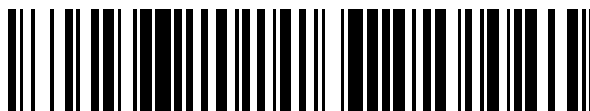


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 519 765**

51 Int. Cl.:

C21D 8/04 (2006.01)
C22C 38/00 (2006.01)
C22C 38/02 (2006.01)
C22C 38/04 (2006.01)
C22C 38/06 (2006.01)
C22C 38/20 (2006.01)
C22C 38/22 (2006.01)
C22C 38/26 (2006.01)
C22C 38/28 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.07.2010 E 10811619 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.10.2014 EP 2474635**

54 Título: **Acero inoxidable ferrítico que presenta excelente resistencia térmica**

30 Prioridad:

31.08.2009 JP 2009199415
03.12.2009 WO PCT/JP2009/070632
09.12.2009 JP 2009279234
30.06.2010 JP 2010148604

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
07.11.2014

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

NAKAMURA, TETSUYUKI;
OTA, HIROKI;
KATO, YASUSHI y
UJIRO, TAKUMI

74 Agente/Representante:

MILTENYI, Peter

ES 2 519 765 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 que presenta excelente resistencia térmica

5 **Campo técnico**

La presente invención se refiere a aceros que contienen Cr, en particular a aceros inoxidables ferríticos, que presentan altos niveles de propiedad de fatiga térmica (o resistencia a la fatiga térmica), resistencia a la oxidación, y una propiedad de fatiga a alta temperatura (o resistencia a la fatiga a alta temperatura) y pueden utilizarse adecuadamente en elementos de sistemas de escape de alta temperatura, tales como tubos de escape y carcasas de convertidores para automóviles y motocicletas y conductos de aire de escape de centrales termoeléctricas.

Antecedentes

Los elementos del sistema de escape de un automóvil, incluyendo un colector de escape, un tubo de escape, una carcasa de convertidores, y un silencioso, requieren tener altos niveles de resistencia a la oxidación, la propiedad de fatiga térmica, y la propiedad de fatiga a altas temperaturas (en adelante denominado colectivamente "resistencia térmica"). En el inicio y la parada del funcionamiento del motor, los elementos del sistema de escape se calientan y se enfrían repetidamente. Estos elementos están restringidos por los elementos circundantes y, por lo tanto, su expansión y contracción térmica están restringidas. En consecuencia, el material en sí experimenta una tensión térmica, y esta tensión térmica provoca fenómenos de fatiga térmica. La fatiga térmica que se menciona aquí representa este tipo de fenómeno de fatiga. Mientras un motor está en funcionamiento, los elementos del sistema de escape se calientan y están sometidos a vibraciones. Estas vibraciones producen una acumulación de tensiones lo que también da lugar a fenómenos de fatiga. La fatiga a alta temperatura mencionada anteriormente representa este tipo de fenómeno de fatiga. El primero es la fatiga de ciclo bajo, mientras que el segundo es la fatiga de ciclo alto; éstos son tipos de fenómenos de fatiga completamente diferentes.

Como materiales para tales elementos que requieren una resistencia térmica como se ha indicado anteriormente, se actualmente utilizan ampliamente aceros que contienen Cr tales como el Tipo 429 que contiene Nb y Si (sistema 14Cr-0,9Si-0,4Nb). Sin embargo, el mejor rendimiento de los motores ha incrementado la temperatura de los gases de escape a un nivel superior a 900 °C, por lo que es imposible lograr totalmente los requisitos de rendimiento, en particular, la propiedad de fatiga térmica, con el Tipo 429.

Se han desarrollado algunos materiales para hacer frente a este problema, incluyendo aceros que contienen Cr los cuales contienen Nb y Si para una mejor tensión a prueba de altas temperaturas, el SUS444 (19Cr-0,5Nb-2Mo) especificado en JIS G4305, y aceros inoxidables ferríticos que contienen Nb, Mo, y W (por ejemplo, véase el documento de patente 1). Sin embargo, el reciente aumento terriblemente brusco y la fluctuación de los precios de Mo, W, y otros metales raros ha hecho necesario el desarrollo de materiales que puedan ser elaborados a partir de materias primas baratas y tengan una resistencia térmica comparable a la de los materiales mencionados anteriormente.

Un ejemplo de materiales altamente resistentes al calor y que no contienen elementos costosos tales como Mo y W es el que se describe en el documento de patente 2, un acero inoxidable ferrítico para conductos de flujos de gas de escape de automóviles, que se basa en un acero que contiene Cr en un 10 a 20% en masa y que contiene además Nb en un 0,50% en masa o menos, Cu en un 0,8 a 2,0% en masa, y V en un 0,03 a 0,20% en masa. Otro ejemplo es el que se describe en el documento de patente 3, un acero inoxidable ferrítico con una excelente propiedad de fatiga térmica, que se basa en un acero que contiene Cr en un 10 a 20% en masa y contiene además Ti en un 0,05 a 0,30% en masa, Nb en un 0,10-0,60 % en masa, Cu en un 0,8 a 2,0% en masa, y B en un 0,0005 a 0,02% en masa. Todavía, otro ejemplo es el que se describe en el documento de patente 4, un acero inoxidable ferrítico para componentes de un sistema de escape de un automóvil, que se basa en un acero que contiene Cr en un 15 a 25% en masa y contiene además Cu en un 1 a 3% en masa. Estos aceros contienen todos Cu para mejorar la propiedad de fatiga térmica.

Desafortunadamente, la adición de Cu como en los documentos de patente 2, 3, y 4 mejora ciertamente la propiedad de fatiga térmica pero, por otra parte, reduce significativamente la resistencia a la oxidación, terminando con una reducción de la resistencia térmica global. Peor aún, los aceros que contienen Cu pueden carecer en cierta medida de la propiedad de fatiga térmica durante su uso en determinadas condiciones de temperatura.

Algunas otras publicaciones de patente han descrito aceros inoxidables ferríticos que contienen Al para obtener mejores características. Un ejemplo es el que se describe en el documento de patente 5, un acero inoxidable ferrítico para sistemas de escape de automóviles, que se basa en un acero que contiene Cr en un 13 a 25% en masa y contiene, además, Ni en un 0,5% en masa o menos, V en un 0,5% en masa o menos, Nb entre > 0,5 y un 1,0% en masa, Ti entre 3 x (C + N) y un 0,25% en masa, y Al entre un 0,2 y un 2,5% en masa; la adición de Al

contribuye a una mayor resistencia a altas temperaturas. Otro ejemplo es el que se describe en el documento de patente 6, un acero inoxidable ferrítico resistente al calor como soporte de catalizador, que se basa en un acero que contiene Cr entre un 10 y un 25% en masa y, además, contiene Al entre un 1 y un 2,5% en masa y Ti entre $3 \times (C + N)$ y $20 \times (C + N)$; el Al añadido forma una capa de Al_2O_3 que proporciona una excelente resistencia a la oxidación. Todavía otro ejemplo es el que se describe en el documento de patente 7, un acero inoxidable ferrítico resistente al calor para hidroformación, que se basa en un acero que contiene Cr entre un 6 y un 20% en masa y contiene, además, Ni en un 2% en masa o menos, O en un 0,008% en masa o menos, y uno cualquiera o dos o más de Ti, Nb, V y Al en un 1% en masa o menos en total; el Ti, Nb, V, y/o Al añadidos fija C y N y forma un carbonitruro para reducir el inconveniente de C y N, haciendo que el acero sea más conformable.

Desafortunadamente, el Al, cuando se añade a un acero con un bajo contenido en Si como en el documento de patente 5, forma preferiblemente un óxido o un nitruro y se disuelve en sólido en una cantidad reducida, haciendo que el acero carezca ligeramente de resistencia a alta temperatura. Además, si el Al está presente en el acero en un alto contenido superior a un 1,0%, como en el documento de patente 6, se reduce significativamente la trabajabilidad a temperatura ambiente y también provoca una reducción de la resistencia a la oxidación en lugar de mejorarla debido a una alta afinidad de unión al oxígeno. El acero descrito en el documento de patente 7, que no contiene ni Cu ni Al o los contiene solamente en un bajo contenido, carece en cierto modo de resistencia térmica.

El documento de patente 8 describe un acero inoxidable ferrítico excelente en términos tanto de resistencia a la oxidación como de resistencia a la fatiga térmica sin añadir elementos costosos tales como Mo o W. Además, los aceros inoxidables ferríticos resistentes al calor son conocidos del documento de patente 9 y el documento de patente 10.

Documentos de patente

[Documento de Patente 1] Publicación de la solicitud de patente japonesa no examinada nº 2004-018921
 [Documento de Patente 2] Publicación Internacional nº WO 2003/004714
 [Documento de Patente 3] Publicación de la solicitud de patente japonesa no examinada nº 2006-117985
 [Documento de Patente 4] Publicación de la solicitud de patente japonesa no examinada nº 2000-297355
 [Documento de Patente 5] Publicación de la solicitud de patente japonesa no examinada nº 2008-285693
 [Documento de Patente 6] Publicación de la solicitud de patente japonesa no examinada nº 2001-316773
 [Documento de Patente 7] Publicación de la solicitud de patente japonesa no examinada nº 2005-187857
 [Documento de Patente 8] Solicitud de patente europea nº EP 2 166 120 A1
 [Documento de Patente 9] JP 2009 235555 A
 [Documento de Patente 10] Patente americana US 4 331 474 A

Descripción de la invención

Problema técnico

Sin embargo, la investigación de los presentes inventores ha revelado que, al igual que con los aceros descritos en los documentos de patente 2 a 4 que se han mencionado anteriormente, la adición de Cu para mejorar la resistencia térmica mejora ciertamente la propiedad de fatiga térmica pero, por otra parte, reduce significativamente la resistencia a la oxidación del propio acero en lugar de mejorarla y con frecuencia termina con una resistencia térmica global reducida. Además, su investigación ha revelado también que los aceros que contienen Cu pueden carecer en cierta medida de la propiedad de fatiga térmica durante su uso bajo ciertas condiciones de temperatura, por ejemplo, en condiciones en las que la temperatura máxima es inferior a la temperatura de disolución del sólido de ϵ -Cu.

Aunque los documentos de patente 5 y 6 indican que la adición de Al da lugar a una elevada resistencia térmica y a una excelente resistencia a la oxidación, la investigación de los presentes inventores ha revelado que la simple adición de Al termina con un efecto insuficiente y que el equilibrio entre la cantidad de Al y la de Si es importante. Los aceros que no contienen Cu ni tampoco Al o que contienen solamente un bajo contenido como en el documento de patente 7 carecen en cierta medida de resistencia térmica.

La resistencia a la oxidación del acero se evalúa normalmente mediante una prueba de oxidación en una atmósfera seca y de alta temperatura. Sin embargo, un colector de escape y otros elementos del sistema de escape están expuestos a una atmósfera oxidante en su uso práctico, y esta atmósfera contiene una gran cantidad de vapor. Por lo tanto, las pruebas de oxidación existentes no pueden evaluar adecuadamente la resistencia a la oxidación del acero en la práctica. Tal como se desprende de este hecho, la resistencia a la oxidación del acero debe evaluarse y mejorarse considerando la que se da en una atmósfera de vapor de agua (en adelante denominado también "resistencia a la oxidación del vapor de agua").

Por lo tanto, un objetivo de la presente invención es desarrollar una técnica para producir acero sin añadir elementos costosos tales como Mo y W, mientras se evita la pérdida de resistencia a la oxidación tras la adición de Cu y se

mejoran las características a temperaturas severas para el acero (temperaturas inferiores a la temperatura de disolución del sólido ϵ -Cu) y, de este modo, se dispone de aceros inoxidables ferríticos que presentan excelentes niveles de resistencia a la oxidación (incluyendo resistencia a la oxidación de vapor de agua), propiedad de fatiga térmica, y propiedad de fatiga a alta temperatura. Hay que tener en cuenta que la expresión "que presentan excelentes niveles de resistencia a la oxidación, propiedad de fatiga térmica, y propiedad de fatiga a alta temperatura" utilizada en la presente invención significa que estas características del acero son por lo menos equivalentes a las del SUS444. Más concretamente, esta expresión significa lo siguiente: En cuanto a la resistencia a la oxidación, la resistencia a la oxidación a 950 °C del acero es por lo menos equivalente a la del SUS444; En cuanto a la propiedad de fatiga térmica, la resistencia del acero a la fatiga de un ciclo térmico en el intervalo de temperatura de 100 °C a 850 °C es por lo menos equivalente a la del SUS444; En cuanto a la propiedad de fatiga a alta temperatura, la propiedad de fatiga a alta temperatura a 850 °C del acero es por lo menos equivalente a la del SUS444.

