

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 519 716**

51 Int. Cl.:

C22C 38/00 (2006.01)

C22C 38/28 (2006.01)

C22C 38/54 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.03.2009 E 09718001 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.10.2014 EP 2264202**

54 Título: **Acero inoxidable ferrítico con excelente resistencia térmica y tenacidad**

30 Prioridad:

07.03.2008 JP 2008057613

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:

**KATO, YASUSHI;
HIRATA, NORIMASA;
NAKAMURA, TETSUYUKI y
UJIRO, TAKUMI**

74 Agente/Representante:

MILTENYI, Peter

ES 2 519 716 T3

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

DESCRIPCIÓN

Acero inoxidable ferrítico con excelente resistencia térmica y tenacidad.

5 Campo técnico

La presente invención se refiere a un acero que contiene Cr y, en particular, se refiere a un acero inoxidable ferrítico que tiene una alta resistencia térmica (resistencia a la fatiga térmica y resistencia a la oxidación) y que es excelente en tenacidad del material de base, el cual puede aplicarse de manera apropiada a elementos del sistema de escape que se utilizan en entornos de altas temperaturas, tales como tubos de escape de automóviles y motocicletas, conductos de aire de escape de carcasas de convertidores y plantas de energía termoeléctrica, etc.

Antecedentes

15 Los elementos del sistema de escape que se utilizan en entornos de sistemas de escape de automóviles, tales como colectores de escape, tubos de escape, carcasas de convertidores y silenciosos, requieren tener una resistencia a la fatiga térmica y una resistencia a la oxidación excelentes (en adelante, las dos propiedades se denominan colectivamente "resistencia térmica"). Actualmente, para tales fines que requieren una elevada resistencia térmica se utilizan ampliamente aceros que contienen Cr que incluyen en los mismos Nb y Si, tales como el Tipo 429 (14Cr-0,9Si-0,4Nb). Sin embargo, la resistencia a la fatiga térmica del Tipo 429 ha sido insuficiente, ya que la temperatura del gas de escape se eleva a más de 900 °C junto con una mejora en el rendimiento del motor.

25 Contra este problema, por ejemplo, se ha desarrollado un acero que contiene Cr que se ha mejorado en tensión a prueba de altas temperaturas añadiendo Nb y Mo al mismo, SUS444 (19Cr-0,5Nb-2Mo) conforme a la norma JIS G4305, y un acero inoxidable ferrítico que incluye Nb, Mo, y W en el mismo (por ejemplo, véase la publicación de la solicitud de patente Japonesa no examinada n° 2004-018921). Sin embargo, dado que el coste de los materiales de metales raros, tales como Mo y W ha aumentado considerablemente en la actualidad, se ha requerido el desarrollo de materiales que tengan una resistencia térmica equivalente a la de los que contienen Mo, W, o similares, utilizando materias primas de bajo coste.

30 Como materias primas excelentes en resistencia térmica que no incluyan elementos costosos tales como Mo y W, por ejemplo, WO2003/004714 describe un acero inoxidable ferrítico como elemento para la trayectoria de los gases de escape en automóviles en el cual se añade Nb: 0,50 % en masa o menos, Cu: 0,8 a 2,0 % en masa o menos, y V: 0,03 a 0,20% en masa a un acero al Cr entre un 10 y un 20% en masa; la publicación de la solicitud de patente japonesa no examinada n° 2006-117985 describe un acero inoxidable ferrítico excelente en resistencia a la fatiga térmica en el cual se añade Ti: 0,05 a 0,30% en masa, Nb: 0,10 a 0,60% en masa, Cu: 0,8 a 2,0% en masa, y B: 0,0005 a 0,02% en masa a un acero al Cr entre un 10 y un 20% en masa; y la publicación de la solicitud de patente japonesa no examinada n° 2000-297355 describe un acero inoxidable ferrítico para elementos del sistema de gases escape de automóviles en el cual se añade Cu: 1 al 3% en masa a un acero al Cr entre un 15 y un 25% en masa. Estos aceros se caracterizan porque la resistencia a la fatiga térmica aumenta añadiendo Cu a los aceros.

45 Sin embargo, según estudios realizados por los presentes inventores, se ha encontrado que la adición de Cu, como en las técnicas de los documentos de patente mencionados anteriormente, aumenta la resistencia a la fatiga térmica, pero disminuye la resistencia a la oxidación del acero en sí y, en conjunto, la resistencia térmica se deteriora. Además, el SUS444 contiene Cr en una cantidad mayor que el Tipo 429 y también contiene una gran cantidad de Mo. Por lo tanto, sigue habiendo el problema de que la ductilidad del material de base es baja.

50 Por consiguiente, un objetivo de la presente invención es disponer un acero inoxidable ferrítico que sea excelente en resistencia a la fatiga térmica y resistencia a la oxidación y también que presente una tenacidad equivalente o superior a la del Tipo 429 sin contener elementos costosos tales como Mo y W desarrollando una técnica que pueda evitar una disminución de la resistencia a la oxidación por la adición de Cu. En la presente invención, el término "excelente en resistencia a la fatiga térmica y resistencia a la oxidación" significa que presenta características que son equivalentes o superiores a las del SUS444 y, en particular, que la resistencia a la oxidación a 950 °C y la resistencia a la fatiga térmica en una carga térmica cíclica entre 100 °C y 850 °C son equivalentes o superiores a las del SUS444. Además, el término "tenacidad que es equivalente a la del Tipo 429" significa que la relación de superficies de fractura frágil de una lámina de acero laminada en frío con un grosor de 2 mm es equivalente a la del Tipo 429 en una prueba de impacto Charpy a - 40 °C.

Descripción de la invención

60 La presente invención dispone un acero inoxidable ferrítico, que incluye C: 0,015% en masa o menos, Si: 0,5% en masa o menos, Mn: 0,5% en masa o menos, P: 0,04% en masa o menos, S: 0,006% en masa o menos, Cr : de 16 a 20% en masa, N: 0,015% en masa o menos, Nb: de 0,3 a 0,55% en masa, Ti: 0,01% en masa o menos, Mo: 0,1%

en masa o menos, W: 0,1% en masa o menos, Cu: 1,0 a 2,5% en masa, Al: 0,2 a 1,2% en masa, y el resto de Fe e impurezas inevitables.

5 El acero inoxidable ferrítico de la presente invención puede incluir, además, uno o más seleccionados del grupo que consiste en B: 0,003% en masa o menos, REM: 0,08% en masa o menos, Zr: 0,5% en masa o menos, V: 0,5% en masa o menos, Co: 0,5% en masa o menos, y Ni: 0,5% en masa o menos, además de la composición de componentes mencionada anteriormente.

10 De acuerdo con la presente invención, puede obtenerse un acero inoxidable ferrítico que tiene una resistencia térmica (resistencia a la fatiga térmica y resistencia a la oxidación) que es equivalente o superior a la del SUS444 y también una tenacidad equivalente o superior a la del Tipo 429 (se hace referencia al acero nº 29 de la tabla 1 por sus componentes representativos) a bajo coste sin contener en el mismo Mo o W costoso. Por lo tanto, el acero de la presente invención puede aplicarse adecuadamente a los elementos del sistema de escape de un automóvil.

15 **Breve descripción de los dibujos**

[Figura 1] La figura 1 es una vista 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.

20 [Figura 3] La figura 3 es una gráfica que muestra un efecto del contenido de Cu en la resistencia a la fatiga térmica.

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

[Figura 5] La figura 5 es una gráfica que muestra un efecto del contenido de Al en la resistencia a la oxidación (cantidad de desprendimiento de escamas).

25 [Figura 6] La figura 6 es una gráfica que muestra un efecto del contenido de Si en la resistencia a la oxidación (cantidad de desprendimiento de escamas).

[Figura 7] La figura 7 es una gráfica que muestra un efecto del contenido de Mn en la tenacidad (relación de superficies de fractura frágil).

30 [Figura 8] La figura 8 es una gráfica que muestra un efecto del contenido de Al en la tenacidad (relación de superficies de fractura frágil).

[Figura 9] La figura 9 es una gráfica que muestra un efecto del contenido de Ti en la tenacidad (relación de superficies de fractura frágil).

