

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 720 733**

51 Int. Cl.:

C22C 38/00	(2006.01)	C22C 38/26	(2006.01)
C22C 38/28	(2006.01)	C21D 8/02	(2006.01)
C21D 9/46	(2006.01)	C21D 6/00	(2006.01)
C22C 38/24	(2006.01)	C22C 38/06	(2006.01)
C22C 38/30	(2006.01)		
C22C 38/40	(2006.01)		
C22C 38/02	(2006.01)		
C22C 38/04	(2006.01)		
C22C 38/20	(2006.01)		
C22C 38/22	(2006.01)		

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.10.2011 PCT/JP2011/073980**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **19.04.2012 WO12050226**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.10.2011 E 11832650 (3)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.12.2018 EP 2628814**

54 Título: **Acero inoxidable ferrítico excelente en resistencia al calor y capacidad de trabajo**

30 Prioridad:

06.10.2011 JP 2011221763
14.10.2010 JP 2010231562

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
24.07.2019

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;
KATO, YASUSHI y
OGATA, HIROYUKI

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 720 733 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 excelente en resistencia al calor y capacidad de trabajo

[Campo técnico]

5 La presente invención se relaciona con acero inoxidable ferrítico que tiene alta resistencia al calor (una propiedad de fatiga térmica, resistencia a la oxidación y una propiedad de fatiga a alta temperatura) y capacidad de formación que puede usarse idealmente para las partes de un sistema de escape que se usan en un entorno de alta temperatura, como un tubo de escape y un cilindro exterior de catalizador (también llamado caja de convertidor) de un automóvil y una motocicleta, y un conducto de aire de escape de una planta de energía eléctrica térmica.

[Antecedentes de la técnica]

10 Las partes de un sistema de escape, tal como un colector de escape, un tubo de escape, una caja de conversión y un silenciador que se utilizan en el entorno del sistema de escape de un automóvil deben ser excelentes en una propiedad de fatiga térmica, una propiedad de fatiga a alta temperatura y resistencia a la oxidación (en adelante, estas propiedades se denominan colectivamente resistencia al calor). Dado que las partes, como un colector de escape, se someten a calentamiento y enfriamiento debido a la repetición del arranque y parada del funcionamiento del motor en un estado en el que están restringidas por las partes circundantes, se restringe la expansión térmica y la contracción del material de las partes, lo que resulta en la aparición de la tensión térmica. El fenómeno de fatiga debido a esta tensión térmica es la fatiga térmica. Por otro lado, las partes se someten continuamente a vibración mientras se calientan durante el funcionamiento del motor. El fenómeno de fatiga debido a la acumulación de tensión causada por esta vibración es la fatiga a alta temperatura. El primero es fatiga de ciclo bajo y el último es fatiga de ciclo alto y ambos son fenómenos de fatiga completamente diferentes.

En las solicitudes en las que se requiere resistencia al calor como se describió anteriormente, en la actualidad, a menudo se usa acero que contiene Cr al que se agregan Nb y Si, como el Tipo 429 (que contiene 14Cr-0.9Si-0.4Nb). Sin embargo, dado que la temperatura de los gases de escape ha tornado más alto que 900°C con la mejora del rendimiento del motor, la propiedad de fatiga térmica de Tipo429 se ha tornado insatisfactoria.

25 Con el fin de resolver este problema, se han desarrollado acero que contiene Cr que tiene un límite elástico de alta temperatura incrementado por adición de Nb y Mo, SUS444 (que contiene 19Cr-0.5Nb-2Mo) conforme al documento JIS G 4305 y acero inoxidable ferrítico que contiene menos Cr al cual se agregan Nb, Mo y W y similares (consulte, por ejemplo, la Literatura de Patentes 1). Sin embargo, dado que los precios de metales raros como Mo y W han aumentado notablemente recientemente, se ha tornado en un requisito el desarrollo de un material que tenga una resistencia al calor equivalente a la de estos tipos de acero mediante el uso de materias primas de bajo coste.

30 Se divulgan ejemplos de materiales que tienen una excelente resistencia al calor sin usar elementos químicos costosos tales como Mo y W en la Literatura de Patentes 2 a 4. La Literatura de Patentes 2 divulga el acero inoxidable ferrítico para ser usado para las partes de un canal de flujo de gas de escape de un automóvil. En la Literatura de Patentes 2, 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 al acero que tiene un contenido de Cr de 10 % en masa o más y 20 % en masa o menos. La Literatura de Patentes 3 divulga el acero inoxidable ferrítico excelente en una propiedad de fatiga térmica. En la Literatura de Patentes 3, 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 al acero que tiene un contenido de Cr de 10 % en masa o más y 20 % en masa o menos. La Literatura de Patentes 4 divulga el acero inoxidable ferrítico que va a ser usado para las partes de un canal de flujo de gas de escape de un automóvil. La Literatura de Patentes 4, se añaden Cu: 1 % en masa o más y 3 % en masa o menos al acero que tiene un contenido de Cr de 15 % en masa o más y 25 % en masa o menos. Todos estos tipos de acero divulgados se caracterizan por tener una propiedad de fatiga térmica mejorada al agregar Cu.

45 La Literatura de Patentes 5 divulga una lámina de acero inoxidable ferrítica con excelentes propiedades de fatiga térmica, adecuada para su uso en un miembro de recorrido de gas de escape de un automóvil, que incluye un colector de escape, un convertidor de catalizador, un tubo frontal o un tubo central.

[Lista de citas]

[Literatura de Patentes]

50 [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

[PTL 5] US2008279712 A1

[Resumen de la invención]

[Problema técnico]

5 Sin embargo, de acuerdo con las investigaciones llevadas a cabo por los presentes inventores, en el caso de que el Cu se agregue como en los métodos divulgados en las Literaturas de Patentes 2 a 4, se ha encontrado que, mientras se mejora la propiedad de fatiga térmica, al contrario, se reduce la resistencia a la oxidación, lo que resulta en el deterioro de la resistencia general al calor.

10 Además, ya que se ha tornado más pequeño un espacio que un colector de escape puede ocupar en un espacio de motor con la reducción de peso de un automóvil, se ha llegado a requerir que un colector de escape se pueda formar en una forma compleja.

15 La presente invención se ha completado en vista de la situación descrita anteriormente, y un objeto de la presente invención es proporcionar un acero inoxidable ferrítico excelente en resistencia al calor (resistencia a la oxidación, una propiedad de fatiga térmica y una propiedad de fatiga de alta temperatura) y la capacidad formación, mientras que previene una disminución en la resistencia a la oxidación debido al Cu, sin agregar elementos químicos costosos como Mo y W.

20 Incidentalmente, el significado de "excelente en resistencia al calor" de acuerdo con la presente invención es que la resistencia a la oxidación, una propiedad de fatiga térmica y una propiedad de fatiga a alta temperatura son equivalentes o mejores que las de SUS444. Específicamente, significa que la resistencia a la oxidación a una temperatura de 950°C es equivalente o mejor que la de SUS444, que una propiedad de fatiga térmica cuando ocurren fluctuaciones de temperatura repetidamente entre las temperaturas de 100°C y 850°C es equivalente o mejor que la de SUS444 y que una propiedad de fatiga a alta temperatura a una temperatura de 850°C es equivalente o mejor que la de SUS444. Además, el significado de "excelente capacidad de formación" de acuerdo con la presente invención es que un alargamiento promedio en las tres direcciones a temperatura ambiente es del 36% o más.

25 [Solución al problema]

30 Se realizaron diligentemente investigaciones con el fin de desarrollar acero inoxidable ferrítico excelente en resistencia a la oxidación y propiedades de fatiga térmica al prevenir una disminución en la resistencia a la oxidación debido al Cu que se produce en los métodos convencionales sin agregar elementos químicos costosos como Mo o W. Como resultado, se encontró que se puede lograr una alta resistencia en altas temperaturas al agregar la combinación de Nb: 0.3 % en masa o más y 0.65 % en masa o menos y Cu: 1.0 % en masa o más y 2.5 % en masa o menos. Al obtener la alta resistencia, se puede mejorar una propiedad de fatiga térmica en un amplio intervalo de temperatura. Se encontró que se puede prevenir una disminución en la resistencia a la oxidación debido a la adición de Cu agregando una cantidad apropiada de Al (0.2% en masa o más y 1.0% en masa o menos). Se encontró que, por lo tanto, se puede lograr la resistencia al calor (una propiedad de fatiga térmica y resistencia a la oxidación) equivalente o mejor que la de SUS444, solo controlando los contenidos de Nb, Cu y Al en el intervalo apropiado como se describió anteriormente, sin agregar Mo o W. Además, se realizaron diligentemente investigaciones ~~con~~ respecto a un método para mejorar la resistencia a la oxidación en un entorno que contiene vapor de agua que es asumido en el caso donde el acero inoxidable ferrítico se utiliza prácticamente para un colector de escape y similares, y se encontró que la resistencia a la oxidación en una atmósfera que contiene vapor de agua (en adelante, llamada resistencia a la oxidación del vapor de agua) también se torna equivalente o mejor que la de SUS444 al ajustar el contenido de Si (0.4% en masa o más y 1.0% en masa o menos).

45 Además, también es importante una propiedad de resistencia a la fatiga frente a la vibración en condiciones prácticas de servicio de las partes del sistema de escape de un automóvil, tal como un colector de escape. Por lo tanto, se realizaron diligentemente investigaciones con respecto a un método para mejorar una propiedad de fatiga a alta temperatura, y se encontró que una propiedad de fatiga a alta temperatura también se torna equivalente o mejor que la de SUS444 al ajustar el balance de un contenido de Si y un contenido de Al (Si≥Al).

Además, se realizaron diligentemente investigaciones con respecto a la influencia de Cr en la capacidad de formación y la resistencia a la oxidación, y se encontró que la capacidad de formación puede mejorarse reduciendo el contenido de Cr sin que haya una influencia significativa en la resistencia a la oxidación.