Solución al Problema

Los presentes inventores llevaron a cabo una extensa investigación para desarrollar un acero inoxidable ferrítico que no contenga elementos costosos tales como Mo y W, no pierda resistencia a la oxidación provocada por la adición de Cu, que es un problema planteado en técnicas conocidas, y presente unos excelentes niveles de resistencia a la oxidación (incluyendo resistencia a la oxidación de vapor de agua), propiedad de fatiga térmica, y propiedad de fatiga a alta temperatura. Su investigación reveló los siguientes hechos: En cuanto a la propiedad de fatiga térmica, la adición de Nb y Cu en combinación para hacer que su contenido sea entre un 0,3 y un 0,65% en masa y entre un 1,0 y un 2,5% en masa, respectivamente, hace que el acero tenga una mayor resistencia a alta temperatura en una amplia gama de temperaturas y, por lo tanto, se mejora la propiedad de fatiga térmica; La pérdida de resistencia a la oxidación provocada por la adición de Cu puede evitarse añadiendo una cantidad apropiada de Al (entre un 0,2 y un 1,0% en masa); Por lo tanto, los aceros que contienen Cu pueden tener un mejor nivel de propiedad de fatiga térmica incluso a temperaturas en las que en cierta medida se carece de esta característica. Además, la investigación de los presentes inventores también han revelado que la resistencia a la oxidación de vapor de agua puede mejorarse en gran medida añadiendo una cantidad apropiada de Si (entre un 0,4 y un 1,0% en masa) y que la propiedad de fatiga a alta temperatura también puede mejorarse manteniendo las cantidades de Si y Al (% en masa) en un equilibrio adecuado ($Si \geq Al$). A partir de estos hallazgos, los presentes inventores llegaron a la conclusión de que es necesario ajustar las cantidades de Nb, Cu, Al, y Si a sus respectivas gamas especificadas anteriormente con el fin de producir un acero inoxidable ferrítico que presente una excelente resistencia al calor, es decir, una resistencia térmica por lo menos equivalente a la del SUS444, sin utilizar Mo o W, y completaron la presente invención.

Específicamente, la presente invención se refiere a una lámina de acero con las características definidas en la reivindicación 1. En las reivindicaciones dependientes de la reivindicación 1 se definen otras realizaciones preferidas.

Efectos ventajosos de la invención

La presente invención hace que sea posible disponer aceros inoxidables ferríticos que presenten una resistencia térmica (propiedad de fatiga térmica, resistencia a la oxidación, y propiedad de fatiga a alta temperatura) por lo menos equivalentes a las del SUS444 (JIS G4305) a un bajo coste, sin la adición de elementos costosos tales como Mo y W. Por lo tanto, los aceros de acuerdo con la presente invención pueden utilizarse adecuadamente en elementos del sistema de escape de automóviles y otros vehículos similares.

Breve descripción de los dibujos

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

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

[Figura 3] La figura 3 es una gráfica que muestra el efecto del contenido de Cu en la propiedad de fatiga térmica.

[Figura 4] La figura 4 es una gráfica que muestra el efecto del contenido de Al en la resistencia a la oxidación (aumento de peso por oxidación) a 950 °C.

[Figura 5] La figura 5 es una gráfica que muestra el efecto del contenido de Si sobre la resistencia a la oxidación de vapor de agua (aumento de peso por oxidación) a 950° C.

[Figura 6] La figura 6 es un diagrama que ilustra una muestra de prueba de fatiga a alta temperatura.

[Figura 7] La figura 7 es una gráfica que muestra el efecto del contenido de Si y el de Al en la propiedad de fatiga a alta temperatura.

[Figura 8] La figura 8 es una gráfica que muestra el efecto del contenido de Al en la elongación a temperatura ambiente.

[Figura 9] La figura 9 es una gráfica que muestra el efecto del contenido de Ti en la resistencia a la oxidación (aumento de peso por oxidación) a 1000 °C.

[Figura 10] La figura 10 es una gráfica que muestra el efecto del contenido de V en la tenacidad (porcentaje de fractura frágil).

Descripción de realizaciones

En esta sección se describe primero un experimento fundamental que sirvió de trampolín para el desarrollo de la presente invención.

Con un acero que contiene C entre un 0,005 y un 0,007% en masa, N entre un 0,004 y un 0,006% en masa, Si en un 0,5% en masa, Mn en un 0,4% en masa, Cr en un 17% en masa, Nb en un 0,45% en masa, y Al en un 0,35% en masa como composición de partida, se añadió Cu para llegar a diferentes contenidos entre un 0 y un 3% en masa, las composiciones de acero obtenidas se moldearon a escala de laboratorio en lingotes de acero de 50 kg, y los lingotes de acero se calentaron a 1170 °C y se laminaron en caliente en barras de chapa que medían cada una 30 mm de grosor y 150 mm de ancho. Posteriormente, estas barras de chapa se forjaron en barras, presentando cada una de ellas una sección transversal de 35 mm por 35 mm, y las barras obtenidas fueron recocidas a una temperatura de 1030 °C y mecanizadas. De esta manera se prepararon muestras de prueba de fatiga térmica para presentar las dimensiones y la forma especificada en la figura 1.

Después, cada una de estas muestras de prueba se sometió varias veces al tratamiento térmico especificado en la figura 2, en el que la muestra de prueba se calentó y se enfrió en el intervalo entre 100 °C y 850 °C con la relación de restricción establecida a 0,35, y se midió la resistencia a la fatiga térmica. Aquí, la resistencia a la fatiga térmica representa el número de ciclos en los que la primera tensión comenzó a disminuir de manera continua a partir de la del ciclo anterior; la tensión se calculó como el cociente de la carga detectada a 100 °C dividido por el área de la sección transversal de la parte paralela sumergida de un espécimen de prueba tal como se indica en la figura 1. También corresponde al número de ciclos en el que apareció una grieta en la muestra de prueba. Por comparación, también se ensayó de la misma manera SUS444 (un acero que contiene Cr en un 19% en masa, Nb en un 0,5% en masa, y Mo en un 2% en masa).

La figura 3 ilustra una relación entre la resistencia a la fatiga térmica y el contenido de Cu que se obtiene en esta prueba de fatiga térmica. Tal como puede apreciarse en esta gráfica, la adición de Cu para hacer que su contenido sea de un 1,0% en masa o más proporciona una resistencia a la fatiga térmica por lo menos equivalente a la del SUS444 (aproximadamente 1100 ciclos), y la propiedad de fatiga térmica puede mejorarse con eficacia añadiendo Cu para hacer que su contenido sea de un 1,0% en masa o más.

Posteriormente, con un acero que contiene C en un 0,006% en masa, N en un 0,007% en masa, Mn en un 0,2% en masa, Si en un 0,5% en masa, Cr en un 17% en masa, Nb en un 0,49% en masa, y Cu en un 1,5% en masa como composición de partida, se añadió Al para alcanzar diferentes contenidos entre un 0 y un 2% en masa, y las composiciones de acero obtenidas se formaron a escala de laboratorio en forma de lingotes de acero de 50 kg. Los lingotes de acero fueron laminados en caliente, las láminas laminadas en caliente obtenidas se sometieron a recocido laminado en caliente y luego laminado en frío, y las láminas laminadas en frío obtenidas fueron sometidas a un recocido de acabado. De esta manera, se obtuvieron unas láminas laminadas en frío y recocidas de 2 mm de grosor. Después, cada lámina laminada en frío y recocida se cortó para proporcionar una muestra de prueba que medía 30 mm por 20 mm. Cada muestra de prueba fue perforada cerca de la parte superior para formar un orificio de 4 mm de diámetro, se pulió con papel de lija del nº 320 en ambos lados y las caras de extremas, se desgrasó, y se sometido a la prueba de oxidación continua que se describe a continuación. Por comparación, también se ensayó SUS444 de la misma manera.

<Prueba de oxidación continua en aire a 950 °C>

Se calentó un horno lleno de aire a 950° C, y cada una de las muestras de prueba descritas anteriormente se suspendió en este horno durante 300 horas. La muestra de prueba se pesó antes y después de esta prueba de calentamiento, y se calculó la variación de masa y se convirtió en una ganancia de peso por oxidación por unidad de superficie (g/m^2). Con este valor, se evaluó la resistencia a la oxidación.

La figura 4 ilustra una relación entre el aumento de peso por oxidación y el contenido de Al obtenido en la prueba descrita anteriormente. Tal como puede apreciarse en esta gráfica, la adición de Al para hacer que su contenido sea de un 0,2% en masa o más proporciona una resistencia a la oxidación por lo menos equivalente a la del SUS444 (aumento de peso por oxidación: 27 g/m^2 o menos).

Posteriormente, con un acero que contiene C en un 0,006% en masa, N en un 0,007% en masa, Mn en un 0,2% en masa, Al en un 0,45% en masa, Cr en un 17% en masa, Nb en un 0,49% en masa, y Cu en un 1,5% en masa como

composición de partida, se añadió Si para alcanzar diferentes contenidos, y las composiciones de acero obtenidas se formaron a escala de laboratorio en forma de lingotes de acero de 50 kg. Los lingotes de acero fueron laminados en caliente, las láminas laminadas en caliente obtenidas se sometieron a recocido laminado en caliente y después se laminaron en frío y las láminas laminadas en frío obtenidas fueron sometidas a un recocido de acabado. De esta manera, se obtuvieron láminas laminadas en frío y recocidas de 2 mm de grosor. Después, cada lámina laminada en frío y recocida se cortó para proporcionar una muestra de prueba que medía 30 mm por 20 mm. Cada muestra de prueba fue perforada cerca de la parte superior para formar un orificio de 4 mm de diámetro, se pulió con papel de lija del nº 320 en ambos lados y las caras extremas, se desgrasó, y se sometió a la prueba de oxidación que se describe a continuación. Por comparación, también se ensayó SUS444 de la misma manera.

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

Se introdujo una mezcla de gas que contenía CO₂ al 10%, H₂O al 20%, O₂ al 5%, y N₂ como resto en un horno a 0,5 l/min, el horno lleno de esta atmósfera que contiene vapor de agua se calentó a 950 °C, y cada una de las muestras de prueba descritas anteriormente se suspendió en este horno durante 300 horas. La muestra de prueba se pesó antes y después de esta prueba de calentamiento y se calculó la variación de masa y se convirtió en una ganancia de peso por oxidación por unidad de superficie (g/m²). Con este valor, se evaluó la resistencia a la oxidación de vapor de agua.

La figura 5 ilustra una relación entre el aumento de peso por oxidación y el contenido de Si en una atmósfera que contiene vapor de agua obtenida en la prueba descrita anteriormente. Tal como puede apreciarse en esta gráfica, la adición de Si para hacer que su contenido sea de un 0,4% en masa o más proporciona una resistencia a la oxidación, por lo menos equivalente a la del SUS444 (aumento de peso por oxidación: 51 g/m² o menos).

Posteriormente, con un acero que contiene C en un 0,006% en masa, N en un 0,007% en masa, Mn en un 0,2% en masa, Cr en un 17% en masa, Nb en un 0,49% en masa, y Cu en un 1,5% en masa como composición de partida, se añadió Si y Al para alcanzar de manera individual diferentes contenidos, y las composiciones de acero obtenidas se formaron a escala de laboratorio en forma de lingotes de acero de 50 kg. Los lingotes de acero fueron laminados en caliente, las láminas laminadas en caliente obtenidas se sometieron a recocido laminado en caliente y luego laminado en frío, y las láminas laminadas en frío obtenidas fueron sometidas a un recocido de acabado. De esta manera, se obtuvieron unas láminas laminadas en frío y recocidas de 2 mm de grosor. Después, cada lámina laminada en frío y recocida se cortó para proporcionar una muestra de prueba de fatiga que presentaba la forma y las dimensiones especificadas en la figura 6, y los especímenes de prueba fueron sometidos a la prueba de fatiga a alta temperatura que se describe a continuación. Por comparación, también se ensayó SUS444 de la misma manera.

<Prueba de fatiga a alta temperatura>

Cada una de las muestras de prueba descritas anteriormente se sometió a una prueba de fatiga tipo Schenck, en la que la superficie de la lámina de acero se sometió a un esfuerzo de flexión (inverso) de 75 MPa a 850 °C con la frecuencia establecida a 1300 rpm (22 Hz), y se contaron una serie de instantes de vibración hasta que se produjo una fractura (resistencia a la fatiga). Con este recuento se evaluó la propiedad de fatiga a alta temperatura.