35 **Mejores modos de llevar a cabo la invención**

Los presentes inventores han investigado intensamente para desarrollar un acero inoxidable ferrítico que sea excelente en resistencia a la fatiga térmica y en resistencia a la oxidación y que también sea excelente en tenacidad, sin incluir elementos costosos tales como Mo o W en el mismo, mientras se evita una disminución de la resistencia a la oxidación debido a la adición de Cu, lo cual es un problema en las técnicas convencionales. Como resultado, se ha encontrado que se obtiene una elevada resistencia a altas temperaturas en una amplia gama de temperaturas y se aumenta la resistencia a la fatiga térmica por la adición combinada de Nb en el intervalo entre un 0,3 y un 0,55% en masa y Cu en el intervalo entre un 1,0 y un 2,5 % en masa; que la disminución de la resistencia a la oxidación debido a la adición de Cu puede evitarse añadiendo Al en el intervalo de un 0,2% en masa o más; y que, por lo tanto, puede obtenerse una resistencia térmica (resistencia a la fatiga térmica y resistencia a la oxidación) que es equivalente o superior a la del SUS444 controlando las cantidades de Nb, Cu, y Al en los intervalos apropiados mencionados anteriormente. Además, se ha encontrado que la resistencia al desprendimiento de escamas en una prueba de oxidación cíclica de aceros que contienen Cu y Al puede mejorarse mediante la optimización de la cantidad de adición de Si (un 0,5% en masa o menos); y que la resistencia puede aumentarse a un nivel equivalente o superior a la del Tipo 429 mediante la optimización de las cantidades de adición de Mn, Al, y Ti (Mn: 0,5% en masa o menos, Al: 1,2% en masa o menos, Ti: 0,01% en masa o menos). De este modo se ha realizado la presente invención.

En primer lugar, se describirán los experimentos básicos que dan lugar al desarrollo de la presente invención.

55 Se formaron en lingotes en laboratorio aceros preparados añadiendo Cu en diferentes cantidades a una base que presentaba una composición de componentes que consistía en C: de 0,005 a 0,007% en masa, N: de 0,004 a 0,006% en masa, Si: 0,3% en masa, Mn: 0,2% en masa, Cr: 17% en masa, Nb: 0,45% en masa, y Al: 0,35% en masa, para dar lingotes de acero de 50 kg. Los lingotes de acero se calentaron a 1170 °C y después se laminaron en caliente en barras de chapa con un grosor de 30 mm y una anchura de 150 mm. Después, las barras de chapa se forjaron en forma de barras que presentaban una sección transversal de 35x35 mm. Las barras fueron recocidas a 60 1030 °C y luego mecanizadas para producir muestras de prueba de fatiga térmica que tenían el tamaño mostrado en la figura 1. Después, tal como se muestra en la figura 2, a las muestras se les aplicó un tratamiento térmico cíclico en el cual se repitió calentamiento y enfriamiento entre 100 °C y 850 °C en una relación de restricción de 0,35 y se

midieron para determinar su resistencia a la fatiga térmica. Por lo demás, la resistencia a la fatiga térmica se determinó como el menor número de ciclos hasta que una tensión, que se calculó dividiendo una carga detectada a 100 °C por la sección transversal de una parte paralela sumergida de la muestra de prueba mostrada en la figura 1, comienza a disminuir continuamente respecto a la tensión de un ciclo anterior. Esto es equivalente al número de ciclos hasta que se producen grietas en la muestra de prueba. Por comparación, el SUS444 (acero que contiene Cr: 18% en masa, Mo: 2% en masa, y Nb: 0,5% en masa) se sometió a la misma prueba.

La figura 3 muestra los resultados de la prueba de fatiga térmica. A partir de esta figura, se confirma que añadiendo Cu en una cantidad de un 1,0% en masa o más, se obtiene una resistencia a la fatiga térmica equivalente o superior a la resistencia a la fatiga térmica (aproximadamente 1100 ciclos) del SUS444, y, por tanto, que la adición de Cu en una cantidad de un 1% en masa o más es eficaz para mejorar la resistencia a la fatiga térmica.

A continuación se formaron en lingotes en laboratorio aceros preparados añadiendo Al en cantidades diferentes a una base que presentaba una composición de componentes que consistía en C: 0,006% en masa, N: 0,007% en masa, Mn: 0,2% en masa, Si: 0,3% en masa, Cr: 17% en masa, Nb: 0,49% en masa, y Cu: 1,5% en masa, para dar lingotes de acero de 50 kg. Los lingotes de acero se sometieron a laminado en caliente, recocido de láminas laminadas en caliente, laminado en frío y recocido de acabado para formarse en láminas laminadas en frío recocidas que tenían un grosor de 2 mm. Se cortaron unas muestras de prueba de 30x20 mm a partir de las láminas de acero laminadas en frío así obtenidas. Después, en cada una de las muestras de prueba se formó un orificio de 4 mm ϕ en la parte superior de las mismas. Después, la superficie frontal y la superficie extrema de cada muestra se pulieron con papel de lija del nº 320, y la muestra se desengrasó y se sometió a las siguientes pruebas.

<Prueba de oxidación continua en aire>

La muestra de prueba se mantuvo durante 300 horas en un horno de aire atmosférico calentado a 950 °C. Después, se midió la diferencia de masa de la muestra de prueba antes y después de la prueba de calentamiento para determinar la ganancia de peso por oxidación por unidad de superficie (g/m²).

< Prueba de oxidación cíclica en aire >

La muestra de prueba se sometió a 600 ciclos de tratamiento térmico cíclico en el cual se llevó a cabo un calentamiento a 950 °C durante 25 minutos y un enfriamiento a 100 °C durante 1 minuto en el aire. Entonces, la cantidad de escamas (g/m²) de fragmentos desprendidos de la superficie de la muestra de prueba se determinó a partir de la diferencia de masa entre antes y después de la prueba. Por lo demás, la velocidad de calentamiento y la velocidad de enfriamiento en la prueba fueron de 5 °C/seg. y 1,5 °C/seg., respectivamente.

La figura 4 muestra los resultados de la medición de la ganancia de peso por oxidación. La figura 5 muestra los resultados de la medición de la cantidad de desprendimiento de escamas. A partir de estos resultados se confirma que se obtiene una resistencia a la oxidación equivalente o superior a la del SUS444 (aumento de peso por oxidación: 27 g/m² o menos, cantidad desprendimiento de escamas: menos de 4 g/m²) añadiendo Al en una cantidad de un 0,2% en masa o más.

A continuación se formaron en lingotes en laboratorio aceros preparados añadiendo Si en diferentes cantidades a una base que presentaba una composición de componentes que consistía en C: 0,006% en masa, N: 0,007% en masa, Mn: 0,2% en masa, Al: 0,45% en masa, Cr: 17% en masa, Nb: 0,49% en masa, y Cu: 1,5% en masa para dar lingotes de acero de 50 kg. Después, se prepararon láminas laminadas en frío recocidas con un grosor de 2 mm tal como se ha indicado anteriormente y se sometieron a una prueba de oxidación cíclica tal como se ha indicado anteriormente y se midieron para determinar las cantidades de desprendimiento de escamas. Los resultados se muestran en la figura 6. A partir de los resultados se confirmó que si la cantidad de Si es superior a un 0,5%, incluso si se añade Al en una cantidad apropiada, la adhesión de las escamas disminuye para aumentar, por lo tanto, la cantidad de desprendimiento, lo que provoca que no pueda obtenerse una resistencia térmica equivalente a la del SUS444.

Por último, se formaron en lingotes en laboratorio aceros preparados añadiendo Mn, Al, y Ti en cantidades diferentes a una base que presentaba una composición de componentes que consistía en C: de 0,006 a 0,007% en masa, N: de 0,006 a 0,007% en masa, Si: 0,3% en masa, Cr: 17 en masa %, Nb: 0,45% en masa, y Cu: 1,5% en masa para dar lingotes de acero de 50 kg. Los lingotes de acero se sometieron a laminado en caliente, recocido de láminas laminadas en caliente, laminado en frío y recocido de acabado para formarse en láminas recocidas laminadas en frío con un grosor de 2 mm. Se muestrearon unas muestras de prueba de impacto Charpy con un sub-tamaño a partir de las láminas laminadas en frío recocidas y se sometieron a una prueba de impacto Charpy a -40 ° C para medir la relación de superficies de fractura frágil para evaluar la tenacidad.

ES 2 519 716 T3

La figura 7 muestra los efectos de los contenidos de Mn en la ductilidad cuando las cantidades de Al y Ti son de un 0,25% en masa y un 0,006% en masa, respectivamente; La figura 8 muestra los efectos del contenido de Al en la ductilidad cuando las cantidades de Mn y Ti son de un 0,1% en masa y un 0,005% en masa, respectivamente; y la figura 9 muestra los efectos del contenido de Ti en la ductilidad cuando las cantidades de Al y Mn son de un 0,25% en masa y un 0,1% en masa, respectivamente. A partir de estos resultados se confirmó que para obtener una resistencia equivalente o superior a la del Tipo 429 son necesarias cantidades de Mn: 0,3% en masa o menos, Al: 1,2% en masa o menos, y Ti: 0,01% en masa o menos.

