

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 673 216**

51 Int. Cl.:

C21D 6/00	(2006.01)	C22C 38/44	(2006.01)
C22C 38/40	(2006.01)	C22C 38/46	(2006.01)
F01N 13/00	(2010.01)	C22C 38/48	(2006.01)
F01N 13/16	(2010.01)	C22C 38/50	(2006.01)
C22C 38/52	(2006.01)	C22C 38/54	(2006.01)
C22C 38/00	(2006.01)	C21D 9/46	(2006.01)
C22C 38/02	(2006.01)	C21D 7/13	(2006.01)
C22C 38/04	(2006.01)	C21D 8/02	(2006.01)
C22C 38/06	(2006.01)	G01N 3/32	(2006.01)
C22C 38/42	(2006.01)		

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **23.05.2013 PCT/JP2013/003282**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **05.12.2013 WO13179616**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.05.2013 E 13796603 (2)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.04.2018 EP 2857538**

54 Título: **Acero inoxidable ferrítico**

30 Prioridad:

28.05.2012 JP 2012120531
24.09.2012 JP 2012209012

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
20.06.2018

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

NAKAMURA, TETSUYUKI;
OTA, HIROKI y
OGATA, HIROYUKI

74 Agente/Representante:

MILTENYI, Peter

ES 2 673 216 T3

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

DESCRIPCIÓN

Acero inoxidable ferrítico

Campo técnico

5 La presente invención se refiere a acero inoxidable ferrítico que tiene excelentes propiedades de adhesión de cascarilla y fatiga térmica.

Técnica anterior

10 De los componentes del sistema de escape de automóviles, en particular, un colector de escape, que está conectado directamente a un motor, se usa en condiciones intensas en las que la temperatura de servicio máxima alcanza hasta de 800°C a 900°C. Debido a la necesidad de excelentes propiedades de fatiga térmica, se usa principalmente acero inoxidable ferrítico que contiene niobio como material. Las temperaturas experimentadas por los colectores de escape han aumentado, particularmente en los últimos años, debido a las tendencias de mayor eficiencia de combustible y gases de escape limpios para lidiar con problemas ambientales. Por tanto, ha habido una demanda de una mejora adicional en las propiedades de fatiga térmica de acero inoxidable que es el material.

15 El niobio añadido a acero inoxidable ferrítico mejora las propiedades de fatiga térmica disolviéndose en el acero para aumentar la resistencia mecánica a altas temperaturas. Sin embargo, el niobio forma fácilmente carbonitruro con carbono y nitrógeno presentes en el acero. Por consiguiente, a menudo se da el caso de que la cantidad de niobio soluto disminuye y se producen bajas propiedades de fatiga térmica. El simple aumento en la cantidad de niobio añadido para resolver este problema da como resultado un deterioro en la trabajabilidad del acero. Por tanto, se añade titanio, que tiene una mayor afinidad por carbono y nitrógeno que la de niobio, en combinación con niobio para inducir que carbono y nitrógeno formen carbonitruro de titanio, evitando así la formación de carbonitruro de niobio. Un ejemplo típico de tales aceros que implican la adición combinada de niobio y titanio es el acero inoxidable ferrítico tipo 441 (el 18% de Cr-el 0,5% de Nb-el 0,2% de Ti) (EN10088-2:EN1.4509). Este acero se usa ampliamente para colectores de escape de automóviles.

25 Sin embargo, los aceros inoxidables ferríticos con complejo Nb-Ti añadido tienden a incurrir de manera problemática en el desconchado de cascarilla (películas de óxido) cuando experimentan ciclos repetidos de calentamiento a alta temperatura y enfriamiento, concretamente, oxidación cíclica. Debido a que los colectores de escape se someten a condiciones de oxidación cíclica intensas debido a la repetición de calentamiento y enfriamiento rápido cada vez que se arranca y se para el motor, el desconchado de cascarilla expone el acero base directamente al gas de escape a alta temperatura y, por tanto, provoca que la oxidación avance adicionalmente, dando como resultado una reducción del espesor de chapa y dando posiblemente como resultado picaduras o deformación. Además, pueden producirse grietas a partir de partes de las que se ha desconchado cascarilla. Por tanto, también se requiere que los aceros inoxidables ferríticos con complejo Nb-Ti añadido tengan excelente adhesión de cascarilla, evitando el desconchado de cascarilla.