La figura 7 ilustra una relación entre la resistencia a la fatiga a alta temperatura y la diferencia de contenido entre Si y Al que se obtiene en el prueba que se ha descrito anteriormente. Tal como puede apreciarse en esta gráfica, una resistencia a la fatiga a alta temperatura equivalente o mejor que la del SUS444 (1,0E+06) puede conseguirse solamente si el Si y el Al cumplen una relación (Si (% en masa) ≥ Al (% en masa)).

Entonces, cada una de las láminas laminadas en frío y recocidas de 2 mm de grosor preparadas para la prueba de oxidación continua en aire descrita anteriormente se cortó para proporcionar una muestra de prueba de tracción JIS 13B que presentaba las siguientes tres direcciones de tracción: la dirección de laminado (dirección L), la perpendicular a la dirección de laminado (dirección C), y 45° respecto a la dirección de laminado (dirección D). Las muestras de prueba se sometieron a una prueba de tracción a temperatura ambiente en la cual se midió la elongación después de la fractura en cada dirección, y se calculó la elongación media EI utilizando la siguiente ecuación:

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

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

La figura 8 muestra el efecto del contenido de Al en la elongación a temperatura ambiente. Esta gráfica indica que la elongación a temperatura ambiente disminuye a medida que el contenido de Al aumenta y que la adición de Al para

hacer que su contenido sea mayor de un 1,0% en masa se traduce en una elongación que queda por debajo de la del SUS444 (31%).

Entonces, los presentes inventores realizaron un estudio relativo al efecto del contenido de Ti en la resistencia a la oxidación a alta temperatura (1000 °C), en comparación con 950 °C para las pruebas similares a las que se han descrito anteriormente.

Con un acero que contiene C en un 0,006% en masa, N en un 0,007% en masa, Si en un 0,7% en masa, Mn en un 0,2% en masa, Al en un 0,5% en masa, Cr en un 17% en masa, Nb en un 0,49% en masa, y Cu en un 1,5 % en masa como composición de partida, se añadió Ti para alcanzar diferentes contenidos entre un 0 y un 1,0% en masa, y las composiciones de acero obtenidas se conformaron a escala de laboratorio en forma de lingotes de acero de 50 kg. Los lingotes de acero fueron laminados en caliente, las láminas laminadas en caliente obtenidas se sometieron a recocido laminado en caliente y después fueron laminadas en frío y las láminas laminadas en frío obtenidas fueron sometidas a un recocido de acabado. De esta manera se obtuvieron láminas laminadas en frío y recocidas de 2 mm de grosor. Después, cada lámina laminada en frío y recocida se cortó para proporcionar una muestra de prueba que medía 30 mm por 20 mm. Cada muestra de prueba fue perforada cerca de la parte superior para formar un orificio de 4 mm de diámetro, se pulió con papel de lija del nº 320 en ambos lados y las caras extremas, se desgrasó, y se sometió a la prueba de la oxidación a 1000 °C que se describe a continuación. Por comparación, también se probó el SUS444 de la misma manera.

<Prueba de oxidación continua en aire a 1000 °C>

Se calentó un horno lleno de aire a 1000 °C, y cada una de las muestras de prueba descritas anteriormente se suspendió en este horno durante 300 horas. La muestra de prueba se pesó antes y después de esta prueba de calentamiento, y la variación de masa se calculó y se convirtió en una ganancia de peso por oxidación por unidad de superficie (g/m^2). Con este valor, se evaluó la resistencia a la oxidación. Para las muestras de prueba en las que se produjo un desprendimiento del óxido (desprendimiento de escamas), la escama desprendida también se recogió y se incluyó en la medición del peso después de la prueba.

La figura 9 ilustra una relación entre el aumento de peso por oxidación y el contenido de Ti que se obtiene en la prueba de oxidación a 1000 °C que se ha descrito anteriormente. Esta gráfica presenta los siguientes hechos: Si el contenido de Ti es de un 0,01% en masa o menos, se produce un importante desprendimiento de escamas, lo que da lugar a un aumento de peso por oxidación de 100 g/m^2 o más, es decir, una oxidación de desprendimiento; La adición de Ti para hacer que su contenido sea mayor de un 0,01% en masa, sin embargo, evita que se produzca oxidación de desprendimiento y proporciona una resistencia a la oxidación equivalente o mejor (aumento de peso por oxidación: 36 g/m^2 o menos) en comparación con la del SUS444 (aumento de peso por oxidación: 36 g/m^2), aunque se produce un desprendimiento parcial de escamas; La adición de Ti para hacer que su contenido sea mayor que un 0,15% en masa impide que se produzca tanto oxidación como desprendimiento de escamas y ofrece una excelente resistencia a la oxidación.

Después, con uno de los aceros que contienen Ti descritos anteriormente, los presentes inventores realizaron un estudio relativo al efecto del contenido de V sobre la tenacidad.

Con un acero que contiene C en un 0,006% en masa, N en un 0,007% en masa, Si en un 0,7% en masa, Mn en un 0,2% en masa, Al en un 0,5% en masa, Cr en un 17% en masa, Nb en un 0,49% en masa, Cu en un 1,5 en masa %, y Ti en un 0,3% en masa como composición de partida, se añadió V para alcanzar diferentes contenidos de 0 a 1,0% en masa, y las composiciones de acero obtenidas se conformaron a escala de laboratorio en forma de lingotes de acero de 50 kg. Los lingotes de acero fueron laminados en caliente, las láminas laminadas en caliente obtenidas se sometieron a recocido laminado en caliente y luego fueron laminadas en frío y las láminas laminadas en frío obtenidas fueron sometidas a un recocido de acabado. De esta manera, se obtuvieron láminas laminadas en frío y recocidas de 2 mm de grosor. Estas láminas laminadas en frío y recocidas fueron cortadas para proporcionar muestras de prueba de impacto de entalla en V de 2 mm de ancho de acuerdo con JIS Z0202. A continuación, se realizó una prueba de impacto Charpy a - 40 °C de acuerdo con JIS Z2242, se inspeccionó visualmente la fractura, y se midió el grado de fractura frágil.

La figura 10 ilustra una relación entre el grado de fractura frágil y el contenido de V obtenido en la prueba de impacto que se ha descrito anteriormente. Tal como puede apreciarse en esta gráfica, la adición de V para hacer que su contenido sea de un 0,01% en masa o más mejora significativamente la tenacidad y hace que el grado de fractura frágil sea de un 0%; sin embargo, la adición de V para hacer que su contenido sea mayor que un 0,5% en masa se traduce en un mayor grado de fractura frágil y reduce la resistencia en lugar de mejorarla.

En base a los resultados anteriores, los presentes inventores completaron la presente invención a través de un estudio posterior.

A continuación se describen los ingredientes que constituyen los aceros inoxidables ferríticos de acuerdo con la presente invención.

5 C: 0,015% en masa o menos

El C es un elemento eficaz para aumentar la resistencia del acero; sin embargo, la adición del mismo para hacer que su contenido sea mayor que un 0,015% en masa provoca que se reduzca significativamente la tenacidad y la formabilidad. En la presente invención, por lo tanto, el contenido de C es de un 0,015% en masa o menos. Desde el punto de vista de asegurar la formabilidad, el contenido de C es preferiblemente de un 0,008% en masa o menos. Desde el punto de vista de asegurar la resistencia del acero para su uso como elemento de un sistema de escape, el contenido de C es preferiblemente de un 0,001% en masa o más. Más preferiblemente, el contenido de C está en el intervalo entre un 0,002 y un 0,008% en masa.

Si: entre un 0,4 y un 1,0% en masa

15 El Si es un elemento importante, el cual es necesario para mejorar la resistencia a la oxidación en una atmósfera que contenga vapor de agua. Tal como se muestra en la figura 5, éste debe estar contenido en un 0,4% en masa o más con el fin de asegurar una resistencia a la oxidación de vapor de agua por lo menos equivalente a la del SUS444. Sin embargo, una adición excesiva que hace que el contenido de Si sea superior a un 1,0% en masa provoca una disminución de la formabilidad y, por lo tanto, el límite superior es de un 1,0% en masa. Preferiblemente, el contenido de Si está en el intervalo entre un 0,4 y un 0,8% en masa.

El motivo de que la adición de Si mejora la resistencia a la oxidación de vapor de agua no ha sido identificado completamente; sin embargo, si el Si está presente en un 0,4% en masa o más, parece formar continuamente una densa capa de óxido de Si en la superficie de la lámina de acero e impide que los componentes gaseosos interfieran desde el exterior. Si se requiere una resistencia a la oxidación en una atmósfera de vapor de agua más corrosiva, el límite inferior del contenido de Si es preferiblemente de un 0,5% en masa.

Si (% en masa) $\geq$ Al (% en masa)

30 Además, el Si es un elemento importante también para el uso eficaz de la capacidad del Al para reforzar el acero por disolución del sólido. Tal como se describe más adelante, el Al es un elemento que tiene una acción de refuerzo del acero por disolución del sólido a altas temperaturas y un efecto de mejorar la propiedad de fatiga térmica a alta temperatura. Si el contenido de Al es mayor que el de Si, sin embargo, el Al forma preferiblemente un óxido o un nitruro a altas temperaturas y se disuelve sólido en una cantidad reducida y, por lo tanto, no puede contribuir plenamente al refuerzo por disolución sólida. Por otra parte, si el contenido de Si es mayor que el de Al, el Si preferiblemente se oxida y forma una densa capa de óxido continua sobre la superficie de la lámina de acero; esta capa de óxido tiene un efecto de impedir que el oxígeno y el nitrógeno interfieran desde el exterior y se difundan en el interior, de modo que el Al puede mantenerse en estado disuelto sólido sin ser oxidado o nitrurado. En consecuencia se garantiza un estado disuelto sólido estable del Al, y se mejora la propiedad de fatiga térmica a alta temperatura. En la presente invención, por lo tanto, se añade Si para cumplir una relación Si (% en masa) $\geq$ Al (% en masa) con el fin de lograr una propiedad de fatiga térmica a alta temperatura por lo menos equivalente a la del SUS444.

Mn: 1,0% en masa o menos

45 El Mn es un elemento que se añade como agente desoxidante y para aumentar la resistencia del acero. Para que presente sus efectos, se añade preferiblemente para hacer que su contenido sea de un 0,05% en masa o más. Sin embargo, una adición excesiva hace que la fase γ sea más fácil de formarse a altas temperaturas y da lugar a una resistencia térmica reducida. El contenido de Mn es por lo tanto de un 1,0% en masa o menos. Preferiblemente, es de un 0,7% en masa o menos.

50 P: 0,040% en masa o menos

El P es un elemento perjudicial que reduce la tenacidad del acero y, por lo tanto, su contenido se reduce deseablemente tanto como sea posible. En la presente invención, el contenido de P es, por lo tanto, de un 0,040% en masa o menos. Preferiblemente, es de un 0,030% en masa o menos.

55 S: 0,010% en masa o menos

El S es un elemento perjudicial que produce un efecto adverso sobre la formabilidad reduciendo la elongación y el valor r y afecta a la resistencia a la corrosión, un atributo fundamental del acero inoxidable y, por lo tanto, su contenido se reduce deseablemente tanto como sea posible. En la presente invención, el contenido de S es, por tanto, de un 0,010% en masa o menos. Preferiblemente, es de un 0,005% en masa o menos.

60 Al: 0,2 a 1,0% en masa

El Al es, tal como se muestra en la figura 4, un elemento indispensable para mejorar la resistencia a la oxidación del acero que contiene Cu. En particular, para alcanzar un objetivo de la presente invención, o más específicamente

para lograr una resistencia a la oxidación por lo menos igual a la del SUS444, el Al debería estar contenido en un 0,2% en masa o más. Tal como se muestra en la figura 8, sin embargo, la adición de Al para hacer que su contenido sea mayor de un 1,0% en masa hace que el acero sea más duro de lo necesario y que pierda su formabilidad a un nivel por debajo del SUS444 (31%) y también se reduce la resistencia a la oxidación en lugar de mejorarla. Por lo tanto, el contenido de Al está en el intervalo entre un 0,2 y un 1,0% en masa. Preferiblemente, se encuentra en el intervalo entre un 0,3 y un 1,0% en masa. Si se da prioridad a la formabilidad, el contenido de Al está preferiblemente en el intervalo entre un 0,3 y un 0,8% en masa. Más preferiblemente, está en el intervalo entre un 0,3 y un 0,5% en masa.