La presente invención se ha logrado a través de una investigación en base a los resultados que se han descrito anteriormente.

A continuación se describirá la composición de componentes del acero inoxidable ferrítico de la presente invención.

C: 0,015% en masa o menos.

El C es un elemento eficaz para aumentar la resistencia de un acero, pero una cantidad mayor de un 0,015% en masa disminuye significativamente la ductilidad y la formabilidad. Por lo tanto, en la presente invención, la cantidad de C es de un 0,015% en masa o menos. Por lo demás, desde el punto de vista de asegurar la formabilidad, se prefiere una cantidad menor de C, y es deseable una cantidad de un 0,008% en masa o menos. Por otra parte, con el fin de asegurar la resistencia requerida en elementos de un sistema de escape, la cantidad de C es preferiblemente de un 0,001% en masa o más. Por lo tanto, la cantidad más preferida se encuentra en el intervalo entre un 0,002 y un 0,008% en masa.

Si: 0,5% en masa o menos.

El Si se añade como material desoxidante. Es preferible que se añada en una cantidad de un 0,05% en masa o más. Además, el Si tiene un efecto mejorar la resistencia a la oxidación, que es el centro de la presente invención, pero el efecto no es muy elevado en comparación a el del Al. Por otra parte, tal como se muestra en la figura 6, la adición de Si en una cantidad en exceso superior a un 0,5% en masa disminuye la resistencia al desprendimiento de escamas por lo que no proporciona una resistencia a la oxidación equivalente o superior a la del SUS444. Por lo tanto, se determina que el límite superior de la cantidad de Si sea de un 0,5% en masa.

Mn: 0,5% en masa o menos.

El Mn es un elemento que aumenta la resistencia de un acero y también tiene un efecto como material desoxidante. Es preferible que la cantidad de adición sea de un 0,05% en masa o más. Sin embargo, una adición en exceso tiende a generar una fase γ a alta temperatura y disminuye la resistencia térmica. Además, tal como se muestra en la figura 7, si la cantidad de adición es superior a un 0,5% en masa, no se obtiene una tenacidad que sea equivalente o superior a la de Tipo 429, y no puede lograrse el objetivo de la presente invención. Por lo tanto, se determina la cantidad de Mn en la presente invención que es de un 0,5% en masa o menos.

P: 0,04% en masa o menos.

El P es un elemento perjudicial que disminuye la ductilidad, y es deseable que la cantidad sea tan baja como sea posible. Por lo tanto, en la presente invención, se determina que la cantidad de P es de un 0,04% en masa o menos y preferiblemente es de un 0,03% en masa o menos.

S: 0,006% en masa o menos

El S es un elemento perjudicial que disminuye la elongación y el valor r y afecta negativamente a la formabilidad y también disminuye la resistencia a la corrosión, que es una propiedad básica de los aceros inoxidables. Por lo tanto, es deseable reducir la cantidad en la medida de lo posible. Por lo tanto, en la presente invención, la cantidad de S es de un 0,006% en masa o menos y preferiblemente de un 0,003% en masa o menos.

Cr: 16 a 20% en masa

El Cr es un elemento importante eficaz para mejorar la resistencia a la corrosión y la resistencia a la oxidación, que son propiedades características de los aceros inoxidables, pero no puede obtenerse una suficiente resistencia a la oxidación si la cantidad es menor de un 16% en masa. Por otra parte, el Cr es un elemento que proporciona una elevada dureza y una baja ductilidad a un acero mediante el refuerzo de una solución sólida del acero a temperatura ambiente. En particular, una cantidad de adición mayor de un 20% en masa hace que los efectos adversos mencionados anteriormente sean importantes, provocando que no pueda obtenerse una trabajabilidad y una tenacidad que sean equivalentes o superiores a las del Tipo 429. Por lo tanto, en la presente invención, la cantidad de Cr está en el intervalo entre un 16 y un 20% en masa, preferiblemente, en el intervalo entre un 16 y un 19% en masa.

N: 0,015% en masa o menos

El N es un elemento que disminuye la tenacidad y la formabilidad de un acero, y una cantidad de adición superior a un 0,015% en masa hace que las disminuciones sean importantes. Por lo tanto, se determina que la cantidad de N

ES 2 519 716 T3

es de un 0,015% en masa o menos. Además, en el caso de requerir una tenacidad superior, la cantidad de N se reduce aún más y es preferiblemente inferior a un 0,010% en masa.

Nb: 0,3 hasta 0,55% en masa

5 El Nb es un elemento que tiene efectos de aumentar la resistencia a la corrosión y la formabilidad y la resistencia a la corrosión intergranular de una zona de soldadura formando un carbonitruro con C y N para fijarlos y también mejorar la resistencia a la fatiga térmica aumentando la resistencia a alta temperatura. Estos efectos se reconocen cuando la cantidad es de un 0,3% en masa o más. Por otra parte, si la cantidad de adición es superior a un 0,55% en masa, una fase de Laves tiende a precipitarse para disminuir la ductilidad. Por lo tanto, la cantidad de Nb se
10 determina en el intervalo entre un 0,3 y un 0,55% en masa y preferiblemente es en el intervalo entre un 0,4 y un 0,5% en masa.

Ti: 0,01% en masa o menos

15 El Ti es un elemento que se adhiere al N de una manera más fácil que el Nb y tiende a formar un TiN grueso. El TiN grueso actúa como una muesca para disminuir significativamente la tenacidad. En particular, tal como se muestra en la figura 9, si el contenido de Ti es mayor de un 0,01% en masa, estos efectos adversos se vuelven importantes. Por lo tanto, en la presente invención, la cantidad de Ti se limita a un 0,01% o menos.

Mo: 0,1% en masa o menos

20 El Mo es un elemento costoso y no se añade voluntariamente en base al objetivo de la presente invención. Sin embargo, puede mezclarse a partir de materias primas tales como chatarra en una cantidad de un 0,1% en masa o menos. Por lo tanto, se determina que la cantidad de Mo es de un 0,1% en masa o menos.

W: 0,1% en masa o menos

25 El W es un elemento costoso similar al Mo y no se añade voluntariamente en base al objetivo de la presente invención. Sin embargo, puede mezclarse a partir de materias primas tales como chatarra en una cantidad de un 0,1% en masa o menos. Por lo tanto, se determina que la cantidad de W es de un 0,1% en masa o menos.

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

30 El Cu es un elemento que es muy eficaz para aumentar la resistencia a la fatiga térmica. Tal como se muestra en la figura 3, para obtener una resistencia a la fatiga térmica que sea equivalente o superior a la del SUS444, es necesaria una cantidad de adición de Cu de un 1,0% en masa o más. Sin embargo, si la cantidad de adición es mayor de un 2,5% en masa, durante el enfriamiento se precipita ϵ -Cu después del tratamiento térmico para de este modo endurecer el acero y provocar fácilmente una fragilización durante el trabajo en caliente. Más importante, aunque la resistencia a la fatiga térmica aumenta por la adición de Cu, la resistencia a la oxidación del acero en sí se reduce bastante. Por lo tanto, la resistencia térmica global puede disminuir. La razón de ello no está suficientemente clara, pero puede deberse a que el Cu se concentra en una capa de de-Cr justo debajo de las escamas generadas para evitar que el Cr, que es un elemento que aumenta la resistencia a la oxidación intrínseca de los aceros inoxidables, vuelva a difundirse. Por lo tanto, se determina la cantidad de Cu en el intervalo entre un 1,0 y un 2,5%
35 en masa, más preferiblemente en el intervalo entre un 1,1 y un 1,8% en masa.

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

40 El Al es, tal como se muestra en las figuras 4 y 5, un elemento indispensable para el aumento de la resistencia a la oxidación de un acero que contiene Cu. En particular, para obtener una resistencia a la oxidación que sea equivalente o superior a la del SUS444, que es un objeto de la presente invención, es necesaria una cantidad de adición de un 0,2% en masa o más. Por otra parte, tal como se muestra en la figura 8, una cantidad superior a la adición de un 1,2% en masa endurece el acero sin obtener una tenacidad equivalente o superior a la del Tipo 429. Por lo tanto, se determina que el límite superior es de un 1,2% en masa, y, preferiblemente, la cantidad se encuentra en el intervalo entre un 0,3 y un 1,0% en masa.