35 Para mejorar la resistencia mecánica a alta temperatura y las propiedades de fatiga térmica de los aceros inoxidables ferríticos con complejo Nb-Ti añadido, los documentos de patente 1 y 2 dan a conocer la adición de molibdeno, y los documentos de patente 3 a 5 dan a conocer la adición de molibdeno, cobre y tungsteno. Para mejorar la adhesión de cascarilla, el documento de patente 3 da a conocer la adición de metales de las tierras raras, calcio, itrio y zirconio, y el documento de patente 5 da a conocer la adición de metales de las tierras raras y calcio.

40 El documento EP 1 170 392 A1 da a conocer un acero inoxidable ferrítico que tiene resistencia a la fatiga a alta temperatura superior que comprende del 11,0 al 20,0% de Cr, del 0,1% al 1,0% de Ni y del 1,0 al 2,0% de Mo. El documento JP H08104950 da a conocer un acero inoxidable ferrítico con del 11 al 30% de Cr, del 0,2 al 0,7% de Nb, el 0,1 - 1,0% de Ti, hasta el 2,0% de Mn y hasta el 1,5% de Si.

Lista de referencias

Bibliografía de patentes

- 45 [PTL 1] Publicación de solicitud de patente japonesa no examinada n.º 4-224657
 [PTL 2] Publicación de solicitud de patente japonesa no examinada n.º 5-70897
 [PTL 3] Publicación de solicitud de patente japonesa no examinada n.º 2004-218013
 [PTL 4] Publicación de solicitud de patente japonesa no examinada n.º 2008-240143
 [PTL 5] Publicación de solicitud de patente japonesa no examinada n.º 2009-174040

50 Sumario de la invención

Problema técnico

5 Sin embargo, el molibdeno y el tungsteno son costosos y tienen inconvenientes en cuanto a que el uso de los mismos no sólo aumenta la aparición de defectos superficiales (tales como las denominadas costras) sobre chapas de acero sino que también deteriora la trabajabilidad. La adición de cobre provoca desventajosamente un deterioro significativo en la trabajabilidad a temperatura normal y también deteriora la resistencia a la oxidación. Además, los metales de las tierras raras, el calcio, el itrio y el zirconio tienen el inconveniente de que la adición de los mismos aumenta la aparición de defectos superficiales sobre chapas de acero.

La presente invención se ha realizado para resolver los problemas descritos anteriormente. Por tanto, un objeto de la invención es proporcionar acero inoxidable ferrítico que logre excelentes propiedades de adhesión de cascarilla y fatiga térmica sin deterioros en las propiedades superficiales.

10 Solución al problema

Los presentes inventores han estudiado la adhesión de cascarilla de los aceros inoxidables ferríticos con complejo Nb-Ti añadido, y han encontrado que la adición de una cantidad adecuada de níquel mejora la adhesión de cascarilla y, por tanto, hace posible evitar el desconchado de cascarilla.

15 Además, los presentes inventores han estudiado las propiedades de fatiga térmica de aceros inoxidables ferríticos con complejo Nb-Ti añadido. Mientras que los documentos de patente 1 ó 2 dan a conocer que el cobalto mejora la tenacidad de las soldaduras, los presentes inventores también han encontrado que la adición de una cantidad adecuada de cobalto proporciona excelentes propiedades de fatiga térmica. Mediante los hallazgos, puede obtenerse acero inoxidable ferrítico que presenta excelentes propiedades de adhesión de cascarilla y fatiga térmica sin provocar deterioros en las propiedades superficiales.

20 La presente invención se ha realizado basándose en los hallazgos anteriores. Un sumario de la invención es tal como sigue.