50 Aunque se ha sabido en el pasado que la capacidad de formación puede mejorarse reduciendo el contenido de Cr. Pero hay una disminución en la resistencia a la oxidación al reducir el contenido de Cr. Se ha compensado la disminución de la resistencia a la oxidación mediante la adición de Mo y W, en lugar de Cr, en el pasado, como se divulgó en la Literatura de Patentes 1. En contraste con esto, de acuerdo con la presente invención, se ha encontrado que tanto excelente resistencia a la oxidación como la capacidad de formación se puede lograr agregando una cantidad apropiada de Al sin agregar elementos químicos costosos como Mo y W, incluso si se reduce el contenido de Cr.

La presente invención se ha completado sobre la base del conocimiento de los presentes inventores descritos anteriormente.

Es decir, la presente invención proporciona acero inoxidable ferrítico excelente en resistencia al calor y capacidad de formación que tiene una composición química que consiste en, por % en masa, C: 0.015% o menos, Si: 0.4 % o más y 1.0% o menos, Mn: 1.0% o menos, P: 0.040% o menos, S: 0.010% o menos, Cr: 12% o más y menos de 16%, N: 0.015% o menos, Nb: 0.3% o más y 0.65% o menos, Ti: 0.15% o menos, Mo: 0.1% o menos, W: 0.1% o menos, Cu: 1.0% o más y 2.5 % o menos y Al: 0.2% o más y 1.0% o menos, mientras que la relación Si>Al se cumple, y opcionalmente B: 0.003% o menos, REM: 0.080% o menos, Zr: 0.50% o menos, V: 0.50% o menos, Co: 0.5% o menos, Ni: 0.5% o menos, O: 0.010% o menos, Sn: 0.005% o menos, Mg: 0.005% o menos y Ca : 0.005% o menos, y el balance que es Fe e impurezas inevitables.

[Efectos ventajosos de la invención]

De acuerdo con la presente invención, se puede obtener acero inoxidable ferrítico que tiene resistencia al calor (una propiedad de fatiga térmica, resistencia a la oxidación y una propiedad de fatiga a alta temperatura) equivalente o mejor que la de SUS444 (JIS G 4305) y se puede obtener una excelente capacidad de formación sin agregar Mo o W costosos. Por lo tanto, el acero de acuerdo con la presente invención se puede usar idealmente para las partes del sistema de escape de un automóvil.

[Breve descripción de los dibujos]

[Fig. 1] Fig. 1 es un diagrama que ilustra un espécimen de prueba de fatiga térmica.

[Fig. 2] Fig. 2 es un diagrama que ilustra condiciones de temperatura y constricción en una prueba de fatiga térmica.

[Fig. 3] Fig. 3 es un diagrama que ilustra un espécimen de prueba de fatiga de alta temperatura.

[Fig. 4] Fig. 4 es una gráfica que ilustra la influencia de un contenido de Cu en una propiedad de fatiga térmica.

[Fig. 5] Fig. 5 es una gráfica que ilustra la influencia de un contenido de Al en la resistencia a la oxidación (un aumento en peso debido a la oxidación).

[Fig. 6] Fig. 6 es una gráfica que ilustra la influencia de un contenido de Si sobre la resistencia a la oxidación del vapor de agua (un aumento en peso debido a la oxidación).

[Fig. 7] Fig. 7 es una gráfica que ilustra la influencia de un contenido de Si – un contenido de Al (Si - Al) en una propiedad de fatiga de alta temperatura.

[Fig. 8] Fig. 8 es una gráfica que ilustra la influencia de un contenido de Cr sobre la resistencia a la oxidación del vapor de agua (un aumento en peso debido a la oxidación).

[Fig. 9] Fig. 9 es una gráfica que ilustra la influencia de un contenido de Cr en un medio de elongación en las tres direcciones a temperatura ambiente.

[Descripción de las realizaciones]

En primer lugar, se describirán los experimentos fundamentales que condujeron a la finalización de la presente invención. De aquí en adelante, el% utilizado al describir la composición química siempre denota% en masa.

Acero que tiene una composición química básica que contiene C: 0.005% o más y 0.007% o menos, N: 0.004% o más y 0.006% o menos, P: 0.02% o más y 0.03% o menos, S: 0.002% o más y 0.004% o menos, Si: 0.85%, Mn: 0.4%, Cr: 14%, Nb: 0.45%, Al: 0.35%, Ti: 0.007%, Mo: 0.01% o más y 0.03% o menos y W: 0.01% o más y 0.03% o menos se fundió un contenido de Cu que se ajustó de manera diversa en el intervalo del 0% o más y el 3% o menos utilizando un método experimental y se convirtió en un lingote de acero de 50 kg, luego el lingote de acero se sometió a forja y a un tratamiento térmico en un material de acero que tiene un corte transversal de 35 mm x 35 mm, luego se hizo un espécimen de prueba de fatiga térmica que tiene las dimensiones ilustradas en la Fig. 1 del material de acero. Luego, se observó la vida de fatiga térmica del espécimen realizando un tratamiento térmico de ciclo térmico en el que la relación de restricción fue de 0.30 y en el que se repitió el calentamiento y el enfriamiento, de modo que las fluctuaciones de temperatura ocurrieron repetidamente entre 100°C y 850°C como se ilustra en la Fig. 2. La vida de fatiga térmica se representa como el número de ciclos en los cuales la tensión primero comenzó a disminuir continuamente respecto al ciclo anterior. La tensión se derivó del cálculo como el cociente de la carga detectada a 100°C dividido por el área de corte transversal de la porción paralela remojada de un espécimen de prueba indicado en la Fig. 1. Este número de ciclos correspondió a aquel en el que ocurrió una grieta en el espécimen de prueba. A propósito, se realizó una prueba similar con SUS444 (19% Cr-2% Mo-0.5% de acero Nb) para comparación.

La Fig. 4 ilustra la influencia del contenido de Cu en la vida de fatiga térmica en la prueba de fatiga térmica descrita anteriormente. Esta figura indica que se puede lograr la vida de fatiga térmica equivalente a o más larga que la de

SUS444 (alrededor de 1350 ciclos) al establecer el contenido de Cu en un 1.0% o más. Por lo tanto, es necesario que el contenido de Cu sea 1.0% o más con el fin de mejorar una propiedad de fatiga térmica.

5 Acero que tiene una composición química básica que contiene C: 0.006%, N: 0.007%, P: 0.02% o más y 0.03% o menos, S: 0.002% o más y 0.004% o menos, Mn: 0.2%, Si: 0.85%, Cr: 14%, Nb: 0.49%, Cu: 1.5%, Ti: 0.007%, Mo: 0.01% o más y 0.03% o menos y W: 0.01% o más y 0.03% o menos y se fundió un contenido de Al que se ajusta variablemente en el intervalo de 0% o más y 2% o menos utilizando un método experimental y se convirtió en un lingote de acero de 50 kg, luego se sometió el lingote de acero a laminado en caliente, recocido de laminado en caliente, laminado en frío y recocido de acabado y se convirtió en una lámina de acero laminada en frío y recocida con un espesor de 2 mm. Se cortó un espécimen de prueba de 30 mm x 20 mm de la lámina de acero laminada en frío obtenida como se describe anteriormente, luego se perforó un agujero de 4 mmφ en la parte superior del espécimen de prueba, luego se pulió la superficie y la cara del borde de la muestra con un papel de lija # 320, luego se desengrasó y luego se usó en una prueba de oxidación continua en aire que se describe a continuación.

<Prueba de oxidación continua en aire>

15 Se mantuvo el espécimen de prueba descrito anteriormente en un horno al aire a una temperatura de 950°C durante 200 horas, y luego un aumento en el peso por unidad de área debido a la oxidación (g/m²) se derivó de lo diferencia observada en la masa del espécimen de prueba antes y después de la prueba de calentamiento.

20 La Fig. 5 ilustra la influencia del contenido de Al en el aumento de peso debido a la oxidación en la prueba de oxidación continua en aire descrito anteriormente. Esta figura indica que se puede lograr una resistencia a la oxidación equivalente o mejor que la de SUS444 (aumento de peso debido a la oxidación: 19 g/m² o menos) al establecer el contenido de Al en 0.2% o más.

25 Acero que tiene una composición química básica que contiene C: 0.006%, N: 0.007%, P: 0.02% o más y 0.03% o menos, S: 0.002% o más y 0.004% o menos, Mn: 0.2%, Al: 0.45%, Cr: 14%, Nb: 0.49%, Cu: 1.5%, Ti: 0.007%, Mo: 0.01% o más y 0.03% o menos y W: 0.01% o más y 0.03% o menos y se fundió un contenido de Si que se ajustó de forma diversa utilizando un método experimental y se convirtió en un lingote de acero de 50 kg. Luego, el lingote de acero se sometió a laminado en caliente, recocido laminado en caliente, laminado en frío y recocido de acabado y se convirtió en una lámina de acero laminada en frío y recocida con un espesor de 2 mm. Se cortó un espécimen de prueba de 30 mm x 20 mm de la lámina de acero laminada en frío obtenida como se describe anteriormente. Luego, se perforó un orificio de 4 mmφ en la parte superior del espécimen de prueba, luego se pulió la superficie y la cara del borde del espécimen con un papel de lija # 320. Luego se desengrasó y luego se usó en una prueba de oxidación continua en atmósfera de vapor de agua que se describe a continuación.

<Prueba de oxidación continua en atmósfera de vapor de agua>

35 Se mantuvo el espécimen de prueba descrito anteriormente en un horno en una atmósfera de vapor de agua en la que se hizo pasar un gas N₂ de 10% en volumen de CO₂-20% en volumen de H₂O-5% en volumen de O₂-bal a una rata de 0.5 L/min, y luego un aumento en el peso por unidad de área debido a la oxidación (g/m²) se derivó de la diferencia observada en la masa del espécimen antes y después de la prueba de calentamiento.