50 El acero inoxidable ferrítico de la presente invención puede incluir uno o más seleccionados del grupo que consiste en B, REM, Zr, V, Co, y Ni en los siguientes intervalos, además de los componentes mencionados anteriormente, como elementos esenciales.

B: 0,003% en masa o menos.

55 El B es un elemento eficaz para mejorar la trabajabilidad, en particular, la segunda trabajabilidad. Este efecto notable puede obtenerse si la cantidad de adición es de un 0,0005% en masa o más, pero una gran cantidad de mayor de un 0,003% en masa precipita BN para reducir la trabajabilidad. Por lo tanto, si se añade B, la cantidad es de un 0,003% en masa o menos, más preferiblemente en el intervalo entre un 0,0005 y un 0,002% en masa.

60 REM: 0,08% en masa o menos, Zr: 0,5% 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, la cantidad de adición de cada

uno es de un 0,01% en masa o más, de un 0,05% en masa o más, respectivamente. Sin embargo, la adición de REM en una cantidad mayor de un 0,08% en masa fragiliza el acero, y la adición de Zr en una cantidad mayor de un 0,5% en masa precipita materiales intermetálicos de Zr para fragilizar el acero. Por lo tanto, si se añade REM, la cantidad está limitada a un 0,08% en masa o menos, y si se añade Zr, la cantidad se limita a un 0,5% en masa o menos.

V: 0,5% en masa o menos

El V es un elemento eficaz para aumentar la trabajabilidad y la resistencia a la oxidación. En particular, la cantidad para obtener el efecto de aumentar la resistencia a la oxidación es preferiblemente de un 0,15% en masa o más. Sin embargo, la adición en una cantidad en exceso mayor de un 0,5% en masa gruesa precipita V (C, N) grueso para deteriorar las propiedades superficiales. Por lo tanto, si se añade V, la cantidad es preferiblemente de un 0,5% en masa o menos, preferiblemente en el intervalo entre un 0,15 y un 0,4% en masa.

Co: 0,5% en masa o menos.

El Co es un elemento eficaz para aumentar la tenacidad, y la cantidad de adición es preferiblemente de un 0,02% en masa o más. Sin embargo, el Co es un elemento costoso, y el efecto se satura cuando la cantidad de adición es superior a un 0,5% en masa. Por lo tanto, si se añade Co, la cantidad es preferiblemente de un 0,5% en masa o menos, más 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 aumenta tenacidad. Para obtener el efecto, la cantidad es preferiblemente de un 0,05% en masa o más. Sin embargo, el Ni es costoso y un fuerte elemento de formación de fase γ . Por lo tanto, se forma una fase γ a alta temperatura para disminuir la resistencia a la oxidación. Por lo tanto, si se añade Ni, la cantidad es preferiblemente de un 0,5% en masa o menos y más preferiblemente en el intervalo entre un 0,05 y un 0,4% en masa.

A continuación, se describirá un procedimiento de fabricación del acero inoxidable ferrítico de la presente invención.

El procedimiento de fabricación del acero inoxidable de la presente invención puede ser cualquier procedimiento de fabricación conocido de un acero inoxidable ferrítico y no está particularmente limitado. Preferiblemente, por ejemplo, una lámina se forma en lingotes en un horno de fusión conocido, tal como un horno convertidor o un horno eléctrico o se somete, además, a un refinado secundario tal como afino en cuchara o un refinado en vacío para que presente la composición de componentes de la presente invención que se ha descrito anteriormente. Después, el acero fundido se forma en un taco (bloque) por colada continua o formación de lingotes por moldeo-desbastado. El bloque se lamina en caliente para obtener una lámina laminada en caliente y, según sea necesario, la lámina se somete a un recocido de la lámina laminada en caliente. La lámina laminada en caliente se somete, además, a un procesamiento tal como decapado, laminado en frío, recocido de acabado, y decapado para dar una lámina laminada en frío recocida. El laminado en frío puede realizarse una vez o dos veces entre los cuales haya un recocido medio, y cada etapa de laminado en frío, de recocido de acabado, y de decapado puede llevarse a cabo repetidamente. Además, en algunos casos, el recocido de la lámina laminada en caliente puede omitirse. Si se requiere que la lámina de acero presente un brillo superficial, después del laminado en frío o el recocido de acabado puede realizarse un acabado. Además, es preferible que la temperatura de calentamiento del bloque antes del laminado en caliente se encuentre en el intervalo entre 1000 y 1250 °C, que la temperatura de recocido de la lámina laminada en caliente se encuentre en el intervalo entre 900 y 1100 °C, y que la temperatura de recocido de acabado se encuentre en el intervalo entre 900 y 1120 °C.

El acero inoxidable ferrítico de la presente invención así obtenido se somete a continuación a un procesamiento, tal como corte, trabajo de flexión, o trabajo de prensado, de acuerdo con las finalidades respectivas, para obtener diversos tipos de elementos del sistema de escape que se utilizan en entornos de altas temperaturas, tales como tubos de escape de automóviles y motocicletas y conductos de aire de escape de carcasas de convertidores y plantas de energía termoeléctrica. Además, el acero inoxidable de la presente invención utilizado en los elementos mencionados anteriormente no se limita a láminas laminadas en frío recocidas y puede utilizarse como una lámina laminada en caliente o una lámina laminado en caliente recocida y, además, puede utilizarse después de tratamiento de eliminación de escamas según sea necesario. Además, el procedimiento de soldadura para montar los elementos mencionados anteriormente no está limitado particularmente y puede utilizarse, por ejemplo, soldadura de arco común tal como soldadura con metal y gas inerte (MIG), con metal y gas activo (MAG), con tungsteno y gas inerte (TIG), soldadura de resistencia tal como soldadura por puntos y soldadura longitudinal, y un procedimiento utilizado en soldadura de resistencia a alta frecuencia, soldadura de inducción a alta frecuencia, soldadura por láser.

Ejemplo 1

Se formaron en lingotes aceros n° 1 a 27 que tienen las composiciones de componentes que se muestran en la tabla 1 en un horno de fusión al vacío para dar lingotes de acero de 50 kg. Cada lingote de acero se dividió en dos

lingotes de acero mediante forjado. Después, se calentó un lingote de acero de los dos a 1170 °C y luego fue laminado en caliente para formar una lámina laminada en caliente con un grosor de 5 mm. La lámina se sometió a recocido de la lámina laminada en caliente a 1020 °C, decapado, laminado en frío en una corriente de un 60%, recocido de acabado a 1030 °C, enfriamiento a una velocidad de enfriamiento media de 20 °C/seg., y decapado para formar una lámina laminada en frío recocida con un grosor de 2 mm. La lámina resultante se sometió a la prueba de resistencia a la oxidación y a la prueba de impacto siguientes. Por lo demás, como referencia, se produjeron láminas laminadas en frío recocidas tal como se ha descrito anteriormente a partir de SUS444, Tipo 429, y aceros descritos en WO2003/004714 y la solicitud de patente japonesa no examinada nº 2006-117985 y 2000-297355, mostrados como nº 28 a 32 de la tabla 1, y se sometieron a las mismas pruebas de evaluación.

<Prueba de oxidación continua en aire>

Se cortaron unas muestras de prueba de 30x20 mm de las diferentes láminas laminadas en frío recocidas así obtenidas y en cada una se formó un orificio de 4 mm ϕ en la parte superior de la misma. Después, la superficie frontal y la superficie extrema de cada muestra se pulieron con papel de lija del nº 320, y la muestra se desengrasó y después se suspendió en un horno de aire atmosférico calentado a 950 °C y se mantuvo durante 300 horas. Después de la prueba, se midió la masa de la muestra, y se determinó la diferencia a partir de la masa medida previamente antes de la prueba para calcular la ganancia de peso por oxidación (g/m²). Por lo demás, la prueba se realizó dos veces, y se utilizó el valor medio para evaluar la resistencia a la oxidación continua.

<Prueba de oxidación cíclica en aire >

Se cortaron unas muestras de prueba de 30x20 mm de las diferentes láminas laminadas en frío recocidas y en cada una se formó un orificio de 4 mm ϕ en la parte superior de la misma. Después, la superficie frontal y la superficie extrema de cada muestra se pulieron con papel de lija del nº 320, y la muestra se desengrasó y después se sometió a una prueba de oxidación en la que se repitió calentamiento y enfriamiento entre 100 °C y 950 °C en aire. La velocidad de calentamiento y la velocidad de enfriamiento fueron 5° C/seg. y 1,5°C/seg., respectivamente, y los tiempos de mantenimiento fueron de 1 minuto a 100 °C y de 25 minutos a 950 °C, y esto se repitió 600 ciclos. En la evaluación de la resistencia a la oxidación cíclica se midió la masa de la muestra después de la prueba, y se determinó la diferencia a partir de la masa medida previamente antes de la prueba para calcular la cantidad desprendimiento de escamas (g/m²). Por lo demás, la prueba se realizó dos veces, y el valor medio se utilizó para evaluar la resistencia a la oxidación cíclica.