Por otra parte, el Al es un elemento que se encuentra disuelto sólido en el acero y refuerza el acero por disolución sólida, y tiene un efecto de mayor resistencia a alta temperatura especialmente contra temperaturas superiores a 800 °C. En la presente invención, el Al es por lo tanto un elemento importante para una propiedad de fatiga térmica a alta temperatura mejorada. Tal como se ha mencionado anteriormente, si el contenido de Al es mayor que el de Si, el Al forma preferiblemente un óxido o un nitruro a altas temperaturas y si disuelve sólido en una cantidad reducida y, por lo tanto, no tiene ninguna contribución al refuerzo. Por el contrario, si el contenido de Al es menor que el de Si, el Si preferiblemente se oxida y forma una densa capa de óxido continua sobre la superficie de la lámina de acero; esta capa de óxido actúa de barrera a la difusión de oxígeno y nitrógeno en el interior, de modo que el Al puede mantenerse en un estado disuelto sólido estable. En este último caso, el refuerzo mediante Al disuelto sólido, por lo tanto, aumenta la resistencia a alta temperatura y mejora la propiedad de fatiga a alta temperatura. En la presente invención, por lo tanto, es necesario que se cumpla una relación $\text{Si (\% en masa)} \geq \text{Al (\% en masa)}$ para mejorar la propiedad de fatiga a alta temperatura.

N: 0,015% en masa o menos

El N es un elemento que reduce la tenacidad y la formabilidad del acero y, si su contenido supera un 0,015% en masa, estos efectos perjudiciales son significativos. El contenido de N es, por tanto, de un 0,015% en masa o menos. Desde el punto de vista de garantizar la tenacidad y la formabilidad, el contenido de N se reduce preferiblemente tanto como sea posible; es deseablemente inferior a un 0,010% en masa.

Cr: 16 al 23% en masa

El Cr es un elemento importante, el cual es eficaz para mejorar la resistencia a la corrosión y la resistencia a la oxidación, características del acero inoxidable; sin embargo, si su contenido es inferior a un 16% en masa, proporciona solamente una resistencia a la oxidación insuficiente. Por otra parte, el Cr es también un elemento que refuerza el acero a temperatura ambiente por disolución sólida y hace que el acero sea más duro y menos dúctil de lo necesario; en particular, la adición de Cr para hacer que su contenido sea mayor de un 23% en masa provoca que estos problemas sean graves, y el límite superior es por lo tanto de un 23% en masa. Por lo tanto, el Cr está presente en un intervalo entre un 16 y un 23% en masa. Preferiblemente, el contenido de Cr está se encuentra en el intervalo entre un 16 y un 20% en masa.

Cu: 1,0 a 2,5% en masa

El Cu es, tal como se muestra en la figura 3, un elemento muy eficaz para mejorar la propiedad de fatiga térmica y, para que la propiedad de fatiga térmica que se ha conseguir sea por lo menos equivalente a la del SUS444, debe estar contenido en un 1,0% en masa o más. La adición de Cu para hacer que su contenido sea mayor que un 2,5% en masa, sin embargo, hace que el ϵ -Cu precipite durante el proceso de enfriamiento tras el proceso de tratamiento térmico y hace que el acero sea más duro de lo necesario y más susceptible de una fragilización inducida por trabajo en caliente. Más importante todavía, la adición de Cu ciertamente mejora la propiedad de fatiga térmica pero, por otra parte, reduce la resistencia a la oxidación del propio acero en lugar de mejorarla, terminando con una reducción de la resistencia térmica global. La razón de esto no se ha identificado completamente; sin embargo, el Cu parece concentrarse en la capa reducida de Cr en las partes donde se formaban escamas en el mismo y evita que el Cr, un elemento que debería mejorar la resistencia a la oxidación intrínseca del acero inoxidable, se difunda de nuevo. Por consiguiente, el contenido de Cu está en el intervalo entre un 1,0 y un 2,5% en masa. Preferiblemente, está en el intervalo entre un 1,1 y un 1,8% en masa.

Nb: 0,30-0,65% en masa

El Nb es un elemento que forma un carbonitrúro con C y N para fijar estos elementos y, por lo tanto, actúa para mejorar la resistencia a la corrosión, la formabilidad y la resistencia a la corrosión en la frontera del grano en soldaduras, y también aumenta la resistencia a alta temperatura y, por lo tanto, mejora la propiedad de fatiga térmica. Estos efectos se observan cuando el Nb está presente en un 0,30% en masa o más. Sin embargo, la adición del mismo para hacer que su contenido sea mayor de un 0,65% en masa hace que la fase de Laves sea más fácil de precipitar y provoca que el acero sea más frágil. Por consiguiente, el contenido de Cu se encuentra en el intervalo entre un 0,30 y un 0,65% en masa. Preferiblemente, se encuentra en el intervalo entre un 0,40 y un 0,55% en masa. Si la tenacidad es esencial, el contenido de Cu se encuentra preferiblemente en el intervalo entre un 0,40 y un 0,49% en masa. Más preferiblemente, se encuentra en el intervalo entre un 0,40 y un 0,47% en masa.

Ti: 0,5% en masa o menos.

El Ti es, en los aceros que contienen Al de acuerdo con la presente invención, un elemento muy eficaz para mejorar la resistencia a la oxidación. En particular, los aceros utilizados a altas temperaturas superiores a 1000 °C y que requieren tener una excelente resistencia a la oxidación deben contener Ti como elemento aditivo esencial. Para conseguir dicha resistencia a la oxidación a altas temperaturas, o más específicamente para que la resistencia a la oxidación a 1000 °C sea equivalente o mejor que la del SUS444, el Ti está presente preferiblemente en un contenido superior a un 0,01% en masa, tal como se puede apreciarse en la figura 9. Sin embargo, una adición excesiva que haga que su contenido sea superior a un 0,5% en masa no sólo termina con un efecto saturado de mejora de la resistencia a la oxidación, sino que también hace que se reduzca la resistencia, y que la reducida tenacidad afecte a la productividad de diversas maneras, por ejemplo, fracturas debido a ciclos de flexión y estirado en una línea de recocido laminado en caliente. El límite superior del contenido de Ti es, por lo tanto, de un 0,5% en masa.

Por lo demás, con un acero existente para utilizarse en un elemento de un sistema de escape o componentes relacionados de motores de automóviles, una exposición del elemento a una temperatura elevada puede producir que se desprendan las escamas que se han formado en la superficie del elemento y, de este modo, que se produzca un mal funcionamiento del motor. La adición de Ti es también muy eficaz para evitar este tipo de desprendimiento de escamas, y la adición de Ti para hacer que su contenido sea mayor de un 0,15% en masa reduce drásticamente el desprendimiento de escamas que se produciría a altas temperaturas, 1000 °C o más. Si el acero es para utilizarse en aplicaciones en las que importa el desprendimiento, el Ti está presente preferiblemente, por lo tanto, en un contenido superior a un 0,15% en masa pero no mayor de un 0,5% en masa.

El motivo de que la adición de Ti mejore la resistencia a la oxidación del acero que contiene Al no ha sido identificado completamente. Sin embargo, la siguiente es una posible explicación. El Ti, cuando se añade al acero, se une con N a una temperatura elevada y, de este modo, evita la unión de Al con N y que precipiten en forma de AlN. Esto aumenta la proporción de Al libre, y este Al libre se une con O para formar un óxido de Al (Al_2O_3) en la frontera entre la capa de óxido de Si densa mencionada anteriormente, que se ha formado en la superficie de la lámina de acero, y la parte metálica de base. La estructura de doble capa resultante, compuesta por la capa de óxido de Si que se ha mencionado anteriormente y el óxido de Al, impide que el O interfiera en la lámina de acero y proporciona una mejor resistencia a la oxidación.

Además, al igual que con el Nb, el Ti fija el C y el N y, por lo tanto, actúa para impedir la resistencia a la corrosión, la formabilidad, y la corrosión en la frontera del grano en soldaduras. En los sistemas de elementos de acuerdo con la presente invención, en los que hay presente Nb, sin embargo, la adición de Ti para hacer que su contenido sea mayor de un 0,01% en masa termina con la saturación de estos efectos y también provoca que se produzca una disolución sólida haciendo que el acero sea más duro de lo necesario. Peor aún, el Ti, que es más probable que se una a N que el Nb, forma un TiN grueso del cual emergen grietas, lo que da lugar a una reducción de la tenacidad. Si el acero es para aplicaciones en las que se da prioridad a la resistencia a la corrosión, la formabilidad y la resistencia a la corrosión en la frontera del grano en soldaduras mientras que no se requiere particularmente una resistencia a la oxidación a altas temperaturas (por ejemplo, 1000 °C o más) o el acero es para utilizarse en aplicaciones en las que la tenacidad es de especial necesidad, por lo tanto, no se necesita ninguna adición activa de Ti; en su lugar, se prefiere reducir el contenido de Ti tanto como sea posible. Si el acero es para utilizarse en tales aplicaciones, por lo tanto, el contenido de Ti es preferiblemente de un 0,01% en masa o menos.

Mo: 0,1% en masa o menos

El Mo es un elemento caro y, por lo tanto, tal como también puede apreciarse en la base de la presente invención, debe evitarse una adición activa del mismo. En algunos casos, sin embargo, el acero puede contener Mo que proviene de chatarra y otras materias primas en un 0,1% en masa o menos. El contenido de Mo es, por lo tanto, de un 0,1% en masa o menos.

W: 0,1% en masa o menos

Al igual que el Mo, el W es un elemento caro y, por lo tanto, como también puede apreciarse en la base de la presente invención, debe evitarse una adición activa del mismo. En algunos casos, sin embargo, el acero puede contener W que proviene de chatarra y otras materias primas en un 0,1% en masa o menos. El contenido de W es, por lo tanto, de un 0,1% en masa o menos.

La lámina de acero inoxidable ferrítico de acuerdo con la presente invención contiene, además, uno o dos o más de B, Co y Ni dentro de los intervalos que se especifican a continuación.

B: 0,003% en masa o menos.

El B es un elemento eficaz para mejorar la trabajabilidad del acero, en particular, la trabajabilidad secundaria. Este efecto se obtiene cuando el B está presente en un 0,0005% en masa o más; Sin embargo, una adición excesiva que haga que su contenido sea superior a un 0,003% en masa provoca que se forme BN y, por lo tanto, se reduce la

trabajabilidad. Si se añade B, por lo tanto, su contenido es preferiblemente de un 0,003% en masa o menos. Más preferiblemente, está en el intervalo entre un 0,0010 y un 0,003% en masa.

Co: 0,5% en masa o menos

5 El Co es un elemento eficaz para mejorar la tenacidad del acero. Para que tenga su efecto, el Co está presente preferiblemente en un 0,0050% en masa o más. Sin embargo, el Co es un elemento caro y, peor aún, la adición de Co para hacer que su contenido sea mayor de un 0,5% en masa termina con la saturación de ese efecto. Si se añade Co, por lo tanto, su contenido es preferiblemente de un 0,5% en masa o menos. Más preferiblemente, se encuentra en el intervalo entre un 0,01 y un 0,2% en masa. Si se necesitan láminas laminadas en frío con una
10 excelente tenacidad, el contenido de Co se encuentra preferiblemente en el intervalo entre un 0,02 y un 0,2% en masa.

Ni: 0,5% en masa o menos

15 El Ni es un elemento que mejora la tenacidad del acero. Para que tenga su efecto, el Ni está presente preferiblemente en un 0,05% en masa o más. Sin embargo, el Ni es caro y es también un fuerte elemento de formación de fase γ ; forma la fase γ a altas temperaturas y, por lo tanto, reduce la resistencia a la oxidación. Si se añade Ni, su contenido es, por lo tanto, preferiblemente de un 0,5% en masa o menos. Más preferiblemente, está en el intervalo entre un 0,05 y un 0,4% en masa. Sin embargo, puede haber algunos casos de impurezas involuntarias e inevitables con Ni entre un 0,10 y un 0,15% en masa debido a chatarra o a la composición de la aleación.

20 Aparte de los elementos esenciales que se han descrito anteriormente, los aceros inoxidables ferríticos de acuerdo con la presente invención pueden contener, además, uno o dos o más de REM, Zr y V dentro de los intervalos que se especifican a continuación.

25 REM: 0,08% en masa o menos; Zr: 0,50% en masa o menos

Los REM (metales de tierras raras) y el Zr son elementos que mejoran la resistencia a la oxidación y, en la presente invención, pueden estar presentes según sea necesario. Para que tengan su efecto, éstos están presentes preferiblemente en un 0,01% en masa o más y en un 0,05% en masa o más, respectivamente. Sin embargo, la adición de REM para hacer que su contenido sea mayor de un 0,080% en masa fragiliza el acero, y la adición de Zr
30 para hacer que su contenido sea mayor de un 0,50% en masa provoca que los materiales intermetálicos de Zr precipiten y, por lo tanto, se reduce la tenacidad del acero. Si se añade REM y Zr, por lo tanto, el contenido es preferiblemente de un 0,08% en masa o menos y de un 0,5% en masa o menos, respectivamente.