25 [1] Un acero inoxidable ferrítico que incluye, en % en masa, C: no más del 0,020%, Si: no más del 1,0%, Mn: no más del 1,0%, P: no más del 0,040%, S: no más del 0,030%, Cr: del 16,0% al 20,0%, N: no más del 0,020%, Nb: del 0,40% al 0,80%, Ti: desde 4 x (% de C + % de N)% hasta el 0,50% en el que el % de C y el % de N indican el contenido en C y el contenido en N (% en masa), respectivamente, Al: menos del 0,20%, Ni: del 0,05% al 0,40%, y Co: del 0,01% al 0,30%, siendo el resto Fe e impurezas inevitables.

[2] El acero inoxidable ferrítico descrito en [1], que incluye además, en % en masa, uno o más seleccionados de Ca: del 0,0005% al 0,0030%, Mg: del 0,0002% al 0,0020%, y B: del 0,0002% al 0,0020%.

30 [3] El acero inoxidable ferrítico descrito en [1] o [2], que incluye además, en % en masa, uno o más seleccionados de Mo: del 0,02% a menos del 0,10%, Cu: del 0,01% a menos del 0,20%, V: del 0,01% a menos del 0,50%, y W: del 0,02% a menos del 0,30%.

Efectos ventajosos de la invención

35 Según la presente invención, pueden obtenerse aceros inoxidables ferríticos que presentan excelentes propiedades de adhesión de cascarilla y fatiga térmica. Los aceros inoxidables ferríticos de la invención también tienen excelentes propiedades superficiales. Gracias a las excelentes propiedades de adhesión de cascarilla y fatiga térmica, los aceros inoxidables ferríticos de la invención pueden usarse adecuadamente para componentes del sistema de escape de automóviles.

Breve descripción de los dibujos

[Figura 1] La figura 1 es una vista que ilustra una probeta de fatiga térmica.

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

Descripción de las realizaciones

45 A continuación en el presente documento, se describirán los motivos por los que se especifica la composición química del acero de la invención. La unidad en % para los componentes indica el % en masa en cada aparición a menos que se mencione lo contrario.

C: no más del 0,020%

50 El carbono es un elemento eficaz para aumentar la resistencia mecánica del acero. Este efecto puede obtenerse cuando el contenido en C es del 0,001% o más. Por tanto, el contenido en C es preferiblemente del 0,001% o más. Por otro lado, se produce desconchado de cascarilla si está contenido más del 0,020% de carbono. Por tanto, el contenido en C está limitado a no más del 0,020%. Con el fin de garantizar la trabajabilidad, un contenido en C menor es más preferible. Por tanto, el contenido en C es preferiblemente de no más del 0,015%, y está más preferiblemente en el intervalo del 0,004% al 0,008%.

ES 2 673 216 T3

Si: no más del 1,0%

5 El silicio es un elemento eficaz para aumentar la resistencia a la oxidación. Este efecto puede obtenerse añadiendo el 0,01% o más silicio. Por tanto, el contenido en Si es preferiblemente del 0,01% o más. Por otro lado, se deteriora la trabajabilidad si se añade más del 1,0% de silicio. Por tanto, el contenido en Si está limitado a no más del 1,0%. El contenido en Si está preferiblemente en el intervalo de desde más del 0,3% hasta no más del 0,6%.

Mn: no más del 1,0%

10 El manganeso es un elemento que aumenta la resistencia mecánica del acero y también sirve como desoxidante. Estos efectos pueden obtenerse añadiendo el 0,01% o más manganeso. Por tanto, el contenido en Mn es preferiblemente del 0,01% o más. Por otro lado, el aumento de peso por oxidación aumenta significativamente y se reduce la resistencia a la oxidación si se añade más del 1,0% de manganeso. Por tanto, el contenido en Mn está limitado a no más del 1,0%. El contenido en Mn está preferiblemente en el intervalo del 0,2% al 0,6%.

P: no más del 0,040%

15 El fósforo es un elemento que provoca un deterioro en la tenacidad, y por tanto su contenido es deseablemente pequeño. Por tanto, el contenido en P está limitado a no más del 0,040%. El contenido en P es preferiblemente de no más del 0,035%, y más preferiblemente no más del 0,030%.