La Fig. 6 ilustra la influencia del contenido de Si en el aumento en peso debido a la oxidación en la prueba de oxidación en la atmósfera de vapor de agua descrita anteriormente. Esta figura indica que no se puede lograr una resistencia a la oxidación del vapor de agua equivalente a la de SUS444 (aumento de peso debido a la oxidación: 37 g/m² o menos), a menos que el contenido de Si sea del 0.4% o más.

40 Acero que tiene una composición química básica que contiene C: 0.006%, N: 0.007%, P: 0.02% o más y 0.03% o menos, S: 0.002% o más y 0.004% o menos, Mn: 0.2%, Cr: 14%, Nb: 0.49%, Cu: 1.5%, Ti: 0.007%, Mo: 0.01% o más y 0.03% o menos y W: 0.01% o más y 0.03% o menos y se fundieron los contenidos de Si y Al que se ajustaron de manera diversa utilizando un método experimental y se convirtieron en un lingote de acero de 50 kg. Luego, se sometió el lingote de acero a laminado en caliente, recocido de laminado en caliente, laminado en frío y recocido de acabado y se convirtió en una lámina de acero laminada en frío y recocida con un espesor de 2 mm. Se hizo un espécimen de prueba de fatiga a alta temperatura que tiene una forma ilustrada en la Fig. 3 de la lámina de acero laminada en frío obtenida como se describe anteriormente y luego se usó en una prueba de fatiga a alta temperatura que se describe a continuación.

<Prueba de fatiga a alta temperatura>

50 Se evaluó la propiedad de fatiga a alta temperatura del espécimen de prueba descrito anteriormente utilizando una máquina de prueba de fatiga de tipo Schenck y realizando una vibración inversa de 22 Hz (1300 rpm) a una temperatura de 850°C. Aquí, se ejerció una tensión de flexión de 70 MPa sobre la superficie de la lámina de acero durante la prueba, y se evaluó la propiedad de fatiga en términos de varios ciclos hasta que se produjo la fractura.

55 La Fig. 7 ilustra la influencia de Si-Al en el número de ciclos en la prueba de fatiga a alta temperatura descrita anteriormente. Esta figura indica que es necesario satisfacer la relación Si≥Al con el fin de lograr una propiedad de fatiga a alta temperatura equivalente a la de SUS444 (24 x 10⁵ ciclos).

Acero que tiene una composición química básica que contiene C: 0.006%, N: 0.007%, P: 0.02% o más y 0.03% o menos, S: 0.002% o más y 0.004% o menos, Mn: 0.2% Si: 0.85%, Al: 0.45%, Nb: 0.49%, Cu: 1.5%, Ti: 0.007%, Mo: 0.01% o más y 0.03% o menos y W: 0.01% o más y 0.03% o menos y se fundió un contenido de Cr que se ajustó de forma diversa utilizando un método experimental y se convirtió en un lingote de acero de 50 kg. Luego, se sometió el lingote de acero a laminado en caliente, recocido de laminado en caliente, laminado en frío y recocido de acabado y se convirtió en una lámina de acero laminada en frío y recocida con un espesor de 2 mm. Se cortó un espécimen de prueba de 30 mm x 20 mm de la lámina de acero laminada en frío obtenida como se describe anteriormente, luego se perforó un agujero de 4 mmφ en la parte superior del espécimen de prueba. Luego, se pulió la superficie y la cara del borde del espécimen con un papel de lija # 320, luego se desengrasaron y luego se usaron en la prueba de oxidación en atmósfera de vapor de agua descrita anteriormente

La Fig. 8 ilustra la influencia del contenido de Cr en el aumento de peso debido a la oxidación en la prueba de oxidación en la atmósfera de vapor de agua descrita anteriormente. Esta figura indica que se puede lograr una resistencia a la oxidación del vapor de agua equivalente a la de SUS444 (aumento de peso debido a la oxidación: 37 g/m² o menos) en el caso donde el contenido de Cr sea del 12% o más.

Además, se realizaron las pruebas de tracción a temperatura ambiente con piezas de prueba de tracción de acuerdo con el documento JIS NO. 13B que fueron hechas de estas láminas de acero laminadas en frío y recocidas. Las piezas de prueba de tracción tenían las direcciones de tensión respectivamente en la dirección de laminado (dirección L), en la dirección en ángulos rectos a la dirección de laminado (dirección C) y en la dirección en ángulos de 45° con respecto a la dirección de laminado (dirección D). Se derivó un alargamiento promedio de los alargamientos de rotura que se obtuvieron al realizar pruebas de tracción en las tres direcciones a temperatura ambiente y se calcularon mediante la siguiente ecuación.

$$\text{Elongación El media (\%)} = (E_L + 2E_D + E_C) / 4,$$

donde E_L: El (%) en la dirección L, E_D: El (%) en la dirección D y E_C: El (%) en la dirección C.

La Fig. 9 ilustra la influencia del contenido de Cr en el valor promedio de los alargamientos en las tres direcciones (direcciones L, C y D) en la prueba de tracción. Esta figura indica que se puede lograr una excelente capacidad de formación en términos del alargamiento medio en las tres direcciones (direcciones L, C y D) del 36% o más en el caso donde el contenido de Cr sea inferior al 16%.

La presente invención se ha completado llevando a cabo investigaciones adicionales sobre la base de los resultados de los experimentos fundamentales descritos anteriormente.

El acero inoxidable ferrítico de acuerdo con la presente invención se describirá con detalle a continuación.

En primer lugar, se describirá la composición química de acuerdo con la presente invención.

C: 0.015% o menos

Aunque C es un elemento químico que es efectivo para aumentar la resistencia del acero, hay una disminución significativa en la tenacidad y la capacidad de formación en el caso donde el contenido de C es mayor de 0.015%. Por lo tanto, de acuerdo con la presente invención, el contenido de C se establece en 0.015% o menos. Incidentalmente, es preferible que el contenido de contenido de C sea lo más pequeño posible desde el punto de vista de lograr la capacidad de formación y que el contenido de carbono sea de 0.008% o menos. Por otra parte, es preferible que el contenido de C sea 0.001% o más para lograr la resistencia que se requiere de las partes de un sistema de escape, más preferiblemente 0.002% o más y 0.008% o menos.

Si: 0.4% o más y 1.0% o menos

Si es un elemento químico que es importante para mejorar la resistencia a la oxidación en una atmósfera de vapor de agua. Como indica la Fig. 6, es necesario configurar el contenido de Si para que sea 0.4% o más para lograr una resistencia a la oxidación de vapor de agua equivalente a la de SUS444. Por otra parte, hay una disminución significativa en la capacidad de formación en el caso donde el contenido de Si es mayor al 1.0%. Por lo tanto, el contenido de Si se establece en 0.4% o más y 1.0% o menos, preferiblemente 0.5% o más y 0.9% o menos. Aunque el mecanismo a través del cual la resistencia a la oxidación del vapor de agua aumenta en el caso donde el contenido de Si es 0.4% o más no está claro, se considera que se forma una capa de óxido continua densa sobre la superficie de una lámina de acero en el caso donde el contenido de Si es de 0.4% o más y se evita la penetración de elementos gaseosos desde el exterior, lo que resulta en un aumento de la resistencia a la oxidación de vapor de agua. Es preferible que el contenido de Si sea 0.5% o más en el caso de que exista una necesidad de resistencia a la oxidación en un ambiente más severo.

Mn: 1.0% o menos

Aunque Mn es un elemento químico que provoca un aumento en la resistencia del acero y que es efectivo como agente de desoxidación, una fase γ tiende a formarse a una temperatura alta en el caso donde el contenido de Mn sea excesivamente grande, el contenido de Mn excesivo da como resultado una disminución en la resistencia al calor. Por lo tanto, el contenido de Mn se establece en 1.0% o menos, preferiblemente 0.7% o menos. Es preferible que el contenido del contenido de Mn sea 0.05% o más para realizar el efecto del aumento de la fuerza y la desoxidación.

P: 0.040% o menos

Dado que P es un elemento químico dañino que causa una disminución en la ductilidad, es preferible que el contenido de P sea lo más pequeño posible. Por lo tanto, el contenido de P se establece en 0.040% o menos, preferiblemente 0.030% o menos.

S: 0.010% o menos

Dado que S es un elemento químico dañino que causa una disminución en el alargamiento y un valor r . S tiene una influencia negativa en la capacidad de formación y S causa una disminución en la resistencia a la corrosión, que es la propiedad básica del acero inoxidable. Es preferible que el contenido de S sea lo más pequeño posible. Por lo tanto, el contenido de S se establece en 0.010% o menos, preferiblemente 0.005% o menos.

Cr: 12% o más y menos de 16%

El Cr es un elemento químico que es efectivo para aumentar la resistencia a la corrosión y la resistencia a la oxidación, que son las características del acero inoxidable. No se puede lograr una resistencia a la oxidación suficiente en el caso donde el contenido de Cr sea inferior al 12%. Por otra parte, el Cr es un elemento químico que provoca un aumento de la dureza y una disminución de la ductilidad del acero a temperatura ambiente mediante el fortalecimiento de la solución sólida, en particular, estas influencias negativas se tornan significativas en el caso donde el contenido de Cr sea del 16% o más. Por lo tanto, el contenido de Cr se establece en 12% o más y menos de 16%, preferiblemente 12% o más y 15% o menos.

N: 0.015% o menos

N es un elemento químico que causa una disminución en la ductilidad y la capacidad de formación del acero, y estas influencias negativas son significativas en el caso donde el contenido de N es mayor de 0.015%. Por lo tanto, el contenido de N se establece en 0.015% o menos. Incidentalmente, es preferible que el contenido de N sea lo más pequeño posible desde el punto de vista de lograr ductilidad y capacidad de formación y que el contenido de N sea menos de 0.010%.