<Prueba de impacto Charpy>

Se muestrearon tres muestras de prueba de impacto Charpy cada una provista de una muesca en V perpendicular a la dirección de laminado de cada una de las diferentes láminas laminadas en frío recocidas y se sometieron a una prueba de impacto Charpy a -40 °C. Se midieron las relaciones de superficie de fractura frágil de las tres, y se determinó el valor medio de las mismas para evaluar la tenacidad.

Ejemplo 2

El lingote de acero restante de los dos que se obtuvo dividiendo el lingote de acero de 50 kg en el ejemplo 1 se calentó a 1170 °C y luego se laminó en caliente una barra de chapa que tenía un grosor de 30 mm y una anchura de 150 mm. Después, la barra de chapa se forjó en una barra cuadrada de 35 mm. La barra fue recocida a 1030 °C y luego fue mecanizada para producir una muestra de prueba de fatiga térmica que presentaba el tamaño mostrado en la figura 1. Después, la muestra se sometió a la siguiente prueba de fatiga térmica. Al igual que en el ejemplo 1, las muestras se produjeron de manera similar a SUS444, Tipo 429, y los aceros descritos en WO2003/004714 y la publicación de la solicitud de patente japonesa no examinada nº 2006-117985 y 2000-297355, como referencia, y se sometieron a la prueba de fatiga térmica.

<Prueba de fatiga térmica >

En una prueba de fatiga térmica, se repitió el calentamiento y el enfriamiento entre 100 °C y 850 °C a una relación de restricción de 0,35, y se midió la resistencia a la fatiga térmica. En esta prueba, la velocidad de calentamiento y la velocidad de enfriamiento fueron cada una de 10 °C/s, y los tiempos de mantenimiento fueron de 2 minutos a 100 °C y de 5 minutos a 850 °C. Por lo demás, la resistencia a la fatiga térmica se determinó como el menor número de ciclos hasta que una tensión, que se calcula dividiendo una carga detectada a 100 °C por la sección transversal de una parte paralela sumergida de la muestra de prueba, empezó a disminuir de manera continua respecto a la tensión de un ciclo anterior.

En la tabla 2 se muestran conjuntamente los resultados de la prueba de oxidación de permanencia en el aire, la prueba de oxidación cíclica en el aire, y la prueba de impacto Charpy del ejemplo 1 y los resultados de la prueba de

5 fatiga térmica del ejemplo 2. Tal como se desprende de la tabla 2, todos los aceros adaptados a la presente invención presentan unas propiedades de resistencia a la oxidación y una propiedades de resistencia a la fatiga térmica que son equivalentes o superiores a las de SUS444 y una resistencia equivalente o superior a la del Tipo 429 y, por lo tanto, cumplen el propósito de la presente invención. Por otra parte, cualquiera de los aceros de los ejemplos comparativos que están fuera del alcance de la presente invención y los aceros de los ejemplos de referencia de acuerdo con la tecnología conocida no es excelente, al mismo tiempo, en todas las propiedades de resistencia a la oxidación, las propiedades de resistencia a la fatiga térmica, y la tenacidad del material base y no presenta propiedades que son el objeto de la presente invención.

10 **Aplicabilidad industrial**

15 El acero de la presente invención puede utilizarse adecuadamente no sólo en elementos del sistema de escape de, por ejemplo, automóviles, sino también en elementos del sistema de escape de sistemas de energía termoeléctrica y elementos de celdas de combustible de celdas de combustible de óxido sólido, que se requiere que tengan propiedades similares.

Tabla 1-1

Acero nº	Componente químico (% en masa)														Notas
	C	Si	Mn	Al	P	S	Cr	Cu	Nb	Ti	Mo	W	N	Otros	
1	0.006	0.19	0.13	0.37	0.032	0.004	17.5	1.35	0.43	0.006	0.02	0.04	0.008	-	Ejemplo
2	0.005	0.35	0.28	0.51	0.026	0.002	17.3	1.56	0.41	0.002	0.03	0.01	0.007	-	Ejemplo
3	0.005	0.27	0.33	0.48	0.022	0.001	17.7	1.46	0.48	0.006	0.02	0.01	0.011	-	Ejemplo
4	0.008	0.28	0.11	0.44	0.032	0.001	17.4	1.92	0.49	0.001	0.03	0.02	0.005	-	Ejemplo
5	0.005	0.07	0.42	0.84	0.022	0.002	16.3	1.32	0.41	0.003	0.01	0.04	0.006	-	Ejemplo
6	0.003	0.38	0.28	0.61	0.029	0.004	17.8	1.55	0.37	0.004	0.02	0.03	0.007	-	Ejemplo
7	0.006	0.22	0.44	0.47	0.022	0.002	18.2	1.91	0.46	0.007	0.02	0.02	0.007	-	Ejemplo
8	0.007	0.17	0.23	0.47	0.029	0.003	17.2	1.39	0.45	0.004	0.01	0.01	0.008	B/0.0009 V/0.051	Ejemplo
9	0.008	0.39	0.18	0.35	0.026	0.002	17.9	1.42	0.44	0.001	0.03	0.01	0.004	Co/0.13 B/0.0011	Ejemplo
10	0.004	0.27	0.26	0.55	0.031	0.002	17.7	1.39	0.43	0.003	0.02	0.03	0.006	Zr/0.08	Ejemplo
11	0.006	0.29	0.39	0.31	0.027	0.005	18.9	1.46	0.46	0.002	0.04	0.02	0.003	Ni/0.21 Zr/0.10	Ejemplo
12	0.008	0.17	0.08	0.41	0.021	0.002	17.4	1.38	0.41	0.003	0.02	0.03	0.004	Co/0.09 REM/0.031	Ejemplo
13	0.006	0.31	0.35	0.14	0.030	0.002	17.1	1.46	0.44	0.006	0.01	0.02	0.009	-	Ejemplo comparativo
14	0.008	0.23	0.66	1.62	0.028	0.004	17.7	1.61	0.49	0.004	0.05	0.01	0.008	-	Ejemplo comparativo
15	0.006	0.32	0.55	0.69	0.028	0.003	17.4	0.87	0.51	0.004	0.02	0.01	0.009	-	Ejemplo comparativo
16	0.011	0.82	0.41	0.72	0.020	0.002	17.1	1.21	0.44	0.009	0.04	0.02	0.004	-	Ejemplo comparativo
17	0.007	0.34	0.15	1.19	0.029	0.003	17.4	1.58	0.42	0.095	0.03	0.02	0.005	-	Ejemplo comparativo
18	0.005	0.21	0.37	1.24	0.031	0.002	17.3	1.45	0.44	0.002	0.02	0.04	0.007	-	Ejemplo comparativo

Tabla 1-2

Acero nº	Componente químico (% en masa)															Notas
	C	Si	Mn	Al	P	S	Cr	Cu	Nb	Ti	Mo	W	N	Otros		
19	0.007	<u>0.71</u>	0.11	0.38	0.027	0.001	17.5	1.28	0.48	0.007	0.04	0.02	0.006	-	Ejemplo comparativo	
20	0.008	0.14	<u>0.71</u>	0.47	0.031	0.003	17.1	1.66	0.39	0.003	0.01	0.02	0.007	-	Ejemplo comparativo	
21	0.006	0.33	0.22	0.57	0.025	0.001	18.1	<u>0.72</u>	0.41	0.002	0.05	0.02	0.005	-	Ejemplo comparativo	
22	0.005	0.29	0.28	0.44	0.030	0.002	17.9	1.54	0.44	<u>0.11</u>	0.03	0.03	0.008	-	Ejemplo comparativo	
23	0.007	0.23	0.25	0.47	0.027	0.002	17.6	1.18	0.44	0.003	0.06	0.02	0.008	V:0.18	Ejemplo	
24	0.003	0.09	0.12	0.46	0.025	0.003	17.5	1.26	0.42	0.008	0.05	0.03	0.007	V:0.22	Ejemplo	
25	0.006	0.32	0.34	0.46	0.024	0.002	17.7	1.22	0.46	0.005	0.06	0.02	0.005	V:0.38	Ejemplo	
26	0.007	0.27	0.15	0.53	0.027	0.003	19.1	1.28	0.45	0.004	0.05	0.02	0.007	V:0.20	Ejemplo	
27	0.005	0.03	0.11	0.51	0.024	0.002	18.2	1.19	0.45	0.006	0.05	0.03	0.006	V:0.23	Ejemplo	
28	0.008	0.31	0.42	0.019	0.031	0.003	18.7	0.02	0.52	0.003	1.87	0.02	0.008	-	SUS444	
29	0.007	0.87	0.33	0.028	0.029	0.004	14.5	0.03	0.45	0.007	0.03	0.02	0.008	-	Tipo429	
30	0.008	0.32	0.05	0.01	0.028	0.002	17.02	1.93	0.33	0.002	0.01	0.02	0.010	Ni/0.10 V/0.10	Ejemplo de referencia 1	
31	0.009	0.46	0.54	0.002	0.029	0.003	18.90	1.36	0.35	0.08	0.01	0.02	0.007	Ni/0.10 V/0.03 B/0.0030	Ejemplo de referencia 2	
32	0.006	0.22	0.05	0.052	0.005	0.0052	18.8	1.65	0.42	0.09	0.02	0.02	0.006	Ni/0.15	Ejemplo de referencia 3	