S: no más del 0,030%

20 El azufre deteriora la formabilidad y resistencia a la corrosión, y por tanto su contenido es deseablemente pequeño. Por tanto, el contenido en S está limitado a no más del 0,030%. El contenido en S es preferiblemente de no más del 0,006%, y más preferiblemente no más del 0,003%.

Cr: del 16,0% al 20,0%

El cromo es un elemento que es necesario para mejorar la resistencia a la oxidación. Para obtener buena resistencia a la oxidación, se requiere la adición del 16,0% o más de cromo. Por otro lado, la adición de más del 20,0% de cromo endurece el acero y da como resultado deterioros en la productividad y trabajabilidad. Por tanto, el contenido en Cr está limitado a no más del 20,0%. El contenido en Cr está preferiblemente en el intervalo del 17,0% al 19,0%.

25 N: no más del 0,020%

El nitrógeno deteriora la tenacidad y la formabilidad del acero, y por tanto su contenido es deseablemente pequeño. Por tanto, el contenido en N está limitado a no más del 0,020%. El contenido en N es preferiblemente de no más del 0,015%, y más preferiblemente no más del 0,012%.

Nb: del 0,40% al 0,80%

30 El niobio es un elemento que aumenta significativamente la resistencia mecánica a altas temperaturas mediante refuerzo de la disolución sólida y de ese modo mejora las propiedades de fatiga térmica. Este efecto puede obtenerse añadiendo el 0,40% o más de niobio. Por otro lado, la adición de una cantidad excesivamente grande de niobio que supera el 0,80% no sólo deteriora la tenacidad del acero sino que también da como resultado la formación de una fase de Laves (Fe_2Nb) a altas temperaturas y una consecuente disminución en la resistencia mecánica a alta temperatura. Por tanto, el contenido en Nb está limitado a no más del 0,80%.

35 Ti: desde $4 \times (\% \text{ de C} + \% \text{ de N})\%$ hasta el 0,50% en el que el % de C y el % de N indican el contenido en C y el contenido en N (% en masa), respectivamente

40 El titanio evita la formación de carbonitruro de niobio, combinándose preferiblemente con carbono y nitrógeno para formar el carbonitruro, y también potencia la resistencia a la corrosión, la formabilidad y la resistencia a la corrosión intergranular en las soldaduras. Con el fin de obtener estos efectos, la cantidad de titanio añadido ha de ser de al menos $4 \times (\% \text{ de C} + \% \text{ de N})\%$. Por debajo de esta cantidad, el carbono y el nitrógeno no pueden fijarse completamente en la formación de carbonitruro de titanio sino que formarán carbonitruro de niobio. Por consiguiente, la cantidad de niobio soluto se deteriora y las propiedades de fatiga térmica se deterioran. Por otro lado, añadir una cantidad excesivamente grande de titanio da como resultado un deterioro en la tenacidad del acero. Por tanto, el contenido en Ti está limitado a no más del 0,50%. El contenido en Ti es preferiblemente de desde $5 \times (\% \text{ de C} + \% \text{ de N})\%$ hasta el 0,30%, y más preferiblemente desde el 0,10% hasta el 0,25%.

Al: menos del 0,20%

50 El aluminio es un elemento que es eficaz para la desoxidación. Este efecto puede obtenerse añadiendo el 0,01% o más de aluminio. Por tanto, el contenido en Al es preferiblemente de no menos del 0,01%. Por otro lado, el contenido en Al está limitado a menos del 0,20% porque de otro modo el acero se endurece y presenta mala trabajabilidad. El contenido en Al es preferiblemente del 0,01% al 0,10%, y más preferiblemente del 0,02% al 0,06%.

Ni: del 0,05% al 0,40%

El níquel es un elemento importante con el fin de garantizar la adhesión de cascarilla en la invención. Con este fin, es necesario que se añada el 0,05% o más de níquel. Tal como se describirá a continuación, el acero de la invención presenta un coeficiente de expansión térmica reducido debido a la adición de una cantidad apropiada de cobalto. Por consiguiente, el efecto anterior puede obtenerse añadiendo una cantidad más pequeña de níquel en comparación con acero libre de cobalto o acero con bajo contenido en cobalto. Por otro lado, el níquel es costoso y también deteriora la adhesión de cascarilla formando una fase γ a altas temperaturas cuando se añade más del 0,40% de níquel. Por tanto, la cantidad en la que se añade níquel está limitada al intervalo del 0,05% al 0,40%, y está preferiblemente en el intervalo del 0,10% al 0,30%, y más preferiblemente en el intervalo del 0,20% al 0,30%.