Nb: 0.3% o más y 0.65% o menos

Nb es un elemento químico que es efectivo para aumentar la resistencia a la corrosión, la capacidad de formación y la resistencia a la corrosión intergranular en las soldaduras formando carburo, nitruro y carbonitruro en combinación con C y N. Nb es efectivo para aumentar la propiedad de fatiga térmica al aumentar la resistencia a la temperatura. Estos efectos se pueden realizar configurando el contenido de Nb en 0.3% o más. Por otra parte, una fase de Laves (Fe_2Nb) tiende a precipitarse en el caso donde el contenido de Nb sea mayor de 0.65%, lo que resulta en la aceleración de la fragilidad. Por lo tanto, el contenido de Nb se establece en 0.3% o más y 0.65% o menos, preferiblemente 0.4% o más y 0.55% o menos.

Mo: 0.1% o menos

Como Mo es un elemento químico costoso, adicionalmente en vista del propósito de la presente invención, Mo no se añade positivamente. Sin embargo, Mo se puede mezclar a partir del material de acero, tal como la chatarra, en el intervalo de 0.1% o menos. Por lo tanto, el contenido de Mo se establece en 0.1% o menos.

W: 0.1% o menos

Dado que W es un elemento químico costoso como Mo, adicionalmente en vista del propósito de la presente invención, no se añade positivamente W. Sin embargo, W se puede mezclar a partir del material de acero, tal como chatarra en el intervalo de 0.1% o menos. Por lo tanto, el contenido de W se establece en 0.1% o menos.

Cu: 1.0% o más y 2.5% o menos

El Cu es un elemento químico que es muy efectivo para mejorar una propiedad de fatiga térmica. Como indica la Fig. 3, es necesario que el contenido de Cu sea 1.0% o más con el fin de lograr una propiedad de fatiga térmica equivalente o mejor que la de SUS444. Sin embargo, en el caso donde el contenido de Cu sea mayor de 2.5%, se precipita ϵ -Cu cuando se realiza el enfriamiento después de un tratamiento térmico, que resulta en un aumento en la dureza del acero y resulta en la fragilidad que tiende a ocurrir cuando se realiza trabajo en caliente. Más importante aún, mientras que la propiedad de fatiga térmica se mejora al agregar Cu, por el contrario, la resistencia a la oxidación del acero disminuye, lo que resulta en el deterioro de la resistencia al calor general. La razón de esto no

ha sido completamente identificada. Sin embargo, el Cu parece concentrarse en una capa de agotamiento de Cr donde se ha formado una incrustación en ella y evita que el Cr, un elemento que debería mejorar la resistencia a la oxidación intrínseca del acero inoxidable, se difunda nuevamente. Por lo tanto, el contenido de Cu se establece en 1.0% o más y 2.5% o menos, preferiblemente 1.1% o más y 1.8% o menos.

5 Ti: 0.15% o menos

Ti es efectivo para mejorar la resistencia a la corrosión, la capacidad de formación y la resistencia a la corrosión intergranular de una parte soldada al fijar C y N como lo hace Nb. Sin embargo, este efecto se satura y hay un aumento en la dureza del acero en el caso donde el contenido de Ti es mayor de 0.15% en la presente invención en el que está contenido Nb. Por lo tanto, el contenido de Ti se establece en 0.15% o menos. Dado que Ti tiene mayor afinidad por N que Nb, Ti tiende a formar TiN de gran tamaño. Dado que TiN de un tamaño grande tiende a convertirse en el origen de una grieta y causa una disminución en la tenacidad, es preferible que el contenido de Ti sea 0.01% o menos en el caso de que sea necesaria la tenacidad de una lámina de acero laminada en caliente. Incidentalmente, dado que no es necesario agregar positivamente Ti en la presente invención, el límite inferior del contenido de Ti incluye 0%.

15 Al: 0.2% o más y 1.0% o menos

Al es un elemento químico que es esencial para aumentar la resistencia a la oxidación del acero que contiene Cu, como lo indica la Fig. 5. Además, dado que el Al es efectivo como un elemento de fortalecimiento de solución sólida y, en particular, es efectivo para aumentar la resistencia a altas temperaturas a una temperatura superior a 800°C, Al es un elemento químico que es importante para mejorar una propiedad de fatiga a alta temperatura en la presente invención. Es necesario que el contenido de Al sea 0.2% o más con el fin de lograr una resistencia a la oxidación equivalente a o mejor que la de SUS444. Por otra parte, hay una disminución en la capacidad de formación debido a un aumento en la dureza del acero en el caso donde el contenido de Al es mayor del 1.0%. Por lo tanto, el contenido de Al se establece en 0.2% o más y 1.0% o menos, preferiblemente 0.3% o más y 1.0% o menos, más preferiblemente 0.3% o más y 0.5% o menos.

25 Si>Al

Dado que Al es efectivo como elemento de fortalecimiento de solución sólida y, en particular, es efectivo para aumentar la resistencia a altas temperaturas a una temperatura alta superior a 800°C, Al es un elemento químico que es importante para mejorar una propiedad de fatiga a alta temperatura en la presente invención como se describe anteriormente, y Si es un elemento químico que es importante para utilizar efectivamente este efecto de fortalecimiento de solución sólida de Al. En el caso donde la cantidad de Si es menor que la de Al, hay una disminución en las cantidades de la solución sólida de Al, porque Al forma preferentemente óxidos y nitruros a alta temperatura, lo que disminuye la contribución del Al al fortalecimiento. Por otra parte, en el caso donde la cantidad de Si sea mayor que la de Al, se oxida Si preferentemente y forma una capa de óxido continua densa sobre la superficie de una lámina de acero. Dado que este óxido se torna en una barrera para la difusión de oxígeno y nitrógeno, Al se mantiene en el estado de una solución sólida sin oxidarse ni nitrurarse, lo que permite mejorar una propiedad de fatiga a alta temperatura al fortalecer el acero mediante el fortalecimiento de la solución sólida. Por lo tanto, es necesario que se satisfaga la relación $Si \geq Al$ para lograr una propiedad de fatiga a alta temperatura equivalente o mejor que la de SUS444.

40 Uno, dos o más elementos químicos seleccionados entre B, REM, Zr, V, Co y Ni pueden estar contenidos además en el acero inoxidable ferrítico de acuerdo con la presente invención, además de la composición química descrita anteriormente.

B: 0.003% o menos

B es un elemento químico que es efectivo para mejorar la capacidad de formación, en particular, la capacidad de formación secundaria. Sin embargo, en el caso donde el contenido de B es mayor que 0.003%, B causa una disminución en la capacidad de formación al formar BN. Por lo tanto, en el caso de que B esté contenido, el contenido de B se establece en 0.003% o menos. Dado que el efecto descrito anteriormente se realiza en el caso de que el contenido de B sea del 0.0004% o más, es más preferible que el contenido de B sea del 0.0004% o más y del 0.003% o menos.

REM: 0.080% o menos y Zr: 0.50% o menos

50 REM (elementos de tierras raras) y Zr son elementos químicos que son efectivos para mejorar la resistencia a la oxidación y pueden añadirse según sea necesario en la presente invención. Sin embargo, en el caso donde el contenido de REM es mayor de 0.080%, se torna más fácil que ocurra la ruptura por fragilidad del acero y, en el caso de que el contenido de Zr es mayor del 0.50%, también se torna más fácil que ocurra la ruptura por fragilidad del acero debido a la precipitación de un compuesto intermetálico de Zr. Por lo tanto, en el caso donde esté contenido REM, el contenido de REM se establece en 0.080% o menos y, en el caso donde Zr esté contenido, se establece el contenido de Zr en 0.50% o menos. Dado que se realiza el efecto descrito anteriormente en el caso donde el contenido de REM es 0.01% o más y en el caso donde el contenido de Zr es 0.0050% o más, es preferible

que el contenido de REM sea 0.001% o más y 0.080 % o menos y que el contenido de Zr sea 0.0050% o más y 0.50% o menos.

V: 0.50% o menos

5 V es un elemento químico que es efectivo para mejorar la capacidad de formación y la resistencia a la oxidación. Sin embargo, en el caso donde el contenido de V es mayor de 0.50%, se precipita V (C, N) de un tamaño grande, lo que resulta en el deterioro de la calidad de la superficie. Por lo tanto, en el caso donde V esté contenido, el contenido de V se establece en 0.50% o menos. Es preferible que el contenido de V sea 0.15% o más y 0.50% o menos con el fin de darse cuenta del efecto de mejorar la capacidad de formación y la resistencia a la oxidación, más preferiblemente 0.15% o más y 0.4% o menos.

10 Co: 0.5% o menos

15 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 del Co se satura en el caso donde el contenido de Co es mayor de 0.5%. Por lo tanto, en el caso donde se contenga Co, el contenido de Co se establece en 0.5% o menos. Dado que el efecto descrito anteriormente se realiza efectivamente en el caso donde el contenido de Co es 0.02% o más, es preferible que el contenido de Co sea 0.02% o más y 0.5% o menos, más preferiblemente 0.02% o más y 0.2% o menos

Ni: 0.5% o menos

20 El Ni es un elemento químico que mejora la tenacidad. Sin embargo, dado que el Ni es caro y un elemento químico que forma fuertemente una fase γ , el Ni causa una disminución en la resistencia a la oxidación al formar una fase γ a una temperatura alta en el caso donde el contenido de Ni es mayor de 0.5%. Por lo tanto, en el caso donde este contenido Ni, el contenido de Ni se establece en 0.5% o menos. Dado que el efecto descrito anteriormente se realiza efectivamente en el caso donde el contenido de Ni sea 0.05% o más, es preferible que el contenido de Ni sea 0.05% o más y 0.5% o menos, más preferiblemente 0.05% o más y 0.4% o menos

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

Se describirá a continuación el método para fabricar el acero inoxidable ferrítico.