V: 0,5% en masa o menos.

35 El V es un elemento eficaz para mejorar tanto la trabajabilidad como la resistencia a la oxidación del acero. Estos efectos son significativos si el contenido de V es de un 0,15% en masa o más. Una adición excesiva que haga que el contenido de V sea superior a un 0,5% en masa, sin embargo, provoca que precipite V (C, N) grueso y, por lo tanto, da lugar a una textura de la superficie deteriorada. Si se añade V, por lo tanto, su contenido es preferiblemente en el intervalo entre un 0,15 y un 0,5% en masa. Más preferiblemente, está en el intervalo entre un 0,15 y un 0,4% en
40 masa.

Además, el V es también un elemento eficaz para mejorar la tenacidad del acero; en particular, tal como se muestra en la figura 10, los aceros que contienen Ti para utilizarse en aplicaciones en las que se requiere una resistencia a la oxidación a 1000 °C y temperaturas más altas, se benefician en gran medida de este efecto del V de una mejor
45 tenacidad. Este efecto se obtiene si el V está presente en un 0,01% en masa o más; sin embargo, la adición de V para hacer que su contenido sea mayor de un 0,5% en masa reduce la tenacidad en lugar de mejorarla. Si el acero es un acero que contiene Ti para utilizarse en aplicaciones en las que se requiere tenacidad, por lo tanto, el V está presente preferiblemente en un contenido en el intervalo entre un 0,01 y un 0,5% en masa.

50 Por lo demás, el efecto de mejora de la tenacidad del V que se ha descrito anteriormente en los aceros que contienen Ti parece estar provocado de la siguiente manera: el Ti existente en la cristalización de TiN en el acero se sustituye parcialmente por V y precipita en forma de (Ti, V) N de manera lenta y brillante y, por lo tanto, se evita que precipite un nitruro grueso, causa de la reducción de la ductilidad.

55 Co: 0,5% en masa o menos

El Co es un elemento eficaz para mejorar la tenacidad del acero. Para que tenga su efecto, el Co está presente preferiblemente en un 0,0050% en masa o más. Sin embargo, el Co es un elemento caro y, peor aún, la adición de Co para hacer que su contenido sea mayor de un 0,5% en masa termina con la saturación de ese efecto. Si se
60 añade Co, por lo tanto, su contenido es preferiblemente de un 0,5% en masa o menos. Más preferiblemente, se encuentra en el intervalo entre un 0,01 y un 0,2% en masa. Si se necesitan láminas laminadas en frío con una excelente tenacidad, el contenido de Co se encuentra preferiblemente en el intervalo entre un 0,02 y un 0,2% en masa.

Ni: 0,5% en masa o menos

El Ni es un elemento que mejora la tenacidad del acero. Para que tenga su efecto, el Ni está presente preferiblemente en un 0,05% en masa o más. Sin embargo, el Ni es caro y es también un fuerte elemento de formación de fase γ ; forma la fase γ a altas temperaturas y, por lo tanto, reduce la resistencia a la oxidación. Si se añade Ni, su contenido es, por lo tanto, preferiblemente de un 0,5% en masa o menos. Más preferiblemente, está en el intervalo entre un 0,05 y un 0,4% en masa. Sin embargo, puede haber algunos casos de impurezas involuntarias e inevitables con Ni entre un 0,10 y un 0,15% en masa debido a chatarra o a la composición de la aleación.

A continuación se describe un procedimiento de fabricación de un acero inoxidable ferrítico de acuerdo con la presente invención.

El procedimiento de fabricación de un acero inoxidable ferrítico de acuerdo con la presente invención no está particularmente limitado; pueden utilizarse adecuadamente todos los procedimientos ordinarios para la fabricación de acero inoxidable ferrítico. Por ejemplo, pueden fabricarse mediante el siguiente procedimiento de fabricación: Se fabricar un acero que presente la composición química de acuerdo con la presente invención especificada anteriormente por fusión del mismo en un convertidor de acero, un horno eléctrico, o cualquier otro horno de fusión conocido y obtener opcionalmente el acero a través afino en cuchara, refinado en vacío, o cualquier otro proceso de refinación secundario; se conforma el acero en bloques por colada continua o laminado por moldeo-desbastado; se procesan los bloques en láminas laminadas en frío y recocidas por laminado en caliente, recocido laminado en caliente, decapado, laminado en frío, recocido de acabado, otra ronda de decapado, y otros procesos necesarios. El proceso de laminado en frío que se ha mencionado anteriormente puede ser una única ronda de laminado en frío o puede incluir dos o más rondas que se combinen con un proceso de recocido, y el proceso de laminado en frío, laminado de acabado, y decapado pueden realizarse repetidamente.

Además, el proceso de recocido laminado en caliente puede omitirse. Si es necesario modificar el brillo y la rugosidad superficial de las láminas de acero, el proceso de laminado en frío o el proceso de laminado de acabado pueden ir seguidos de un laminado de acabado.

Se da ahora una explicación de un conjunto de condiciones de fabricación preferidas en el procedimiento de fabricación que se ha descrito anteriormente.

En el proceso de fabricación del acero, en el que el acero se funde y opcionalmente se refina, lo siguiente es un procedimiento preferido: se funde acero en un convertidor de acero, un horno eléctrico, o similar y se obtiene el acero fundido a través de una refinación secundaria mediante el procedimiento de VOD (procedimiento de descarburación con oxígeno al vacío) o cualquier otro procedimiento apropiado para hacer que el acero contenga los elementos esenciales descritos anteriormente y los componentes aditivos necesarios. El acero fundido puede procesarse en materia prima de acero mediante cualquier procedimiento conocido; a partir del aspecto de la productividad y la calidad, sin embargo, se prefiere la colada continua. Entonces, preferiblemente, la materia prima de acero se calienta a 1000-1250 °C y se lamina en caliente en láminas laminadas en caliente que tienen un grosor deseado. Es evidente que la materia prima del acero puede trabajarse en caliente para darle cualquier forma además de láminas. Preferiblemente, las láminas laminadas en caliente son sometidas después a recocido por lotes a una temperatura en el intervalo entre 600 y 800 °C o a un recocido continuo a una temperatura en el intervalo entre 900 y 1100 °C, según sea necesario, y se realiza una descalcificación por decapado o cualquier otro tratamiento adecuado para proporcionar un producto laminado en caliente. Si es necesario, las láminas laminadas en caliente pueden ser decapadas por granallado antes del proceso de decapado.

Además, las láminas laminadas en caliente y recocidas descritas anteriormente pueden ser sometidas a laminado en frío y otros procesos necesarios para proporcionar un producto laminado en frío. En este caso, el proceso de laminado en frío puede ser una única ronda de laminado en frío o, para asegurar la productividad y una calidad requerida, puede incluir dos o más rondas de laminado en frío que se combinen con un proceso de recocido. La reducción total del laminado después de la única ronda o las dos o más rondas de laminado en frío es preferiblemente de un 60% o más, y más preferiblemente de un 70% o más. Preferiblemente, las láminas de acero laminadas en frío se someten después a recocido continuo (recocido de acabado) a una temperatura preferiblemente en el intervalo entre 900 y 1150 °C, más preferiblemente entre 950 y 1120 °C y luego a decapado para proporcionar un producto laminado en frío. En función de las aplicaciones previstas, las láminas de acero con recocido de acabado pueden someterse a laminado de acabado y otros procesos necesarios para modificar su forma, rugosidad superficial, y características.

El producto laminado en caliente o laminado en frío obtenido de la manera que se ha indicado anteriormente se conforma a continuación de diferentes maneras en función de las aplicaciones previstas, por corte, trabajo de doblado, trabajo de estirado, compuesto de extracción, y otros procesos necesarios, para proporcionar tubos de escape y carcasas de convertidores para automóviles y motocicletas, conductos de aire de escape de centrales energía termoeléctrica, elementos de celdas de combustible, tales como separadores, interconectores y

reformadores, etc. El procedimiento para soldar estos elementos no está particularmente limitado; procedimientos apropiados incluyen procedimientos de soldadura por arco ordinarios con MIG (metal y gas inerte), MAG (metal y gas activo), TIG (tungsteno y gas inerte) o cualquier otro gas adecuado, procedimientos de soldadura de resistencia tales como soldadura por puntos y soldadura longitudinal, y procedimientos de soldadura de resistencia a alta frecuencia o de inducción a alta frecuencia tales como soldadura por resistencia eléctrica.

Ejemplo 1

Los aceros que presentan las composiciones químicas especificadas como nº 1 a 34 en la tabla 1-1 y la tabla 1-2 se fundieron en un horno de fundición de vacío y se moldearon en lingotes de acero de 50 kg. Cada lingote de acero fue laminado en caliente y después se dividió en dos partes. Después, cada una de las dos piezas divididas se calentó a 1170 °C y se laminó en caliente para formar una lámina laminada en caliente de 5 mm de grosor, la lámina de laminada en caliente obtenida se sometió a recocido laminado en caliente a una temperatura de 1020 °C y se realizó un decapado posterior, la lámina obtenida fue laminada en frío a una reducción de laminado de un 60%, la lámina laminada en frío obtenida se sometió a un recocido de acabado a una temperatura de 1030 °C, y la lámina con recocido de acabado se enfrió a una velocidad de enfriamiento media de 20 °C/seg. y después fue decapada para proporcionar una lámina laminada en frío y recocida de 2 mm de grosor. Las láminas laminadas en frío y recocidas obtenidas de este modo fueron sometidas a las dos pruebas de oxidación y a la prueba de fatiga a alta temperatura que se describen más adelante. Para referencia, SUS444 (nº 35) y aceros correspondientes en composición química a los de acuerdo con las invenciones descritas en los documentos de patente 2 a 7 (nº 36 a 41) fueron procesados también en láminas laminadas en frío y recocidas de la misma manera que se ha descrito anteriormente y se sometieron a las pruebas de evaluación

<Prueba de oxidación continua en aire>

Cada una de las láminas laminadas en frío y recocidas obtenidas de la manera que se ha descrito anteriormente se cortó para proporcionar una muestra de prueba que medía 30 mm por 20 mm. Cada muestra de prueba fue perforada cerca de la parte superior para formar un orificio de 4 mm de diámetro, se pulió con papel de lija del nº 320 en ambos lados y las caras extremas, se desgrasó y se suspendió en un horno lleno de aire y precalentado a una temperatura constante de 950 °C o 1000 °C, y se dejó en este estado durante 300 horas. Antes y después de la prueba, cada muestra de prueba se pesó, se calculó la variación de masa a partir de la masa medida y la masa de referencia, que se midió previamente, y se determinó la ganancia de peso por oxidación (g/m^2). Para cada acero, esta prueba se llevó a cabo dos veces, y se utilizó el valor medio para evaluar su resistencia a la oxidación continua. En cuanto a la prueba de oxidación de permanencia en el aire a 1000 °C, los aceros se evaluaron de acuerdo con los siguientes criterios teniendo en cuenta tanto el aumento de peso por oxidación como el desprendimiento de escamas:

x: Se observó oxidación de desprendimiento (aumento de peso por oxidación $\geq 100 \text{ g/m}^2$);

Δ: No se observó oxidación de desprendimiento, pero se observó un desprendimiento de escamas parcial;

O: No se observó oxidación de desprendimiento o desprendimiento de escamas.

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

Cada una de las láminas laminadas en frío y recocidas obtenidas de la manera descrita anteriormente se cortó para proporcionar una muestra de prueba que medía 30 mm por 20 mm. Cada muestra de prueba fue perforada cerca de la parte superior para formar un orificio de 4 mm de diámetro, se pulió con papel de lija del nº 320 en ambos lados y las caras extremas, se desgrasó y después se sometió a una prueba de oxidación en la cual se introdujo una mezcla de gas que contenía CO_2 en un 10% en volumen, H_2O en un 20% en volumen, O_2 en un 5% en volumen, y N_2 como resto en un horno a 0,5 l/min, el horno lleno de esta atmósfera que contiene vapor de agua se calentó a 950 °C, y luego la muestra de prueba se suspendió en este horno durante 300 horas. Antes y después de la prueba, cada muestra de prueba se pesó, se calculó la variación de masa a partir de la masa medida y la masa de referencia, la cual se midió previamente, y se determinó la ganancia de peso por oxidación (g/m^2).

<Prueba de fatiga a alta temperatura>

Cada una de las láminas laminadas en frío y recocidas obtenidas de la manera que se ha descrito anteriormente se cortó para proporcionar una muestra de prueba que presenta la forma y las dimensiones especificadas en la figura 6. Cada muestra de prueba se sometió a un prueba de fatiga de tipo Schenck, en el que la superficie de la lámina de acero se sometió a un esfuerzo de flexión (inverso) de 75 MPa a 850 °C con la frecuencia establecida en 1300 rpm (22 Hz), y se contó una serie de instantes de vibración hasta que se produjo una fractura (resistencia a la fatiga). Con este recuento se evaluó la propiedad de fatiga a alta temperatura.