10 Co: del 0,01% al 0,30%

El cobalto es un elemento importante en la invención. Este elemento es necesario para potenciar las propiedades de fatiga térmica. Con este fin, ha de añadirse al menos el 0,01% o más de cobalto. El cobalto disminuye el coeficiente de expansión térmica del acero y por consiguiente la cantidad de expansión durante calentamiento se reduce. Es decir, pueden lograrse propiedades de fatiga térmica mejoradas disminuyendo la cantidad de deformación producida durante el calentamiento y el enfriamiento. Como resultado de la disminución en el coeficiente de expansión térmica del acero, la diferencia en el coeficiente de expansión térmica entre el acero y la cascarilla se vuelve pequeña y es improbable que la cascarilla se desconche durante el enfriamiento. De esta manera, el cobalto posibilita eficazmente la prevención de desconchado de cascarilla mediante la adición de una cantidad más pequeña de níquel. Por otro lado, si se añade más del 0,10% de cobalto, el cobalto se concentra en la superficie de contacto entre la película de óxido y el acero base, disminuyendo así la adhesión de cascarilla. Por encima del 0,30%, este efecto secundario de concentración en la superficie de contacto cancela el efecto de prevención del desconchado de cascarilla proporcionado por la disminución en el coeficiente de expansión térmica, y se provoca que la cascarilla se desconche durante el enfriamiento. Por tanto, el contenido en Co está limitado a no más del 0,30%, y está más preferiblemente en el intervalo del 0,02% al 0,10%, y todavía más preferiblemente en el intervalo del 0,03% al 0,10%.

La presente invención reside en los aceros inoxidables ferríticos con excelentes propiedades de adhesión de cascarilla y fatiga térmica que contienen los componentes esenciales mencionados anteriormente siendo el resto hierro e impurezas inevitables. Cuando sea apropiado, es posible añadir adicionalmente uno o más seleccionados de calcio, magnesio y boro, y añadir uno o más seleccionados de molibdeno, cobre, vanadio y tungsteno en las siguientes cantidades.

Ca: del 0,0005% al 0,0030%

El calcio es un componente que es eficaz para evitar la obstrucción de las boquillas con precipitados de inclusiones que contienen Ti que son propensas a producirse durante la colada continua. Este efecto puede obtenerse añadiendo el 0,0005% o más de calcio. Por otro lado, el contenido en Ca debe ser de no más del 0,0030% con el fin de obtener buenas propiedades superficiales sin la aparición de defectos superficiales. Por tanto, el contenido de calcio, cuando se añade, está limitado al intervalo del 0,0005% al 0,0030%, y está más preferiblemente en el intervalo del 0,0005% al 0,0020%, y está todavía más preferiblemente en el intervalo del 0,0005% al 0,0015%.

Mg: del 0,0002% al 0,0020%

El magnesio es un elemento que aumenta la razón de cristales equiaxiales de desbaste plano y es eficaz para potenciar la trabajabilidad y la tenacidad. Además, este elemento es eficaz para suprimir el engrosamiento de carbonitruro de niobio y carbonitruro de titanio. El carbonitruro de titanio grueso sirve como punto de partida de una grieta quebradiza y, por tanto, se reduce la tenacidad. El engrosamiento de carbonitruro de niobio disminuye la cantidad de niobio soluto en el acero, lo que da como resultado un deterioro en las propiedades de fatiga térmica. Los efectos anteriores pueden obtenerse añadiendo el 0,0002% o más de magnesio. Por otro lado, la adición de magnesio en una cantidad que supera el 0,0020% deteriora las propiedades superficiales del acero. Por tanto, el contenido de magnesio, cuando se añade, está limitado al intervalo del 0,0002% al 0,0020%, y está preferiblemente en el intervalo del 0,0002% al 0,0015%, y más preferiblemente en el intervalo del 0,0004% al 0,0010%.