30 Se puede fabricar el acero inoxidable de acuerdo con la presente invención en un método común para fabricar acero inoxidable ferrítico y no hay ninguna limitación particular en las condiciones de fabricación. Los ejemplos de métodos de fabricación ideales incluyen fundición de acero utilizando un horno de fusión bien conocido, tal como un convertidor de acero o un horno eléctrico, además, opcionalmente, haciendo que el acero tenga la composición química de acuerdo con la presente invención descrita anteriormente realizando un refinado secundario tal como refinamiento de cazo o refinado al vacío, luego se hace una plancha de acero utilizando un método de colada continua o un método de laminación de lingotes de fundición en lingotes, y luego se hace una plancha de acero laminada en frío y recocida a través de procesos tales como laminación en caliente, recocido de laminado en caliente, decapado, laminado en frío, recocido final, decapado y así sucesivamente. Incidentalmente, se puede realizar la laminación en frío descrita anteriormente una vez o repetirse dos veces o más con un proceso de recocido intermedio, y se pueden realizar repetidamente los procesos de laminación en frío, recocido de acabado y decapado.

40 Además, opcionalmente, se puede omitir el recocido de laminado en caliente, y se puede realizar el laminado de paso de piel después del laminado en frío o el recocido de acabado en el caso donde se requiera el brillo de una lámina de acero.

Los ejemplos de condiciones de fabricación más preferibles son los siguientes.

45 Es preferible que se especifiquen algunas de las condiciones de un proceso de laminación en caliente y un proceso de laminación en frío. Además, en un proceso de fabricación de acero, es preferible fundir para refinar el acero fundido que tiene la composición química esencial descrita anteriormente y los elementos químicos opcionales que se agregan según sea necesario y para realizar una refinación secundaria mediante el uso de un método VOD (método de Descurbarización con Oxígeno al Vacío). Aunque el acero fundido que se funde para refinarlo se puede convertir en un material de acero utilizando un método bien conocido, es preferible utilizar un método de colado continuo desde el punto de vista de la productividad y calidad del material. Se calienta el material de acero obtenido a través de un proceso de colado continuo hasta una temperatura, por ejemplo, desde 1000°C o más y 1250°C o menos, y luego se convierte en una lámina de acero laminada en caliente que tiene un espesor específico. No hace falta decir que el material de acero puede hacerse en un material de una forma diferente a una lámina. Esta lámina de acero laminada en caliente se somete, según sea necesario, al recocido por lotes a una temperatura de 600°C o superior y a 800°C o inferior o al recocido continuo a una temperatura de 900°C o superior y a 1100°C o inferior, y luego es convertida en un producto de lámina laminada en caliente después de ser desincrustada al realizar

decapado o similares. Además, según sea necesario, la desincrustación se puede realizar utilizando un método de granallado antes de realizar el decapado.

Además, con el fin de obtener una lámina de acero laminada en frío, la lámina de acero laminada en caliente y recocida obtenida como se describe anteriormente se convierte en una lámina de acero laminada en frío a través de un proceso de laminación en frío. En este proceso de laminado en frío, de acuerdo con las circunstancias de la fabricación, se puede realizar el laminado en frío dos veces o más con un proceso de recocido intermedio según sea necesario. La proporción de laminación total del proceso de laminación en frío, en la que se realiza la laminación en frío una o dos veces más, se establece en 60% o más, preferiblemente en 70% o más. La lámina de acero laminada en frío se somete a recocido continuo (recocido de acabado) a una temperatura de 900°C o superior y de 1150°C o inferior, preferiblemente 950°C o superior y 1120°C o inferior, y decapado, y luego se convierte en una lámina de acero laminada en frío y recocida. Además, de acuerdo con la aplicación de uso, la forma de y la calidad de material de la lámina de acero pueden ajustarse realizando laminado con una proporción de reducción de luz, tal como el laminado de paso de piel después de realizar el recocido de laminado en frío.

Se forma el producto de lámina laminado en caliente o el producto de lámina laminado en frío y recocido obtenido como se describe anteriormente hasta dar el tubo de escape de un automóvil o una bicicleta de motor, un material que se utilizará para un cilindro exterior de catalizador, el conducto de aire de escape de una planta de energía eléctrica térmica, o una parte relacionada con una celda de combustible (tal como un separador, un interconector o un reformador) realizando trabajos de doblado u otros tipos de trabajo de acuerdo con la aplicación de uso. No hay limitación en cuanto a los métodos de soldadura para ensamblar estas piezas, y se pueden aplicar los métodos comunes de soldadura por arco, tal como MIG (Gas Inerte de Metal), MAG (Gas Activo de Metal) y TIG (Gas Inerte de Tungsteno), métodos de soldadura por resistencia tal como la soldadura por puntos y soldadura por costura, métodos de soldadura por resistencia de alta frecuencia, tal como soldadura por resistencia eléctrica y métodos de soldadura por inducción de alta frecuencia.

[Ejemplos]

[Ejemplo 1]

Se fundió cada uno de los aceros No. 1 a 23 que tienen composiciones químicas dadas en la Tabla 1 usando un horno de fusión al vacío y se convirtió en un lingote de acero de 50 kg, luego el lingote de acero se sometió a forjado, y luego el lingote forjado se dividió en dos piezas. Después de eso, uno de los lingotes divididos se calentó hasta una temperatura de 1170°C, luego se sometió a laminado en caliente y se convirtió en una lámina de acero laminada en caliente con un espesor de 5 mm, luego se sometió a recocido de laminado en caliente, decapado, laminado en frío con una proporción de laminación del 60%, acabado del recocido a una temperatura de 1040°C, enfriamiento a una tasa de enfriamiento de 5°C/seg, decapado y luego transformado en una lámina de acero laminada en frío y recocida con un espesor de 2 mm. Cada uno de los aceros No. 1 a 11 es un ejemplo en el intervalo de acuerdo con la presente invención, y cada uno de los aceros No. 12 a 23 es un ejemplo comparativo fuera del intervalo de acuerdo con la presente invención. Incidentalmente, entre los ejemplos comparativos, el acero No. 19 tiene una composición química correspondiente al Tipo429, el No. 20 tiene una composición química correspondiente al SUS444 y el No. 21, No. 22 y No. 23 respectivamente tienen composiciones químicas correspondientes al ejemplo 3 de la Literatura de Patentes 2, ejemplo 3 de la Literatura de Patentes 3 y ejemplo 5 de la Literatura de Patentes 4.

Se usaron las láminas de acero laminadas en frío No. 1 a 23 en los dos tipos de pruebas de oxidación continua, una prueba de fatiga a alta temperatura y una prueba de tracción a temperatura ambiente como se describe a continuación.

<Ensayo de oxidación continua en aire>

Se cortó una muestra de 30 mm x 20 mm de cada una de las láminas de acero laminadas en frío y recocidas obtenidas como se describe anteriormente, luego se perforó un agujero de 4 mmφ en la parte superior de la muestra, luego se pulió la superficie y la cara del borde de la muestra con un papel de lija # 320, luego se desengrasó y luego se suspendió la muestra en un horno calentado hasta una temperatura de 950°C en el aire durante un tiempo de mantenimiento de 200 horas. Después de la prueba, se observó la masa de la muestra y luego se calculó un aumento en el peso debido a la oxidación (g/m²) derivando la diferencia entre la masa observada antes y después de la prueba. Incidentalmente, se repitió la prueba dos veces y se evaluó la resistencia a la oxidación en el aire utilizando el valor promedio de la diferencia de masa.

<Ensayo de oxidación continua en atmósfera de vapor de agua>

Se cortó una muestra de 30 mm x 20 mm de cada una de las láminas de acero laminadas en frío y recocidas obtenidas como se describió anteriormente. Luego se perforó un orificio de 4 mmφ en la parte superior de la muestra, luego se pulió la superficie y la cara del borde de la muestra con un papel de lija # 320 y luego se desengrasó. Posteriormente, la muestra se mantuvo en un horno calentado a una temperatura de 950°C en una atmósfera de vapor de agua en la que se hizo pasar un gas N₂ de 10% en volumen de CO₂-20% en volumen de H₂O-5% en volumen de O₂-bal a una tasa de 0.5 L/min durante un tiempo de mantenimiento de 200 horas, luego, después de

la prueba, se observó la masa de la muestra y luego se calculó un aumento en el peso debido a la oxidación (g/m²) derivando la diferencia entre la masa observada antes y después de la prueba.

<Prueba de fatiga a alta temperatura>

- 5 Se cortó un espécimen de prueba ilustrado en la Fig. 3 de la lámina de acero laminada en frío y recocida obtenida como se describe anteriormente y se sometió a una vibración inversa de 1300 rpm (22 Hz) a una temperatura de 850°C utilizando una máquina de ensayo de fatiga tipo Schenck. Incidentalmente, se ejerció una tensión de flexión de 70 MPa sobre la superficie de la lámina de acero durante la prueba, y la evaluación se realizó en términos de varios ciclos (ciclo) hasta que se produjo la fractura.

<Ensayo de tracción a temperatura ambiente>

- 10 Una pieza de prueba de tracción conforme al documento JIS No. 13B que tenía las direcciones de tensión respectivamente en la dirección de rodadura (dirección L), en la dirección en ángulo recto con la dirección de laminado (dirección C) y en la dirección a ángulos de 45° a la dirección de laminación (dirección D) se cortaron de la lámina de acero laminada en frío y recocida descrita anteriormente. Luego, las pruebas de tracción en estas direcciones se realizaron a temperatura ambiente, luego se observaron rupturas por elongaciones y luego se obtuvo una elongación promedio mediante el uso de la siguiente ecuación.
- 15

$$\text{Elongación El media (\%)} = (E_L + 2E_D + E_C) / 4,$$

donde E_L: El (%) en la dirección L, E_D: El (%) en la dirección D y E_C: El (%) en la dirección C.