Nota

Ejemplo de referencia 1: Acero nº 3 de WO2003/004717

Ejemplo de referencia 2: Acero nº 7 de la publicación de la solicitud de patente japonesa no examinada nº 2006-117985

Ejemplo de referencia 3: Acero nº 5 de la publicación de la solicitud de patente japonesa no examinada nº 2000-297355

Tabla 2

Acero nº	Resistencia térmica		Resistencia a la fatiga térmica (ciclo)	Relación de superficies de fractura frágil a -40 °C (%)	Notas
	Ganancia de peso por oxidación (g/m ²)	Cantidad de desprendimiento de escamas (g/m ³)			
1	21	3	1230	<5	Ejemplo
2	20	2	1330	<5	Ejemplo
3	21	2	1300	<5	Ejemplo
4	21	2	1500	<5	Ejemplo
5	17	<0.1	1230	<5	Ejemplo
6	20	1	1320	<5	Ejemplo
7	21	2	1510	<5	Ejemplo
8	21	2	1260	<5	Ejemplo
9	22	3	1280	<5	Ejemplo
10	20	1	1250	<5	Ejemplo
11	22	3	1290	<5	Ejemplo
12	21	2	1250	<5	Ejemplo
13	<u>80</u>	<u>10</u>	1290	<5	Ejemplo comparativo
14	11	<0.1	1400	<u>50</u>	Ejemplo comparativo
15	14	1	<u>820</u>	<5	Ejemplo comparativo
16	18	<u>5</u>	1210	<5	Ejemplo comparativo
17	15	<0.1	1350	<u>15</u>	Ejemplo comparativo
18	15	<0.1	1300	<u>15</u>	Ejemplo comparativo
19	21	<u>10</u>	1210	<5	Ejemplo comparativo
20	21	2	1380	<u>15</u>	Ejemplo comparativo
21	20	1	700	<5	Ejemplo comparativo
22	21	2	1320	<u>20</u>	Ejemplo comparativo
23	15	1	1200	<5	Ejemplo
24	15	1	1230	<5	Ejemplo
25	14	0.9	1210	<5	Ejemplo
26	15	1	1240	<5	Ejemplo
27	15	1	1210	<5	Ejemplo
28	27	4	1120	<u>10</u>	SUS444
29	<u>51</u>	25	<u>500</u>	<5	Tipo429
30	>100	>100	1480	<5	Ejemplo de referencia 1
31	>100	>100	1240	<10	Ejemplo de referencia 2
32	>100	>100	1400	<10	Ejemplo de referencia 3

Nota Ejemplo de referencia 1: Acero nº 3 de WO2003/004714

Ejemplo de referencia 2: Acero nº 7 de la publicación de la solicitud de patente japonesa no examinada nº 2006-117985

Ejemplo de referencia 3: Acero nº 5 de la publicación de la solicitud de patente japonesa no examinada nº 2000-297355

REIVINDICACIONES

5 1. Acero inoxidable ferrítico que comprende C: 0,015% en masa o menos, Si: 0,5% en masa o menos, Mn: 0,5% en masa o menos, P: 0,04% en masa o menos, S: 0,006% en masa o menos, Cr: 16 a 20% en masa, N: 0,015% en masa o menos, Nb: 0,3 a 0,55% en masa, Ti: 0,01% en masa o menos, Mo: 0,1% en masa o menos, W: 0,1% en masa o menos, Cu: 1,0 a 2,5% en masa, Al: 0,2 a 1,2% en masa, y el resto de Fe e impurezas inevitables.

10 2. Acero inoxidable ferrítico según la reivindicación 1, que comprende, además, uno o más seleccionados del grupo que consiste en B: 0,003% en masa o menos, REM: 0,08% en masa o menos, Zr: 0,5% en masa o menos, V: 0,5% en masa o menos, Co: 0,5% en masa o menos, y Ni: 0,5% en masa o menos, además de la composición de componentes.