B: del 0,0002% al 0,0020%

El boro es un elemento que es eficaz para potenciar la trabajabilidad, en particular la trabajabilidad secundaria. Este efecto puede obtenerse añadiendo el 0,0002% o más de boro. Por otro lado, la adición de boro en una cantidad que supera el 0,0020% deteriora la trabajabilidad y la tenacidad del acero y, por tanto, la cantidad debe ser del 0,0020% o menos. Por tanto, el contenido de boro, cuando se añade, está limitado al intervalo del 0,0002% al 0,0020%, y está preferiblemente en el intervalo del 0,0003% al 0,0010%.

Mo: del 0,02% a menos del 0,10%

El molibdeno es un elemento que aumenta la resistencia mecánica del acero mediante refuerzo de la disolución sólida, potenciando así las propiedades de fatiga térmica. Este efecto puede obtenerse añadiendo el 0,02% o más

de molibdeno. Además de su coste, la adición de una gran cantidad de molibdeno no sólo provoca la aparición de defectos superficiales sino que también da como resultado un deterioro en la trabajabilidad. Para obtener buenas propiedades superficiales y buena trabajabilidad, la cantidad debe ser de menos del 0,10%. Por tanto, el contenido de molibdeno, cuando se añade, está limitado al intervalo del 0,02% a menos del 0,10%, y está preferiblemente en el intervalo del 0,04% a menos del 0,10%.

Cu: del 0,01% a menos del 0,20%

El cobre refuerza el acero precipitando como ϵ -Cu, potenciando así las propiedades de fatiga térmica. Para obtener este efecto, ha de añadirse el 0,01% o más de cobre. Por otro lado, la adición del 0,20% o más de cobre endurece el acero y da como resultado un deterioro en la trabajabilidad. Para obtener buena trabajabilidad, la cantidad debe ser de menos del 0,20%. Por tanto, el contenido de cobre, cuando se añade, está limitado al intervalo del 0,01% a menos del 0,20%, y está preferiblemente en el intervalo del 0,01% a menos del 0,10%.

V: del 0,01% a menos del 0,50%

El vanadio es un elemento eficaz para aumentar la resistencia mecánica a alta temperatura. Este efecto puede obtenerse añadiendo el 0,01% o más de vanadio. Por otro lado, la adición del 0,50% o más de vanadio da como resultado la precipitación de V(C, N) grueso y provoca un deterioro en la tenacidad. Por tanto, el contenido de vanadio, cuando se añade, está limitado al intervalo del 0,01% a menos del 0,50%, y está preferiblemente en el intervalo del 0,02% a menos del 0,20%.

W: del 0,02% a menos del 0,30%

De manera similar al molibdeno, el tungsteno aumenta la resistencia mecánica del acero mediante refuerzo de la disolución sólida. Este efecto puede obtenerse añadiendo el 0,02% o más de tungsteno. Sin embargo, este elemento es costoso y la adición de una gran cantidad de tungsteno no sólo provoca la aparición de defectos superficiales sino que también da como resultado un deterioro significativo en la trabajabilidad. Para obtener buenas propiedades superficiales y buena trabajabilidad, la cantidad debe ser de menos del 0,30%. Por tanto, el contenido de tungsteno, cuando se añade, está limitado al intervalo del 0,02% a menos del 0,30%.

A continuación, se describirá un método para fabricar los aceros inoxidables ferríticos de la invención.

El acero inoxidable ferrítico de la invención puede fabricarse mediante un método de producción de acero inoxidable habitual. En un método recomendado, un acero que tiene la composición química mencionada anteriormente se funde en un horno de fusión tal como un horno convertidor o un horno eléctrico, luego se somete a refinado secundario tal como refinado en cuchara o refinado a vacío, y se procesa para dar una pieza de acero (un desbaste plano) mediante un método de colada continua o un método de colada-desbastado de lingotes; después se lamina en caliente el desbaste plano, y se recuece la chapa laminada en caliente y se trata con ácido para dar una chapa laminada en caliente, recocida y tratada con ácido; y se somete adicionalmente la chapa de acero a etapas tales como laminación en frío, recocido de acabado y tratamiento con ácido, produciendo así una chapa laminada en frío y recocida. A continuación se describirá un ejemplo.