[Ejemplo 2]

- 20 El resto de las piezas que se obtuvieron al dividir el lingote de 50 kg en dos piezas en el Ejemplo 1 se calentó a una temperatura de 1170°C, y luego se laminó en caliente en una barra de lámina que tenía un espesor de 30 mm y una anchura de 150 mm. Posteriormente, esta barra de lámina se sometió a forjado y se convirtió en una barra de 35 mm x 35 mm, se realizó un recocido a una temperatura de 1040°C, luego se mecanizó en un espécimen de prueba de fatiga térmica que tenía las dimensiones ilustradas en la Fig. 1 y luego se usó en una prueba de fatiga térmica como se describe a continuación.

- 25 <Prueba de fatiga térmica>

- En una prueba de fatiga térmica, se observó una vida de fatiga térmica calentando y enfriando repetidamente el espécimen de prueba entre las temperaturas de 100°C y 850°C a una proporción de restricción de 0.30. Aquí, la rata de calentamiento y la rata de enfriamiento fueron de 10°C/seg, el tiempo de mantenimiento a una temperatura de 100°C fue de 2 minutos y el tiempo de mantenimiento a una temperatura de 850°C fue de 5 minutos. La vida de fatiga térmica se representa como el número de ciclos en los cuales la tensión comenzó a disminuir continuamente respecto al ciclo anterior. La tensión se derivó por calculó como el cociente de la carga detectada a 100°C dividido por el área de corte transversal de la porción paralela empapada de un espécimen de prueba indicado en la Fig. 1.
- 30

- Se resumen los resultados de la prueba de oxidación continua en aire, la prueba de oxidación continua en atmósfera de vapor de agua, la prueba de fatiga a alta temperatura y la prueba de tensión a temperatura ambiente en el Ejemplo 1 y los de la prueba de fatiga térmica en el Ejemplo 2 en la Tabla 2. Como indica la Tabla 2, está claro que cualquiera de los aceros del ejemplo de la presente invención que está dentro del intervalo de la presente invención tiene resistencia al calor (resistencia a la oxidación, propiedad de fatiga térmica y propiedad de fatiga a alta temperatura) equivalente o mejor que la de SUS444 y excelente capacidad de formación en términos de un alargamiento promedio en las tres direcciones (dirección L, C y D) a temperatura ambiente de 36% o más, lo que significa que se ha confirmado que el acero cumple el objeto de la presente invención. En contraste, el acero del ejemplo comparativo que está fuera del intervalo de acuerdo con la presente invención es pobre ya sea en resistencia a la oxidación, resistencia a la fatiga térmica, una propiedad de fatiga a alta temperatura o capacidad de formación, lo que significa que se ha confirmado que el acero no satisface el objeto de la presente invención.
- 35
- 40

[Capacidad de aplicación industrial]

- 45 El acero de acuerdo con la presente invención puede usarse idealmente no solo para las partes de un sistema de escape de un automóvil, sino también para las partes de un sistema de escape de un sistema de energía eléctrica térmica y las partes de una celda de combustible de óxido sólido, para las cuales se requieren propiedades similares a aquellas de las partes de un sistema de escape de un automóvil.

[Tabla 1]

Muestra No.	% en masa															
	C	Si	Mn	Al	P	S	Cr	Cu	Nb	Ti	Mo	W	N	Otros	Si - Al	Nota
1	0.008	0.84	0.25	0.51	0.031	0.002	12.8	1.32	0.48	0.008	0.02	0.02	0.008		0.33	Ejemplo
2	0.007	0.76	0.28	0.40	0.029	0.003	14.5	1.45	0.46	0.007	0.03	0.01	0.009		0.36	Ejemplo
3	0.008	0.91	0.31	0.67	0.030	0.003	15.1	1.48	0.49	0.009	0.02	0.02	0.007		0.24	Ejemplo
4	0.009	0.69	0.29	0.38	0.028	0.003	13.4	1.23	0.47	0.007	0.02	0.03	0.008		0.31	Ejemplo
5	0.006	0.54	0.54	0.31	0.027	0.004	15.2	1.37	0.44	0.006	0.01	0.02	0.008		0.23	Ejemplo
6	0.007	0.89	0.48	0.43	0.028	0.003	14.3	1.54	0.49	0.008	0.01	0.03	0.007		0.46	Ejemplo
7	0.009	0.76	0.24	0.37	0.029	0.003	14.9	1.19	0.46	0.009	0.03	0.02	0.006		0.39	Ejemplo
8	0.007	0.80	0.73	0.45	0.025	0.003	13.7	1.67	0.45	0.007	0.02	0.01	0.007	V: 0.21	0.35	Ejemplo
9	0.007	0.73	0.81	0.4	0.026	0.004	15.5	1.59	0.45	0.008	0.02	0.01	0.007	B: 0.0015	0.33	Ejemplo
10	0.008	0.68	0.89	0.32	0.026	0.002	12.9	1.24	0.43	0.008	0.01	0.02	0.008	Co: 0.09	0.36	Ejemplo
11	0.007	0.94	0.39	0.52	0.028	0.002	13.5	1.55	0.45	0.007	0.01	0.02	0.007	Ni: 0.34	0.42	Ejemplo
12	0.006	<u>1.34</u>	0.5	0.37	0.024	0.003	14.0	1.15	0.48	0.006	0.01	0.03	0.006		0.97	Ejemplo Comparativo
13	0.007	0.69	0.44	<u>1.49</u>	0.025	0.002	12.7	1.46	0.47	0.009	0.02	0.02	0.007		<u>0.8</u>	Ejemplo Comparativo
14	0.008	0.92	0.78	<u>0.13</u>	0.027	0.003	15.6	1.29	0.48	0.007	0.02	0.02	0.008		0.79	Ejemplo Comparativo
15	0.009	0.47	0.63	0.68	0.029	0.002	14.4	1.51	0.46	0.008	0.03	0.02	0.006		<u>0.21</u>	Ejemplo Comparativo
16	0.008	0.81	0.35	0.54	0.026	0.003	13.9	<u>0.53</u>	0.44	0.007	0.02	0.01	0.008		0.27	Ejemplo Comparativo
17	0.008	0.52	0.21	0.39	0.030	0.004	<u>17.1</u>	1.46	0.48	0.003	0.02	0.02	0.008	V: 0.06	0.13	Ejemplo Comparativo

(continuación)

% en masa																
Muestra No.	C	Si	Mn	Al	P	S	Cr	Cu	Nb	Ti	Mo	W	N	Otros	Si - Al	Nota
18	0.007	0.76	0.84	0.43	0.027	0.003	<u>9.7</u>	1.64	0.43	0.008	0.01	0.03	0.007		0.33	Ejemplo Comparativo
19	0.007	0.87	0.33	0.03	0.029	0.002	14.8	0.02	0.44	0.030	0.01	0.01	0.008		0.84	Ejemplo Comparativo*1
20	0.008	0.31	0.42	0.02	0.031	0.003	18.7	0.02	0.52	0.003	1.87	0.02	0.008		0.291	Ejemplo Comparativo*2
21	0.008	0.32	0.05	0.01	0.028	0.002	17.0	1.93	0.33	0.002	0.01	0.02	0.01	Ni: 0.10, V: 0.10	0.31	Ejemplo Comparativo*3
22	0.009	0.46	0.54	0.00	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	0.458	Ejemplo Comparativo*4
23	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	0.168	Ejemplo Comparativo*5

El subrayado indica el valor fuera del rango de acuerdo con la presente invención.

*1: Tipo429 *2: SUS444 *3: Ejemplo 3 de Literatura de Patentes 2

*4: Ejemplo 3 de Literatura de Patentes 3 *5: Ejemplo 5 de Literatura de Patentes 4

ES 2 720 733 T3

Tabla 2

Muestra No.	Ganancia de peso por oxidación (g / m ²)	Vida de fatiga térmica (ciclo)	Ganancia de peso por oxidación de vapor de agua (g/m ²)	Elongación media en tres direcciones (%)	Vida de fatiga de alta temperatura en 850°C (x10 ⁻⁵ ciclos)	Nota
1	18	1330	34	36	30	Ejemplo
2	17	1340	34	36	33	Ejemplo
3	16	1350	33	36	26	Ejemplo
4	17	1370	34	37	29	Ejemplo
5	16	1340	35	37	27	Ejemplo
6	16	1310	33	36	32	Ejemplo
7	16	1370	34	37	31	Ejemplo
8	17	1360	34	36	36	Ejemplo
9	16	1340	34	36	27	Ejemplo
10	18	1300	34	37	29	Ejemplo
11	17	1410	33	36	33	Ejemplo
12	17	1280	39	32	30	Ejemplo Comparativo
13	18	1380	<u>71</u>	<u>31</u>	9	Ejemplo Comparativo
14	<u>55</u>	1400	<u>40</u>	37	<u>15</u>	Ejemplo Comparativo
15	17	1290	<u>77</u>	36	<u>11</u>	Ejemplo Comparativo
16	15	<u>910</u>	32	38	26	Ejemplo Comparativo
17	13	1440	29	<u>34</u>	31	Ejemplo Comparativo
18	<u>52</u>	1300	<u>≥100</u>	38	<u>14</u>	Ejemplo Comparativo
19	<u>45</u>	<u>630</u>	<u>>100</u>	<u>34</u>	<u>8</u>	Ejemplo Comparativo*1
20	19	1250	37	31	24	Ejemplo Comparativo*2
21	>100	1650	<u>≥100</u>	<u>31</u>	<u>15</u>	Ejemplo Comparativo*3
22	>100	1380	<u>≥100</u>	<u>35</u>	<u>10</u>	Ejemplo Comparativo*4
23	>100	1540	<u>≥100</u>	<u>34</u>	<u>12</u>	Ejemplo Comparativo*5

El subrayado indica el valor fuera del intervalo de acuerdo con la presente invención

*1: Tipo429 *2: SUS444 *3: Ejemplo 3 de Literatura de Patentes 2

*4: Ejemplo 3 de Literatura de Patentes 3 *5: Ejemplo 5 de Literatura de Patentes 4

REIVINDICACIONES

- 5 1. Acero inoxidable ferrítico que tiene una composición química que consiste en, % en masa, C: 0.015% o menos, Si: 0.4% o más y 1.0% o menos, Mn: 1.0% o menos, P: 0.040% o menos, S: 0.010% o menos, Cr: 12% o más y menos de 16%, N: 0.015% o menos, Nb: 0.3% o más y 0.65% o menos, Ti: 0.15% o menos, Mo: 0.1% o menos, W: 0.1% o menos, Cu: 1.0% o más y 2.5 % o menos y Al: 0.2% o más y 1.0% o menos, mientras se satisface la relación $Si \geq Al$, y opcionalmente B: 0.003% o menos, REM: 0.080% o menos, Zr: 0.50% o menos, V: 0.50% o menos, Co: 0.5% o menos, Ni: 0.5% o menos, O: 0.010% o menos, Sn: 0.005% o menos, Mg: 0.005% o menos y Ca: 0.005% o menos, y el balance que es Fe e impurezas inevitables.