<Prueba de tracción a temperatura ambiente>

Cada una de las láminas laminadas en frío y recocidas de 2 mm de grosor descritas anteriormente se cortó para proporcionar una muestra de prueba a la tracción JIS 13B que presentaba las siguientes tres direcciones de tracción: la dirección de laminado (dirección L), la perpendicular a la dirección de laminado (dirección C), y 45° respecto a la dirección de laminado (dirección D). Las muestras de prueba se sometieron a una prueba de tracción a temperatura ambiente en la cual se midió la elongación después de la fractura en cada dirección, y se calculó la elongación media E_I utilizando la siguiente ecuación:

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

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

Ejemplo 2

El resto de las dos piezas de cada lingote de acero de 50 kg dividido en el ejemplo 1 se calentó a 1170 °C y se laminó en caliente en una barra de chapa que medía 30 mm de grosor y 150 mm de ancho. Las barras de chapa obtenidas de esta manera se forjaron en barras que medían cada un cuadrado de 35 mm, y las barras obtenidas fueron recocidas a una temperatura de 1030 °C y mecanizadas para presentar la forma y las dimensiones especificadas en la figura 1. Las muestras de prueba de fatiga térmica obtenidas de esta manera se sometieron a la prueba de fatiga térmica que se describe a continuación. Por referencia, SUS444 y aceros correspondiente en composición química a los de acuerdo con las invenciones descritas en los documentos de patente 2 a 7 (ejemplos de referencia 1 a 6) también se procesaron en muestras de prueba de la misma manera tal como se ha descrito anteriormente y se sometieron a la prueba de fatiga térmica.

<Prueba de fatiga térmica>

La prueba de fatiga térmica se realizó tal como se ilustra en la figura 2; cada una de las muestras de prueba descritas anteriormente fue calentada y enfriada repetidamente en el intervalo entre 100 °C y 850 °C con la relación de restricción establecida a 0,35. La velocidad de calentamiento y la velocidad de enfriamiento se establecieron ambas a 10 °C/seg., el tiempo de mantenimiento a 100 °C se estableció en dos minutos, y el tiempo de mantenimiento a 850 °C se estableció en cinco minutos. La resistencia a la fatiga térmica se define como el número de ciclos en el que la primera tensión empezó a disminuir continuamente a partir de la del ciclo anterior; la tensión se calculó como el cociente de la carga detectada a 100 °C dividido por la sección transversal de la parte paralela sumergida de una muestra de prueba (véase figura 1).

La tabla 2 resume los resultados de las pruebas descritas en el Ejemplo 1 o, más concretamente, unas pruebas de oxidación continua en aire a 950 °C y 1000 °C, una prueba de oxidación continua en atmósfera de vapor de agua, y una prueba de fatiga a alta temperatura, así como los de la prueba de fatiga térmica que se describe en el ejemplo 2. Tal como se desprende de la tabla 2, los aceros analizados como ejemplos de la presente invención (nº 1 a 15), que cumplen los requisitos de la composición química especificada en la presente invención, presentaban todos unos niveles de resistencia a la oxidación equivalentes o mejores a 950 °C, propiedad de fatiga térmica, y propiedad de fatiga a alta temperatura en comparación con los del SUS444 (nº 35) y, de este modo, se conseguía un objetivo de la presente invención. En cuanto al resultado de la prueba de oxidación continua en aire a 1000 °C, los aceros ensayados como ejemplos de la presente invención en los que el Ti estaba presente en un contenido superior a un 0,01% en masa pero no mayor de un 0,15% en masa (nº 9, 12, y 13) fueron comparables al SUS444 (nº 35), y los aceros analizados como ejemplos de la presente invención en los que el contenido de Ti superaba un 0,15% en masa (nº 10, 11, 14, y 15) eran mejores que el SUS444. Por otra parte, los aceros analizados como ejemplos comparativos (nº 16 y 34), los cuales se apartaban del alcance de la presente invención, y los aceros correspondientes a algunos ejemplos de referencia de la técnica anterior (nº 36 a 41) eran inferiores en resistencia a la oxidación a 950 °C, propiedad de fatiga térmica, y propiedad de fatiga a alta temperatura; no se alcanzó un objetivo de la presente invención.

Aplicabilidad industrial

Los aceros inoxidables ferríticos de acuerdo con la presente invención no sólo son adecuados para utilizarse en elementos del sistema de escape de automóviles y otros vehículos similares, sino que también pueden utilizarse adecuadamente en elementos del sistema de escape de sistemas de energía termoeléctrica y en elementos de pilas de combustible de óxido sólido, a los cuales se aplican requisitos de resistencia similares.

[Tabla 1-1]

Acero n°	Ingredientes químicos (% en masa)														Observaciones	
	C	Si	Mn	P	S	Al	Cr	Cu	Nb	Ti	Mo	W	N	Otros	Si-Al	
1	0.011	0.82	0.41	0.020	0.002	0.72	17.1	1.21	0.44	0.009	0.04	0.02	0.004	-	0.10	Ejemplo comparativo
2	0.007	0.86	0.18	0.028	0.003	0.25	17.4	1.47	0.50	0.006	0.03	0.03	0.006	V: 0.04	0.61	Ejemplo comparativo
3	0.006	0.45	0.23	0.033	0.004	0.44	17.0	1.53	0.47	0.004	0.01	0.04	0.005	V: 0.08	0.01	Ejemplo comparativo
4	0.008	0.52	0.21	0.030	0.004	0.39	17.1	1.45	0.48	0.003	0.02	0.02	0.008	V: 0.06	0.13	Ejemplo comparativo
5	0.008	0.94	0.34	0.018	0.001	0.65	18.5	1.21	0.43	0.007	0.01	0.03	0.006	V: 0.19	0.29	Ejemplo comparativo
6	0.006	0.78	0.28	0.025	0.003	0.41	17.2	1.26	0.45	0.005	0.02	0.01	0.008	Ni: 0.29	0.37	Ejemplo de la invención
7	0.009	0.65	0.20	0.023	0.003	0.33	17.9	1.37	0.46	0.009	0.02	0.02	0.007	Co: 0.023	0.32	Ejemplo de la invención
8	0.007	0.75	0.23	0.024	0.002	0.38	17.5	1.40	0.45	0.008	0.02	0.02	0.008	Co: 0.011	0.37	Ejemplo de la invención
9	0.007	0.71	0.18	0.022	0.002	0.39	17.5	1.34	0.45	0.080	0.01	0.01	0.009	V: 0.21	0.32	Ejemplo comparativo
10	0.006	0.86	0.21	0.024	0.002	0.44	17.4	1.26	0.43	0.190	0.01	0.01	0.008	V: 0.33	0.42	Ejemplo comparativo
11	0.007	0.74	0.20	0.025	0.002	0.35	17.5	1.44	0.44	0.310	0.02	0.01	0.008	V: 0.29, Ni: 0.25	0.39	Ejemplo de la invención
12	0.009	0.91	0.22	0.023	0.003	0.39	17.6	1.31	0.48	0.020	0.01	0.01	0.007	V: 0.15	0.52	Ejemplo comparativo
13	0.008	0.53	0.19	0.022	0.002	0.31	17.1	1.19	0.42	0.130	0.01	0.01	0.009	V: 0.38	0.22	Ejemplo comparativo
14	0.006	0.68	0.20	0.025	0.002	0.34	17.0	1.35	0.47	0.240	0.02	0.01	0.007	V: 0.12, B: 0.0005	0.34	Ejemplo de la invención
15	0.008	0.85	0.20	0.026	0.003	0.46	17.8	1.43	0.45	0.160	0.01	0.01	0.008	V: 0.18, Ni: 0.11	0.39	Ejemplo de la invención
16	0.006	0.19	0.13	0.032	0.004	0.37	17.5	1.35	0.43	0.006	0.02	0.04	0.008	-	-0.18	Ejemplo comparativo
17	0.005	0.35	0.28	0.026	0.002	0.51	17.3	1.56	0.41	0.002	0.03	0.01	0.007	-	-0.16	Ejemplo comparativo
18	0.008	0.09	0.63	0.029	0.003	1.12	16.2	1.42	0.46	0.051	0.04	0.01	0.008	-	-1.03	Ejemplo comparativo
19	0.005	0.27	0.33	0.022	0.001	0.48	17.7	1.46	0.48	0.006	0.02	0.01	0.011	-	-0.21	Ejemplo comparativo
20	0.004	0.19	0.33	0.029	0.002	0.39	21.6	1.77	0.39	0.005	0.01	0.01	0.008	-	-0.20	Ejemplo comparativo
21	0.007	0.17	0.23	0.029	0.003	0.47	17.2	1.39	0.45	0.004	0.01	0.01	0.008	B: 0.0009, V: 0.051	-0.30	Ejemplo comparativo
22	0.006	0.41	0.09	0.033	0.001	0.66	18.2	1.61	0.40	0.090	0.05	0.01	0.009	REM: 0.013, Ni: 0.33	-0.25	Ejemplo comparativo

[Tabla 1-2]

Acero n°	Ingredientes químicos (% en masa)														Observaciones	
	C	Si	Mn	P	S	Al	Cr	Cu	Nb	Ti	Mo	W	N	Otros		Si-Al
23	0.008	<u>0.37</u>	0.71	0.018	0.003	0.88	17.8	1.28	0.52	0.002	0.01	0.02	0.007	Co: 0.04, Zr: 0.06	<u>-0.51</u>	Ejemplo comparativo
24	0.006	<u>0.31</u>	0.35	0.030	0.002	<u>0.14</u>	17.1	1.46	0.44	0.006	0.01	0.02	0.009	-	0.17	Ejemplo comparativo
25	0.008	0.23	0.66	0.028	0.004	1.62	17.7	1.61	0.49	0.004	0.05	0.01	0.008	-	<u>-1.39</u>	Ejemplo comparativo
26	0.006	<u>0.32</u>	0.55	0.028	0.003	<u>0.69</u>	17.4	0.87	0.51	0.004	0.02	0.01	0.009	-	<u>-0.37</u>	Ejemplo comparativo
27	0.007	<u>0.23</u>	0.25	0.027	0.002	0.47	17.6	1.18	0.44	0.003	0.06	0.02	0.008	V: 0.18	<u>-0.24</u>	Ejemplo comparativo
28	0.003	0.09	0.12	0.025	0.003	0.46	17.5	1.26	0.42	0.008	0.05	0.03	0.007	V: 0.22	<u>-0.37</u>	Ejemplo comparativo
29	0.008	0.15	0.39	0.021	0.001	0.51	17.3	1.38	0.48	0.024	0.02	0.06	0.008	V: 0.29	<u>-0.36</u>	Ejemplo comparativo
30	0.006	<u>0.32</u>	0.34	0.024	0.002	0.46	17.7	1.22	0.46	0.005	0.06	0.02	0.005	V: 0.38	<u>-0.14</u>	Ejemplo comparativo
31	0.009	<u>0.18</u>	0.15	0.027	0.004	0.49	17.4	1.48	0.47	<u>0.014</u>	0.04	0.03	0.006	V: 0.44	<u>-0.31</u>	Ejemplo comparativo
32	0.007	0.27	0.15	0.027	0.003	0.53	19.1	1.28	0.45	0.004	0.05	0.02	0.007	V: 0.20	<u>-0.26</u>	Ejemplo comparativo
33	0.005	<u>0.03</u>	0.11	0.024	0.002	0.51	18.2	1.19	0.45	0.006	0.05	0.03	0.006	V: 0.23	<u>-0.48</u>	Ejemplo comparativo
34	0.007	<u>0.73</u>	0.11	0.025	0.002	0.89	17.9	1.71	0.39	0.002	0.01	0.02	0.007	V: 0.34	<u>-0.16</u>	Ejemplo comparativo
35	0.008	0.31	0.42	0.031	0.003	<u>0.019</u>	18.7	<u>0.02</u>	0.52	0.003	<u>1.87</u>	0.02	0.008	-	0.291	SUS444
36	0.008	<u>0.32</u>	0.05	0.028	0.002	<u>0.01</u>	17.02	1.93	0.33	0.002	0.01	0.02	0.010	Ni: 0.10, V: 0.10	0.31	Ejemplo de referencia 1
37	0.009	0.46	0.54	0.029	0.003	<u>0.002</u>	18.90	1.36	0.35	<u>0.080</u>	0.01	0.02	0.007	Ni: 0.10, V: 0.03, B: 0.0030	0.458	Ejemplo de referencia 2
38	0.006	<u>0.22</u>	0.05	0.005	0.0052	<u>0.052</u>	18.8	1.65	0.42	<u>0.090</u>	0.02	0.02	0.006	Ni: 0.15	0.168	Ejemplo de referencia 3
39	0.005	<u>0.20</u>	0.30	0.030	0.005	<u>0.05</u>	17.0	-	0.52	<u>0.110</u>	-	-	0.010	Ni: 0.10, V: 0.10	0.15	Ejemplo de referencia 4
40	0.009	1.70	0.60	0.030	0.002	1.00	17.0	-	0.45	<u>0.170</u>	-	-	0.007	Ni: 0.10, V: 0.10	0.70	Ejemplo de referencia 5
41	0.002	0.93	0.86	0.021	0.003	0.25	15.5	-	0.65	-	-	-	0.003	Ni: 0.55	0.68	Ejemplo de referencia 6