Se refina un acero en un horno tal como un horno convertidor o un horno eléctrico, y se somete a refinado secundario mediante un método de AOD o un método de VOD para producir un acero fundido que tiene la composición química mencionada anteriormente. Se procesa el acero mediante un método de colada continua para dar un desbaste plano. Se calienta el desbaste plano hasta de 1000 a 1250°C y se lamina en caliente para dar una chapa laminada en caliente que tiene un espesor de chapa deseado. Se recuece continuamente la chapa laminada en caliente a una temperatura de 900°C a 1100°C y después se descascarilla mediante granallado y tratamiento con ácido para dar una chapa laminada en caliente, recocida y tratada con ácido. La chapa laminada en caliente, recocida y tratada con ácido puede usarse directamente en aplicaciones de interés en la invención tales como colectores de escape. Alternativamente, la chapa de acero puede someterse adicionalmente a laminación en frío, recocido y tratamiento con ácido para producir una chapa laminada en frío, recocida y tratada con ácido. Esta etapa de laminación en frío puede implicar dos o más procedimientos de laminación en frío incluyendo recocido de procedimiento según se requiera. En la etapa de laminación en frío, la reducción de laminación total por uno o más pases a través de rodillos en frío no es de menos del 60%, y preferiblemente no menos del 70%. La temperatura de recocido para la chapa laminada en frío es de 900°C a 1150°C, y preferiblemente de 950°C a 1100°C. Según las aplicaciones, la chapa de acero puede someterse a laminación ligera (tal como laminación de temple) tras el tratamiento con ácido para controlar la forma y la calidad de la chapa de acero. Además, la chapa de acero puede recocerse en una atmósfera reductora que contiene hidrógeno para dar un acero acabado con BA (recocido en blanco) sin tratamiento con ácido.

Los productos de chapas laminadas en caliente y recocidas o los productos de chapas laminadas en frío y recocidas fabricados tal como se describió anteriormente se procesan, por ejemplo, se doblan según las aplicaciones de uso para formar formas tales como tubos de escape de automóviles o motocicletas o cilindros catalíticos, conductos de aire de escape en centrales de energía térmica, y componentes relacionados con celdas de combustible. La soldadura de estas partes puede realizarse mediante cualquier método de soldadura sin limitación, y opciones posibles son diversos métodos de soldadura de arco tales como TIG, MIG y MAG, métodos de soldadura por resistencia tales como soldadura por puntos y soldadura de rebaba, métodos de soldadura por resistencia a alta

frecuencia tales como soldadura por resistencia eléctrica, y métodos de soldadura de inducción a alta frecuencia.

Ejemplos

5 Se fundieron los aceros n.^{os} 1 a 37 con las composiciones químicas mostradas en la tabla 1 y la tabla 2 en un horno de fusión a vacío y se moldearon por colada para dar lingotes de acero que pesaban 30 kg. A continuación, se calentaron los lingotes hasta 1170°C y se laminaron en caliente para dar barras de chapa de 35 mm de espesor y 150 mm de anchura. Se dividió cada una de las barras de chapa para dar dos barras de chapa. Se fraguó una de las dos barras de chapa para dar una barra cuadrada que tenía una sección transversal de 30 mm x 30 mm. Después se recoció la barra en el intervalo de 950°C a 1050°C y después de eso se mecanizó para dar una probeta de fatiga térmica ilustrada en la figura 1. Se sometió la probeta a un ensayo de fatiga térmica descrita más adelante. Se controló la temperatura de recocido en el intervalo de 950°C a 1050°C con respecto a cada acero mientras se identificaba la microestructura. Lo mismo se aplica al recocido descrito a continuación en el presente documento.