FIG. 1

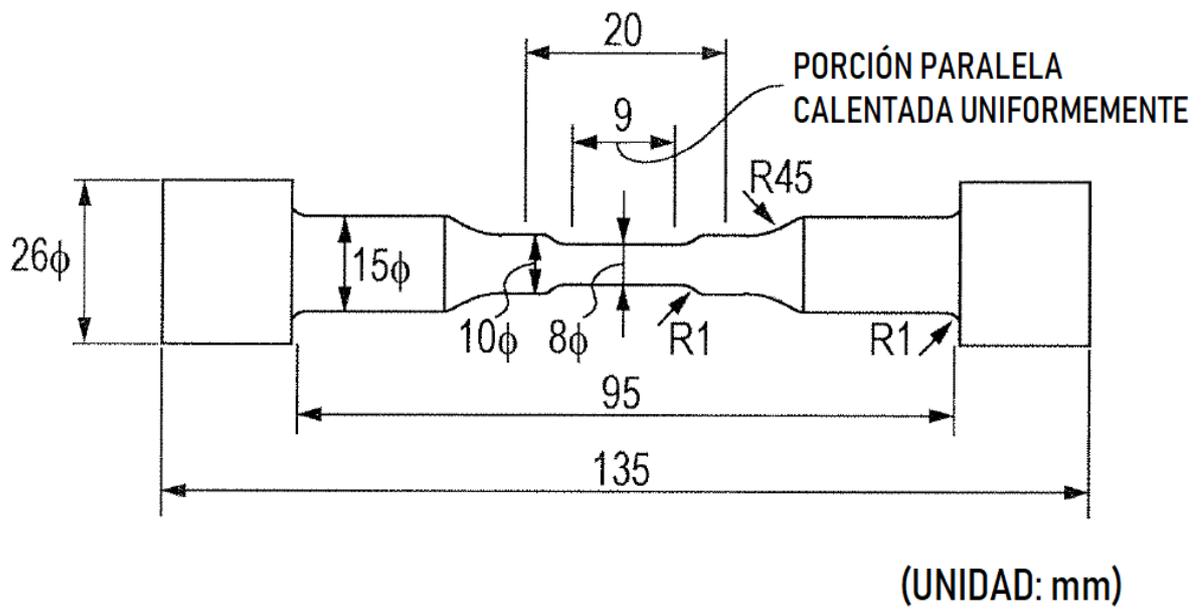


FIG. 2

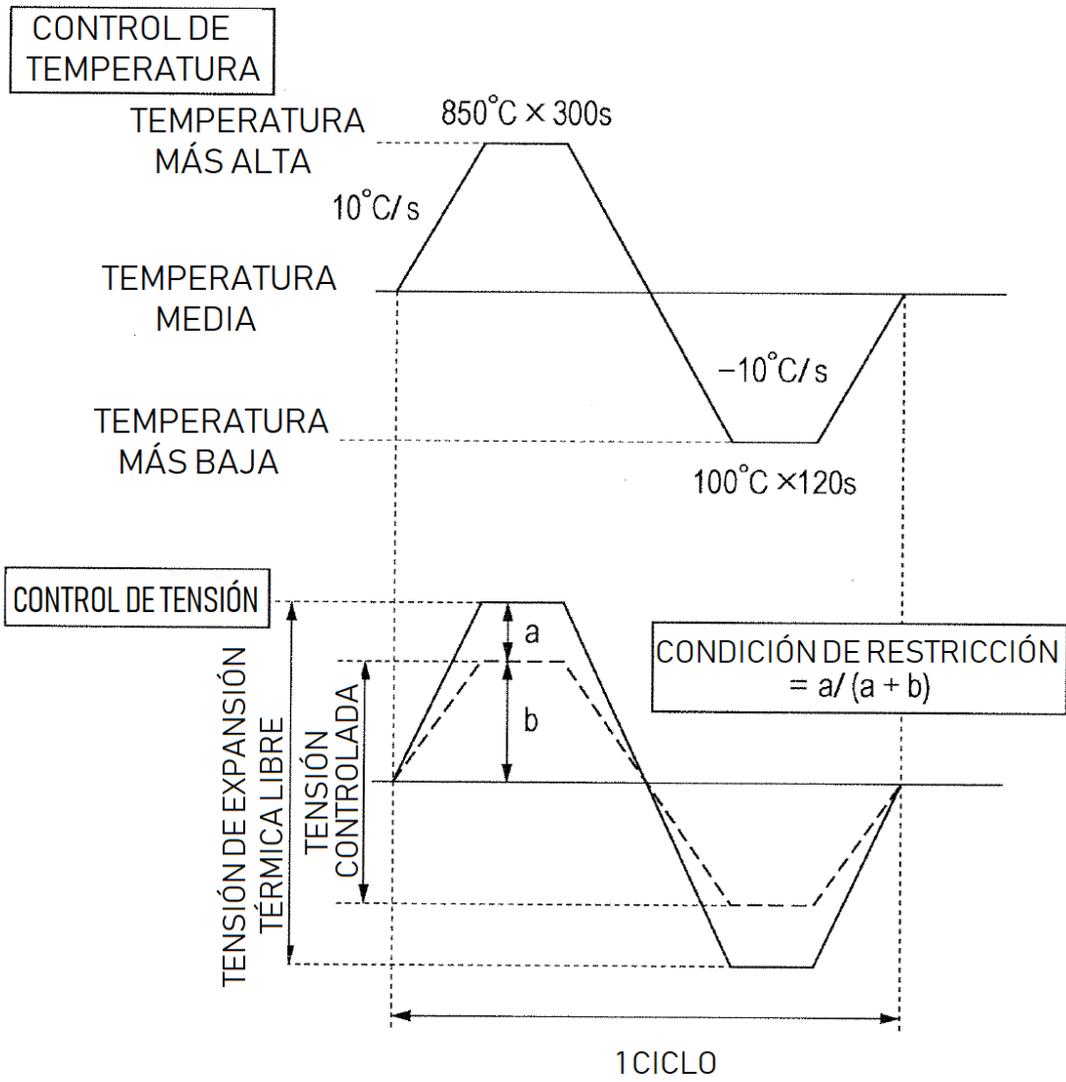


FIG. 3

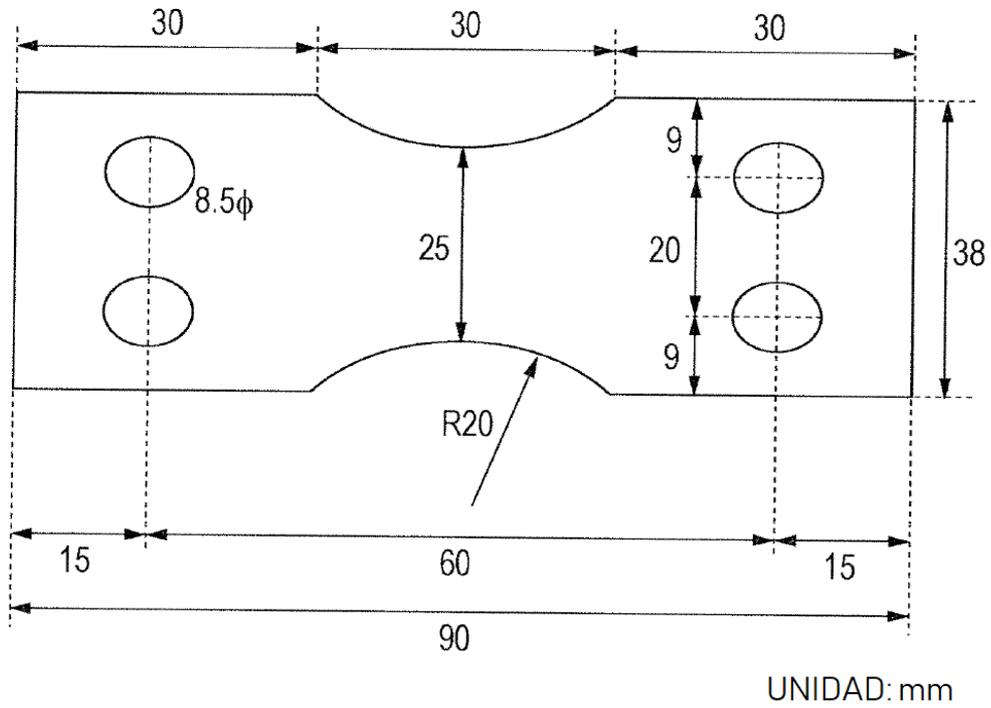


FIG. 4

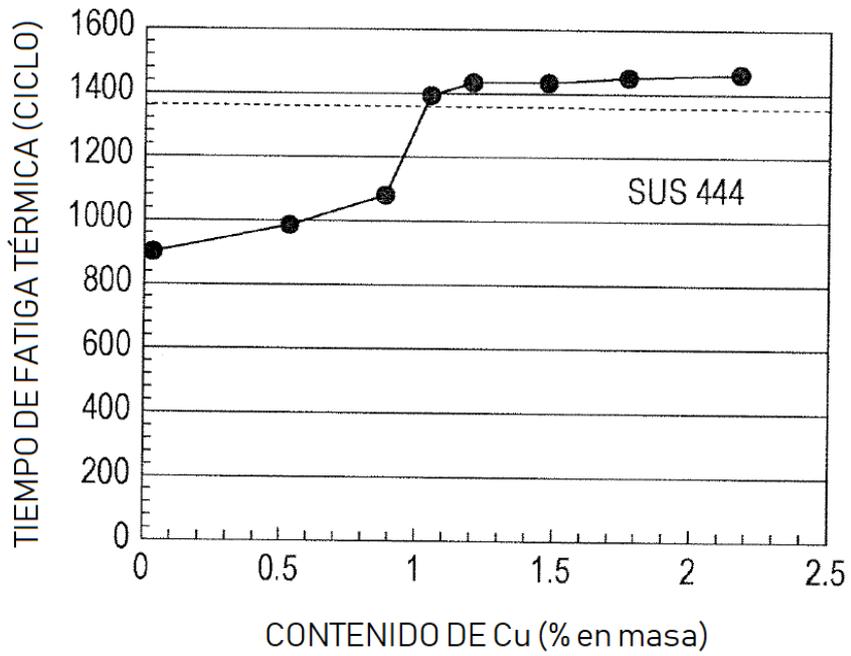