Nota) Ejemplo de referencia 1: Ejemplo 3 en el documento de patente 2; Ejemplo de referencia 2: Ejemplo 7 en el documento de patente 3; Ejemplo de referencia 3: Ejemplo 5 en el documento de patente 4; Ejemplo de referencia 4: Ejemplo comparativo A en el documento de patente 5; Ejemplo de referencia 5: Ejemplo comparativo R en el documento de patente 5; Ejemplo de referencia 6: Ejemplo 3 en el documento de patente 7

[Tabla 2]

Acero n°	Resistencia a la fatiga térmica (ciclos)	Ganancia de peso por oxidación a 350 °C (g / m ²)	Evaluación de la ganancia de peso por oxidación a 1000 °C	Ganancia de peso por oxidación por vapor de agua (g / m ²)	0,2% de límite elástico a 850 °C (Mpa)	Resistencia a fatiga a alta temperatura a 850 °C, 75 MPa (x 10 ⁶ ciclos)	Elongación a temperatura ambiente (%)	Observaciones
1	1210	18	x	40	31	13	32	Ejemplo comparativo
2	1300	25	x	39	30	>20	35	Ejemplo comparativo
3	1350	21	x	48	31	11	33	Ejemplo comparativo
4	1280	22	x	41	32	15	34	Ejemplo comparativo
5	1260	12	x	37	36	>20	32	Ejemplo comparativo
6	1290	22	x	43	33	>20	34	Ejemplo de la invención
7	1270	24	x	42	32	>20	34	Ejemplo de la invención
8	1250	21	x	41	32	>20	33	Ejemplo de la invención
9	1310	20	Δ	35	32	>20	33	Ejemplo comparativo
10	1330	18	O	34	35	>20	34	Ejemplo comparativo
11	1300	19	O	35	34	>20	33	Ejemplo de la invención
12	1290	20	Δ	35	35	>20	33	Ejemplo comparativo
13	1300	21	Δ	37	33	>20	34	Ejemplo comparativo
14	1340	20	O	36	32	>20	33	Ejemplo de la invención
15	1360	18	O	34	33	>20	32	Ejemplo de la invención
16	1230	21	x	82	21	5,8	35	Ejemplo comparativo
17	1330	20	x	55	26	8,3	33	Ejemplo comparativo
18	1270	16	x	>100	23	6,2	30	Ejemplo comparativo
19	1300	21	x	66	25	8,1	33	Ejemplo comparativo
20	1450	21	x	80	24	7,0	32	Ejemplo comparativo
21	1260	21	x	85	23	6,4	34	Ejemplo comparativo
22	1390	18	x	50	26	6,8	31	Ejemplo comparativo
23	1210	17	x	53	25	6,6	31	Ejemplo comparativo
24	1290	80	x	79	25	6,1	36	Ejemplo comparativo
25	1400	11	x	60	27	7,7	27	Ejemplo comparativo
26	820	14	x	58	15	4,8	36	Ejemplo comparativo
27	1200	15	x	71	25	7,2	35	Ejemplo comparativo
28	1230	15	x	>100	24	9,1	35	Ejemplo comparativo
29	1260	14	x	79	27	8,2	35	Ejemplo comparativo
30	1210	14	x	57	26	7,3	35	Ejemplo comparativo
31	1310	14	x	78	23	6,5	34	Ejemplo comparativo
32	1240	15	x	56	21	6,4	35	Ejemplo comparativo
33	1210	15	x	>100	20	5,4	35	Ejemplo comparativo
34	1430	13	x	34	27	8,8	31	Ejemplo comparativo
35	1120	27	Δ	51	29	10	31	SUS444
36	1480	>100	x	>100	28	8,7	31	Ejemplo de referencia 1
37	1240	>100	x	>100	23	6,0	35	Ejemplo de referencia 2
38	1400	>100	x	>100	26	7,1	34	Ejemplo de referencia 3
39	660	>100	x	>100	13	3,7	37	Ejemplo de referencia 4
40	780	15	Δ	32	28	>20	27	Ejemplo de referencia 5
41	850	24	x	89	22	>20	37	Ejemplo de referencia 6

· O: No se observó oxidación de desprendimiento o desprendimiento de escamas; Δ: No se observó oxidación de desprendimiento, pero se observó un desprendimiento de escamas parcial; x: Se observó oxidación de desprendimiento

REIVINDICACIONES

1. Acero ferrítico inoxidable comprende:

- 5 C en un 0,015% en masa o menos;
Si en un 0,4 a 1,0% en masa;
Mn en un 1,0% en masa o menos;
P en un 0,040% en masa o menos;
S en un 0,010% en masa o menos;
10 Cr entre un 16 y un 23% en masa;
Al entre un 0,2 y un 1,0% en masa;
N en un 0,015% en masa o menos;
Cu entre un 1,0 y un 2,5% en masa;
Nb entre un 0,3 y un 0,65% en masa;
15 Ti en un 0,5% en masa o menos;
Mo en un 0,1% en masa o menos; W en un 0,1% en masa o menos; y uno o dos o más seleccionados de B entre un 0,0005 y un 0,003% en masa, Co entre un 0,005 y un 0,5% en masa, Ni entre un 0,05 y un 0,5% en masa, cumpliendo el Si y el Al la relación $\text{Si (\% en masa)} \geq \text{Al (\% en masa)}$; y opcionalmente uno o dos o más seleccionados de REM en un 0,08% en masa o menos, Zr en un 0,50% en masa o menos, V en un 0,5% en masa o menos; y
20 Fe e impurezas inevitables como resto.

2. Acero inoxidable ferrítico según la reivindicación 1, en el que el contenido de Ti supera un 0,15% en masa pero no es mayor de un 0,5% en masa.

- 25 3. Acero inoxidable ferrítico según la reivindicación 1, en el que el contenido de Ti es un 0,01% en masa o menos.
4. Acero inoxidable ferrítico según la reivindicación 1 ó 2, en el que el contenido de V está en el intervalo entre un 0,01 y un 0,5% en masa.