FIG. 1

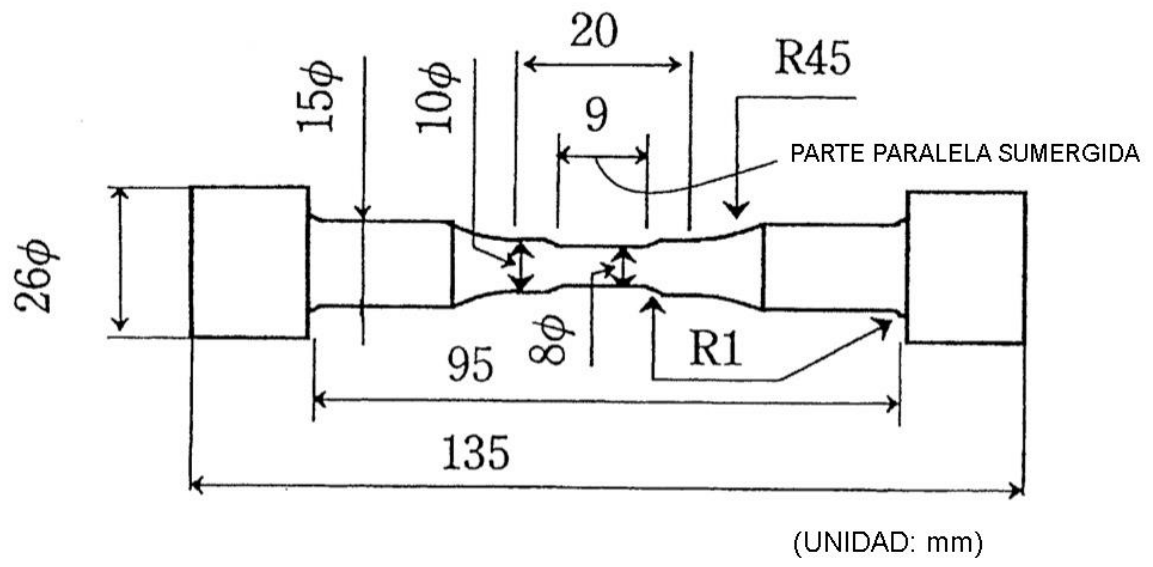


FIG.2

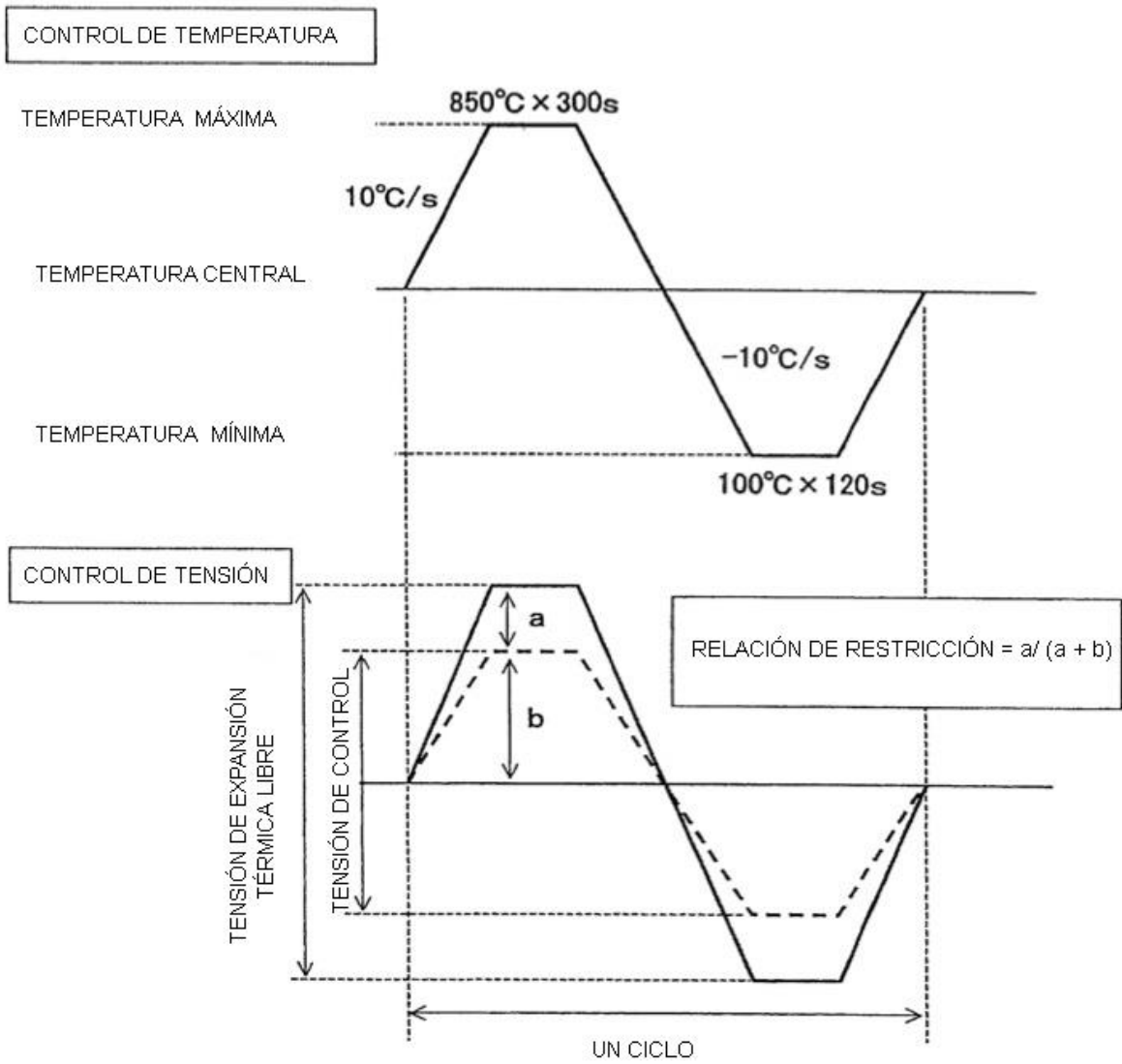


FIG. 3

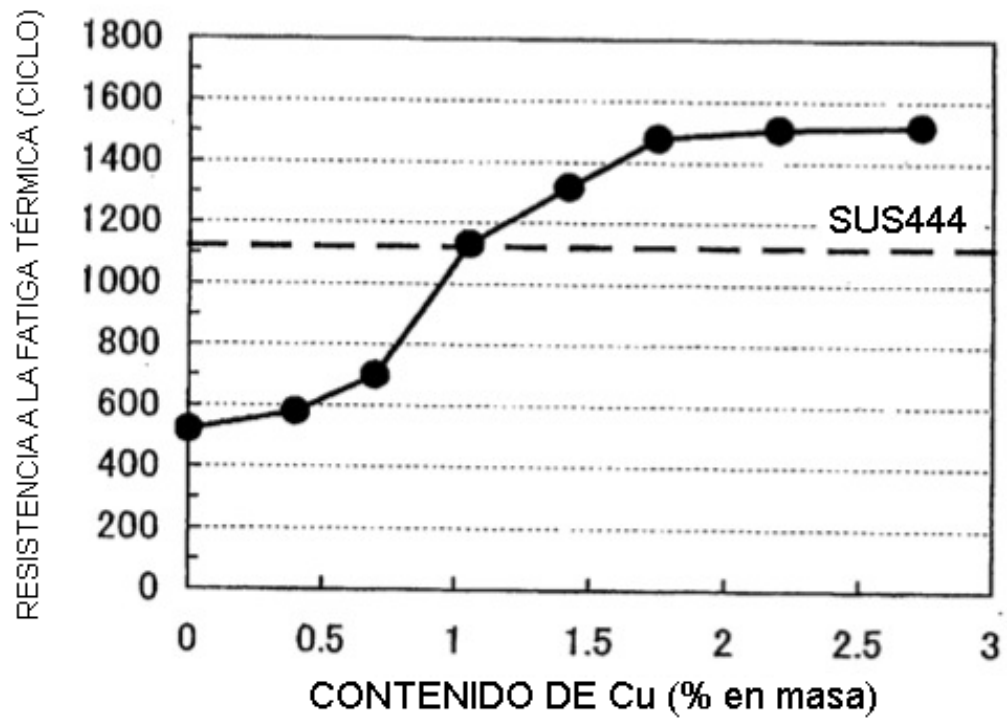


FIG. 4

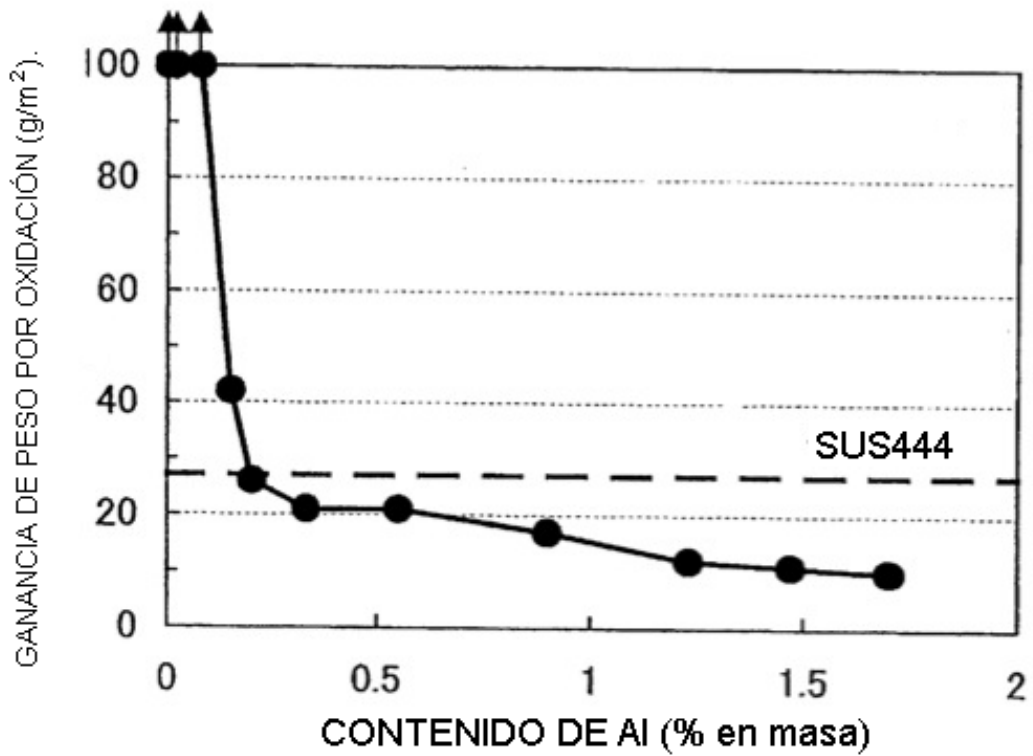


FIG. 5

