccionados de entre REM: del 0,001% al 0,08%, Zr: del 0,01% al 0,5%, V: del 0,01% al 0,5%, Co: del 0,01% al 0,5%, Ca: del 0,0005% al 0,0030% y Mg: del 0,0002% al 0,0020% y siendo el resto Fe e impurezas inevitables, donde el % de C y el % de N en la expresión  $5 \times (\% \text{ de C} + \% \text{ de N})$  representan respectivamente los contenidos (% en masa) de los elementos químicos C y N.
- 5
- 10

FIG. 1

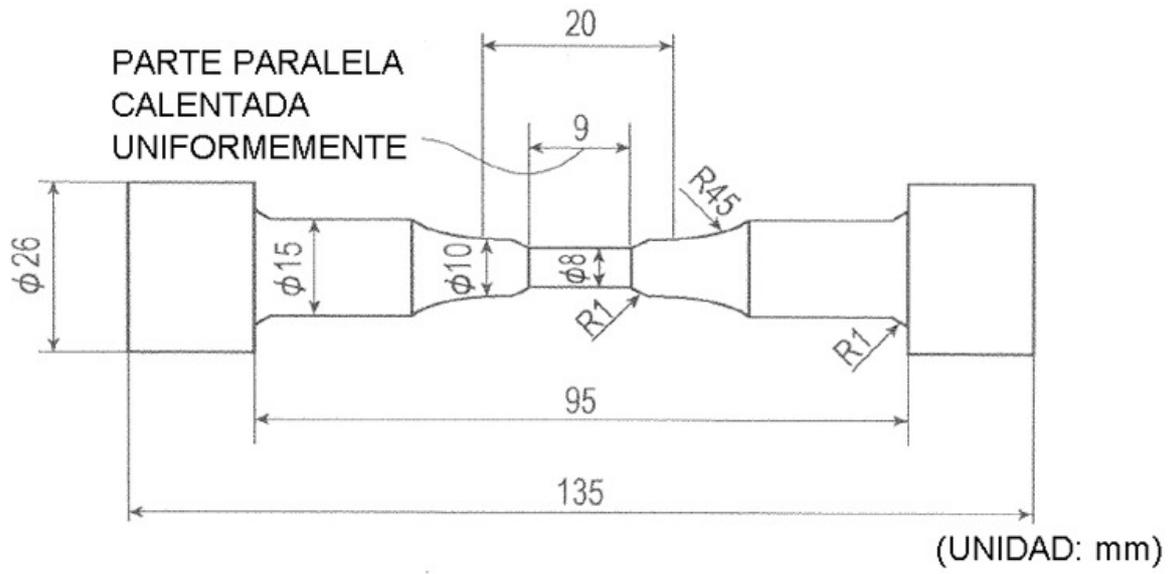


FIG. 2

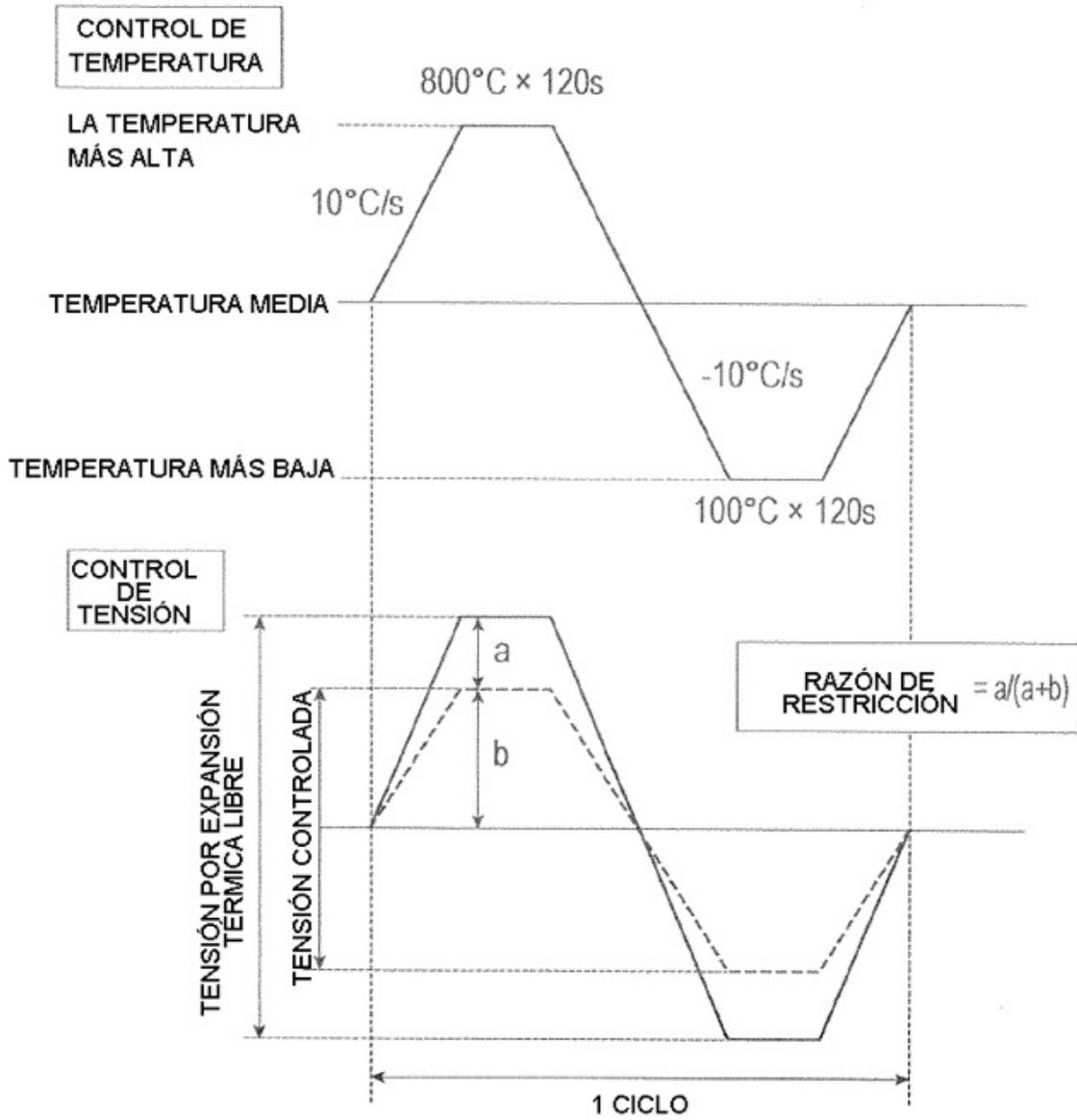


FIG. 3

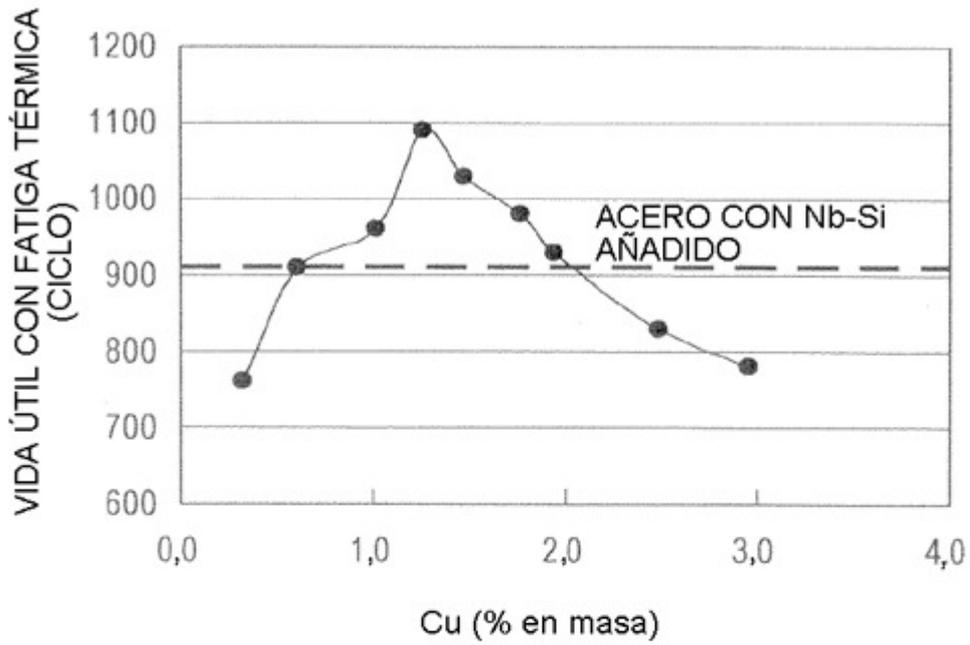


FIG. 4

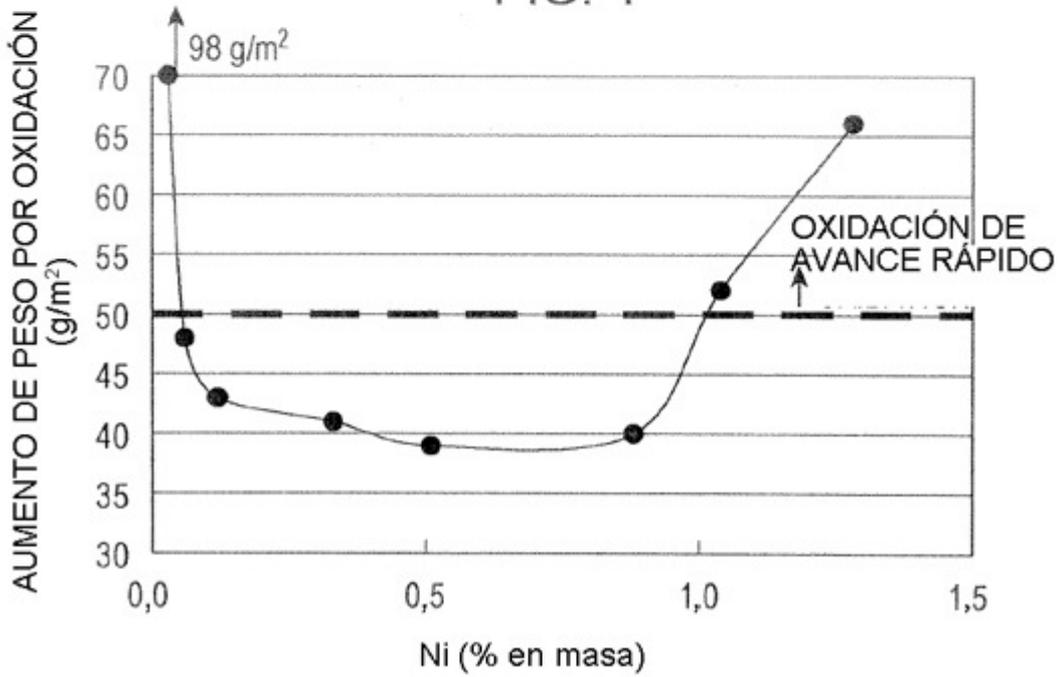


FIG. 5