FIG. 5

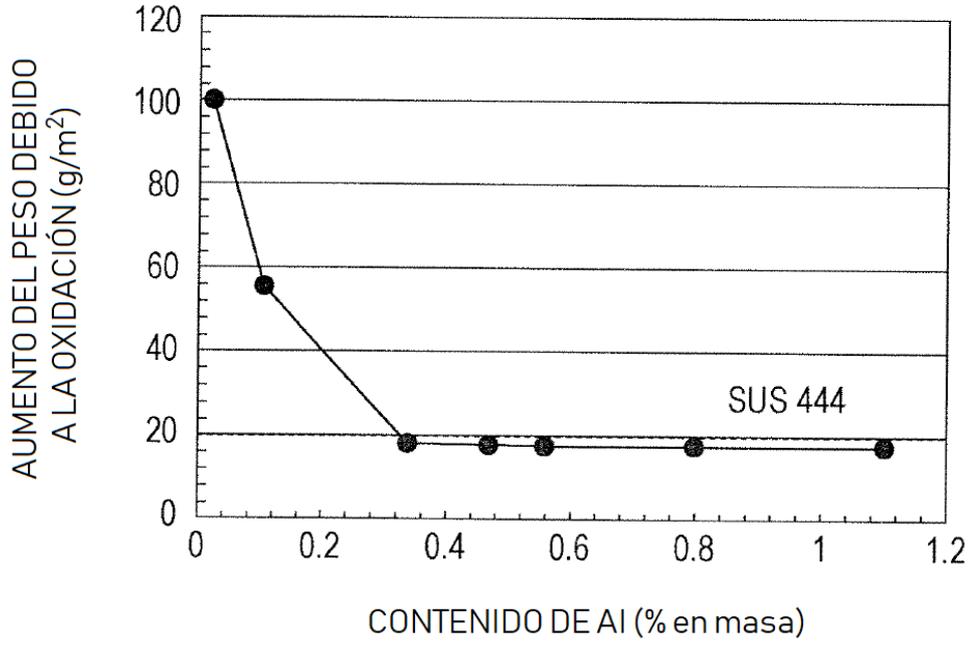


FIG. 6

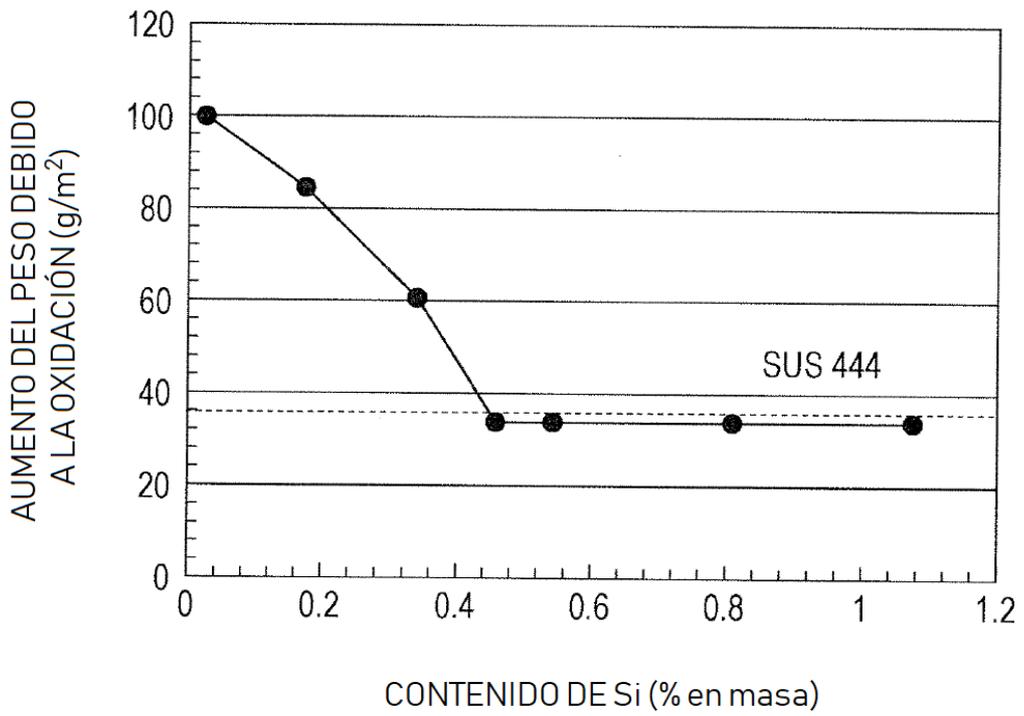


FIG. 7

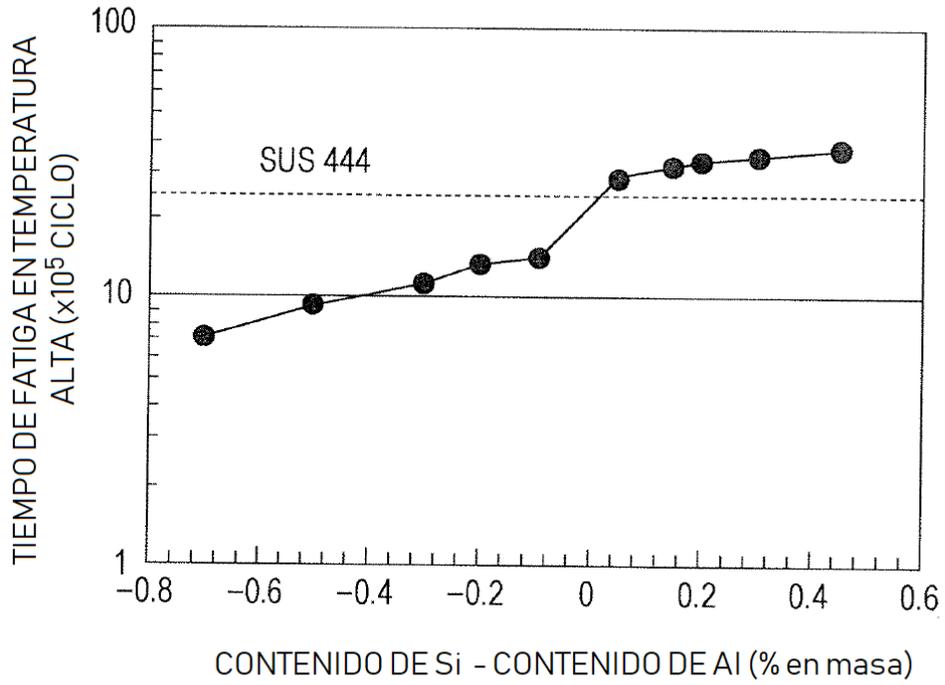


FIG. 8

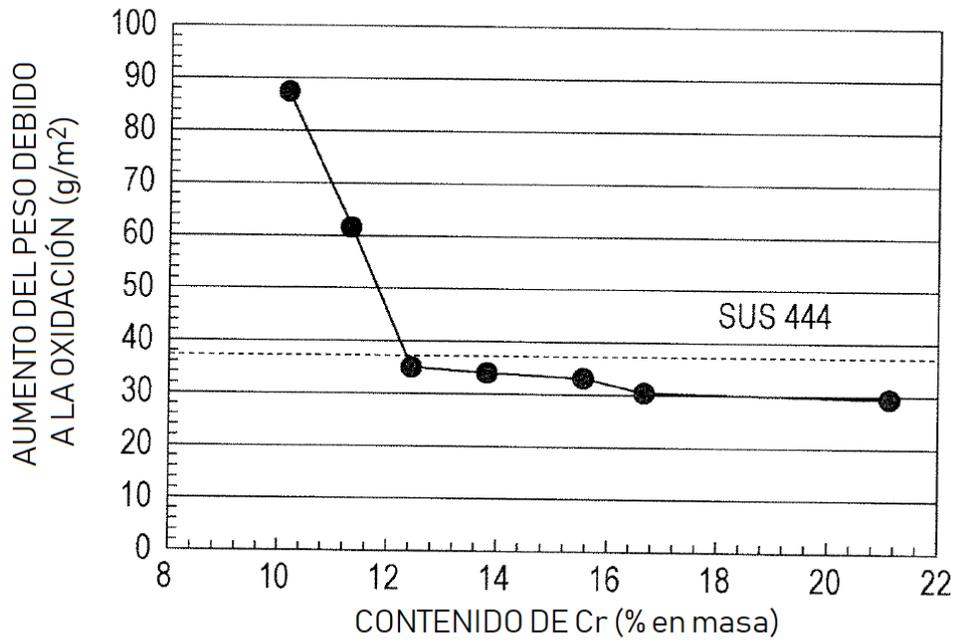


FIG. 9