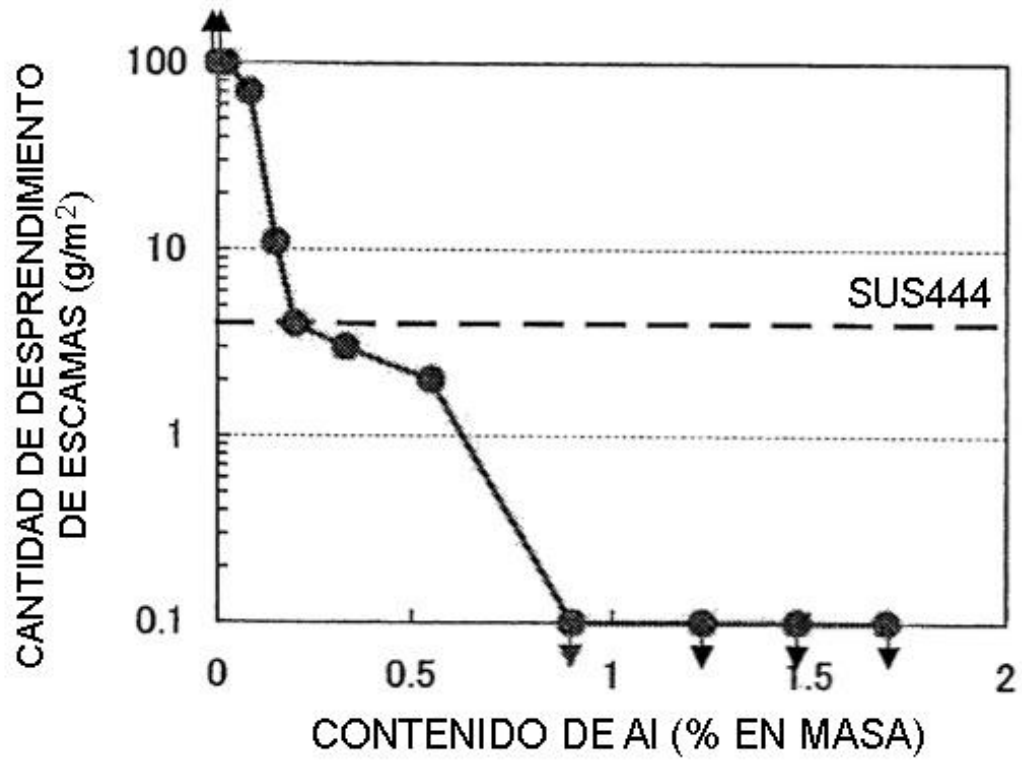


FIG. 6

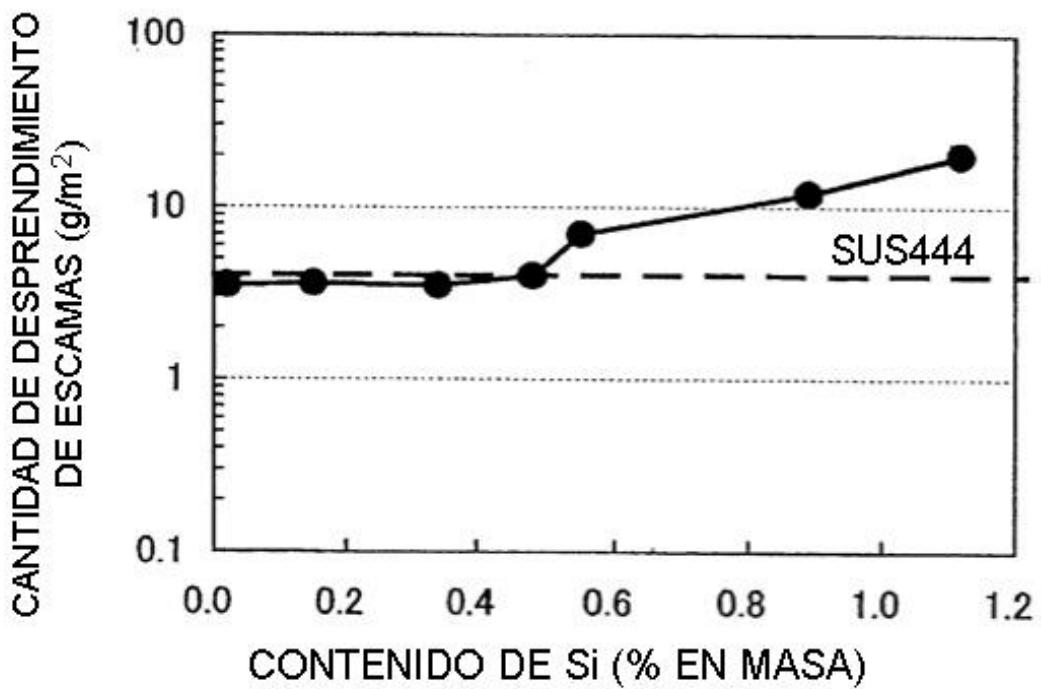


FIG. 7

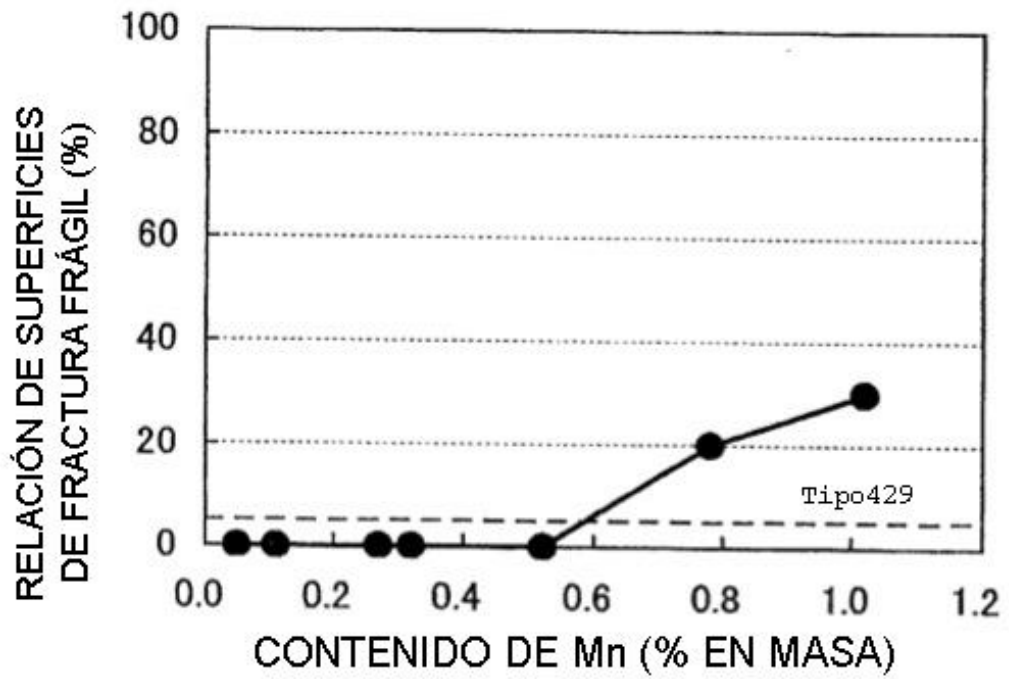


FIG. 8

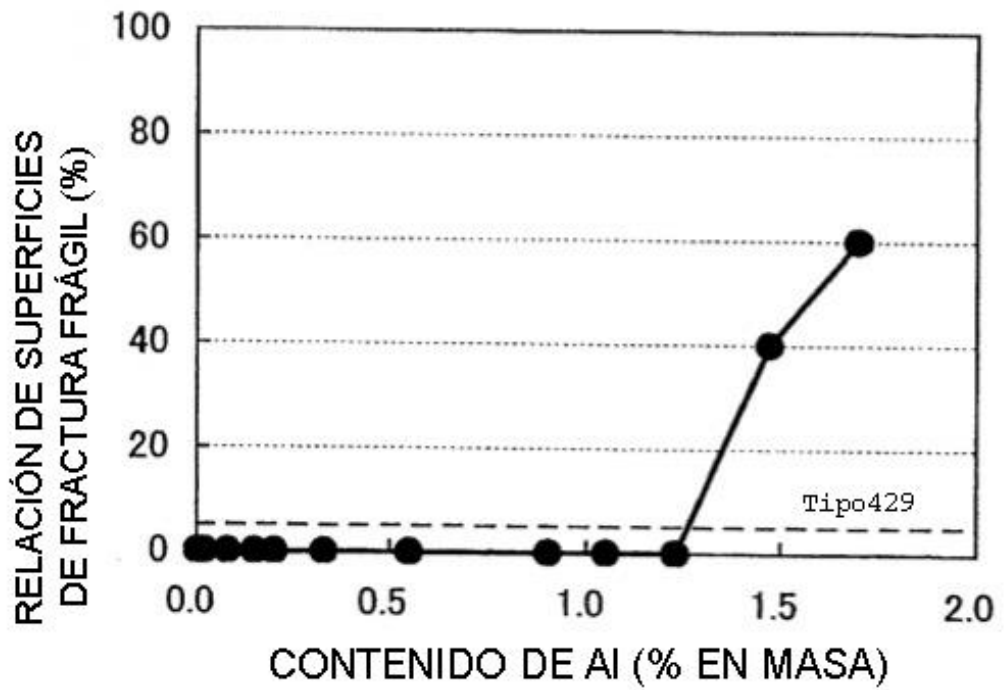


FIG. 9