FIG. 1

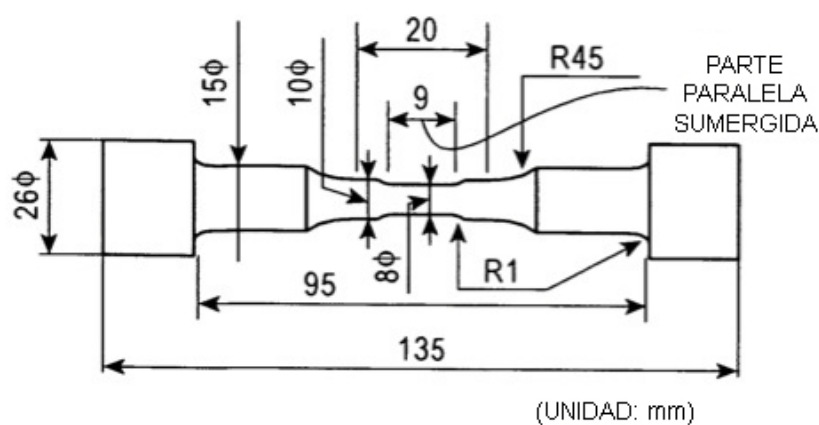


FIG. 2

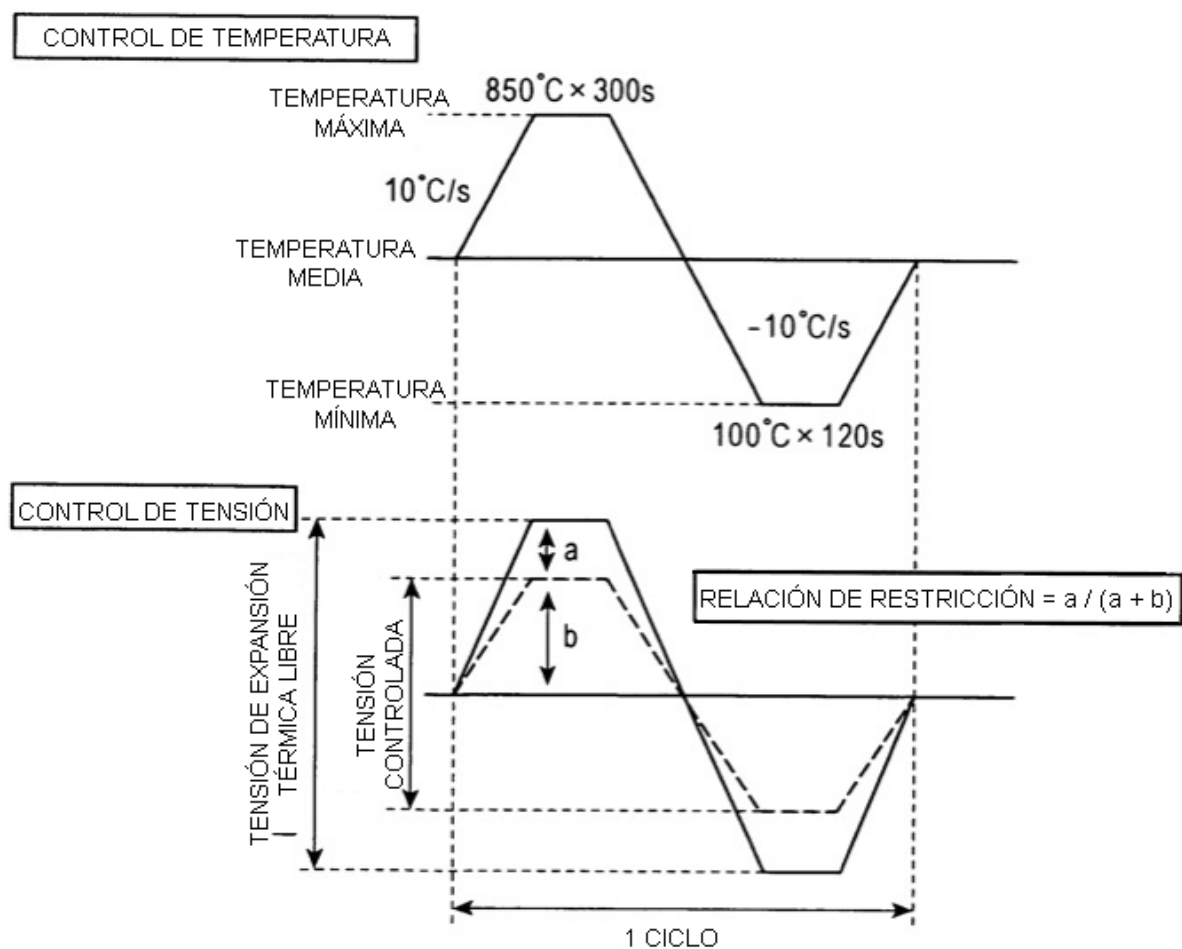


FIG. 3

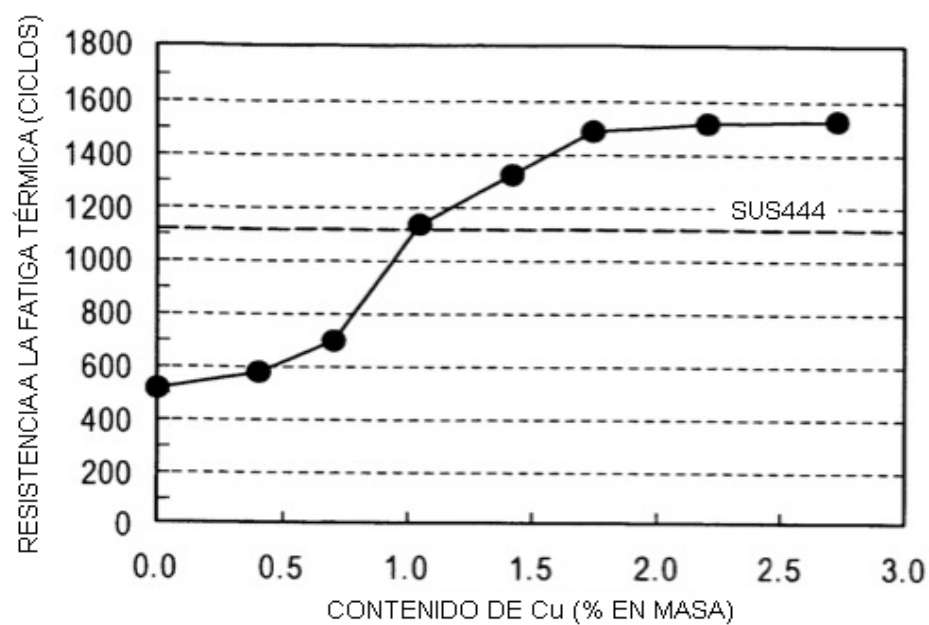


FIG. 4

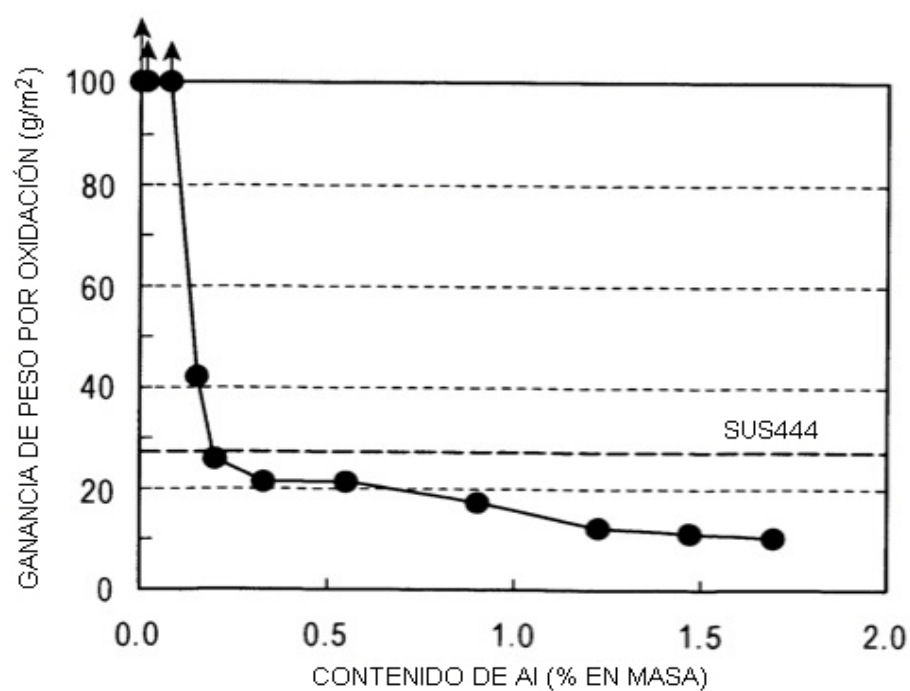


FIG. 5

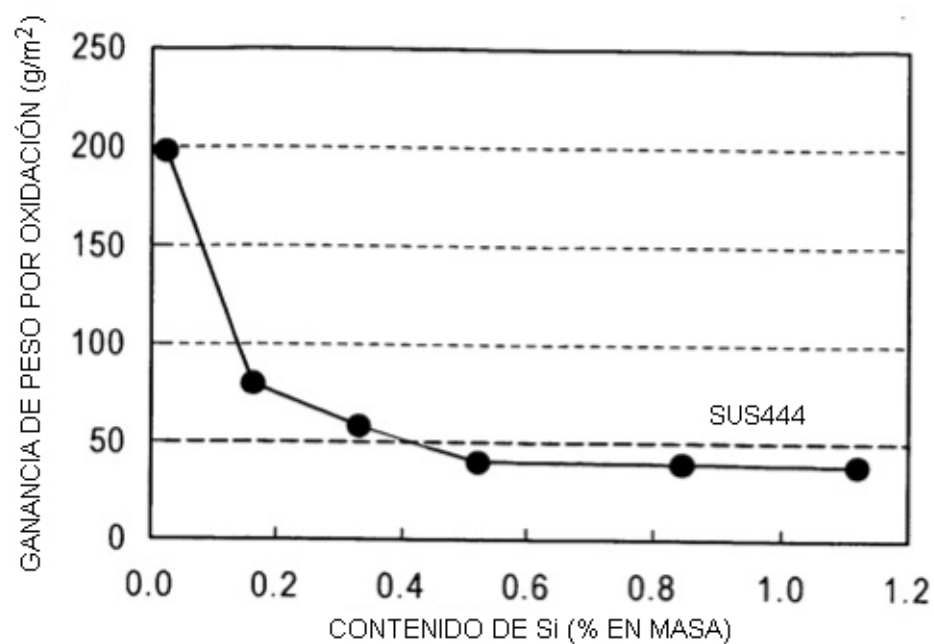


FIG. 6

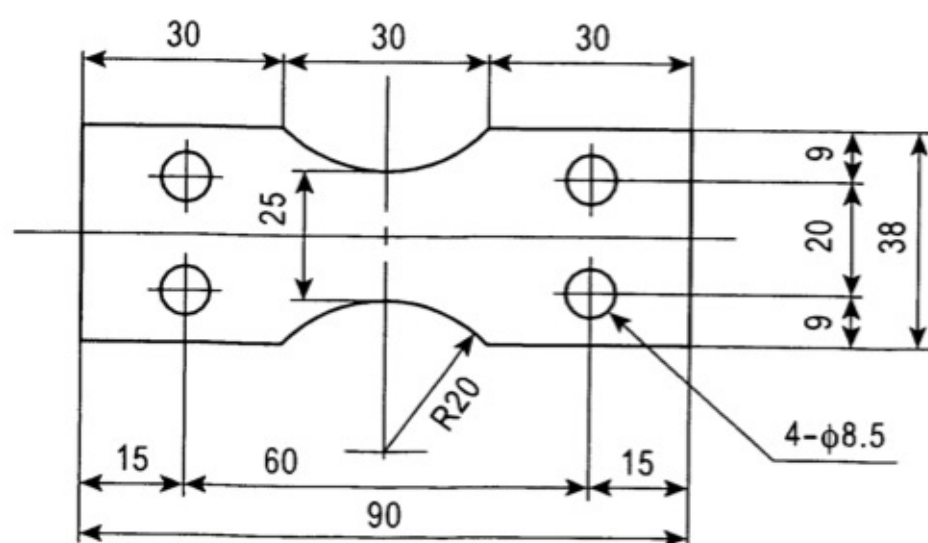


FIG. 7

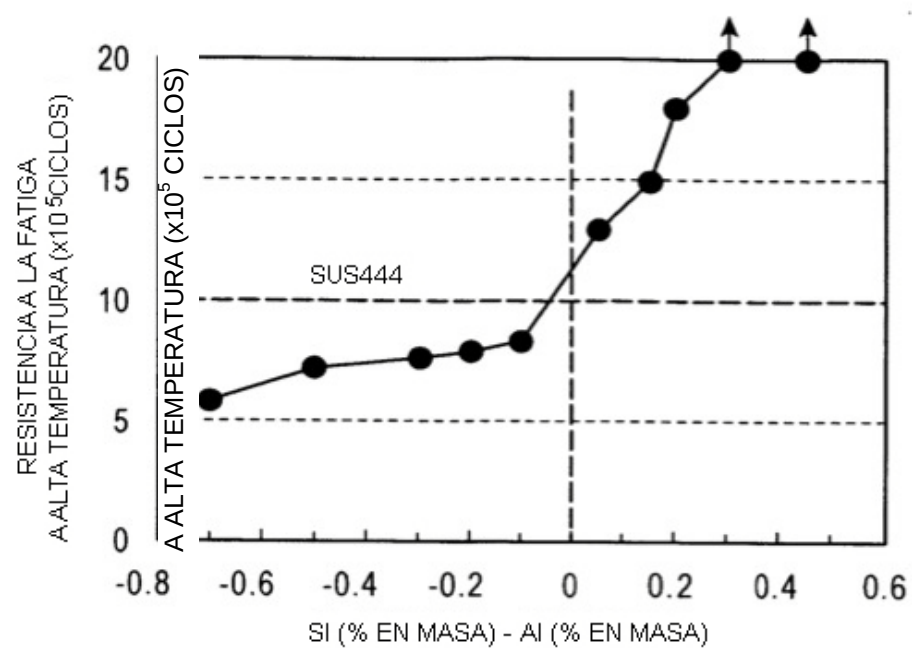


FIG. 8

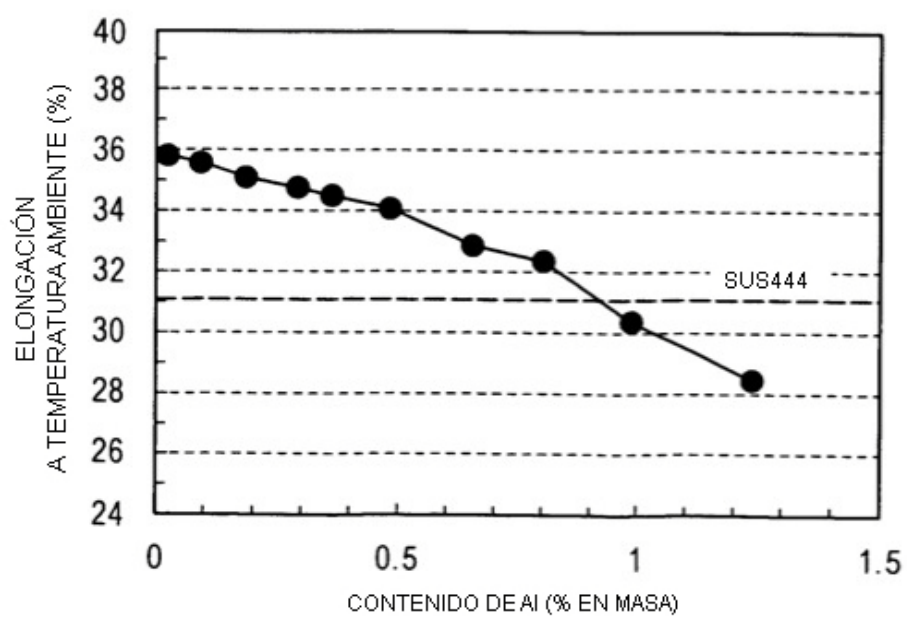


FIG. 9

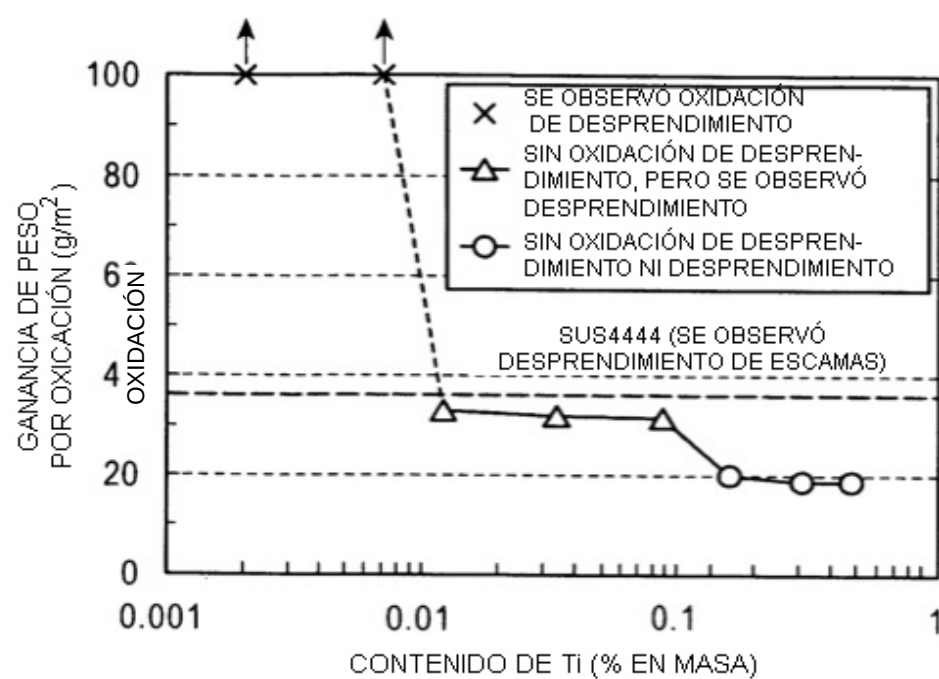


FIG. 10