15 Se calentó la otra de las dos barras de chapa hasta 1050°C y después de eso se laminó en caliente para dar una chapa laminada en caliente con un espesor de chapa de 5 mm. Después de eso, se recoció la chapa laminada en caliente en el intervalo de temperatura de 900°C a 1050°C y se trató con ácido para producir una chapa laminada en caliente y recocida. En esta fase, se observaron visualmente las propiedades superficiales de la chapa de acero. Después, se laminó en frío la chapa de acero hasta un espesor de chapa de 2 mm y se sometió a recocido de acabado en el intervalo de temperatura de 900°C a 1050°C, produciendo así una chapa laminada en frío y recocida. Se sometió esta chapa de acero al siguiente ensayo de oxidación cíclica.

<Ensayo de oxidación cíclica>

20 Se cortó una muestra de 20 mm de anchura y 30 mm de longitud a partir de la chapa laminada en frío y recocida, y se pulieron las seis superficies con papel de lija n.º 320. Después se sometió a ensayo la muestra en condiciones de ensayo de oxidación en las que se sometió la muestra a 400 ciclos en los que se mantuvo a 1000°C durante 20 minutos y a 100°C durante 1 minuto en la atmósfera de aire. La velocidad de calentamiento y la velocidad de enfriamiento fueron de 5°C/s y 1,5°C/s, respectivamente. Tras el ensayo, se inspeccionó visualmente la presencia o ausencia del desconchado de cascarilla para evaluar la adhesión de cascarilla. Los resultados obtenidos se describen en la tabla 1 y la tabla 2.

<Ensayo de fatiga térmica>

30 Se sometió la probeta de fatiga térmica a calentamiento y enfriamiento repetidos entre 100°C y 900°C y se provocó que experimentara simultáneamente aplicaciones repetidas de deformación con una razón de restricción de 0,6 tal como se muestra en la figura 2, midiendo así la vida útil frente a la fatiga térmica. Se realizó la medición mediante un método según la norma para ensayos de ciclo bajo a alta temperatura (norma JSMS-SD-7-03) publicada por The Society Of Materials Science, Japón. En primer lugar, se dividió la carga que se detectó a 100°C en cada ciclo entre el área transversal (50,3 mm²) de una parte paralela calentada uniformemente de la probeta ilustrada en la figura 1, y se obtuvo el cociente como la tensión en ese ciclo. Se definió la vida útil frente a la fatiga térmica como el número de ciclos repetidos hasta que la tensión en un ciclo determinado disminuyó hasta el 75% de la tensión inicial (en el quinto ciclo en el que la pieza de ensayo llegó a mostrar un comportamiento estable). Se evaluaron las propiedades de fatiga térmica basándose en el número de ciclos como la vida útil. Los resultados obtenidos se describen en la tabla 1 y la tabla 2.

[Tabla 1]

N.º	Composiciones químicas (% en masa)																	Adhesión de cascavilla	Propiedades de fatiga térmica	Observaciones				
	C	Si	Mn	Al	P	S	Cr	Nb	Ti	N	Ni	Co	Ca	Mg	B	Mo	Cu				V	W	4 x (C+N)	
1	0,009	0,34	0,41	0,02	0,025	0,002	17,9	0,43	0,17	0,011	0,28	0,03	0,0001	0,0001	≤0,0001	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,08	○	○	Ej. de la inv.
2	0,008	0,36	0,39	0,02	0,027	0,001	17,8	0,42	0,20	0,010	0,27	0,05	0,0002	<0,0001	0,0003	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,07	○	○	Ej. de la inv.
3	0,010	0,39	0,35	0,02	0,028	0,002	18,0	0,41	0,18	0,011	0,32	0,04	0,0009	0,0002	≤0,0001	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,08	○	○	Ej. de la inv.
4	0,008	0,38	0,37	0,06	0,029	0,002	18,1	0,44	0,21	0,010	0,39	0,09	0,0012	<0,0001	0,0004	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,07	○	○	Ej. de la inv.
5	0,007	0,31	0,38	0,01	0,028	0,001	19,7	0,42	0,16	0,013	0,22	0,07	0,0006	<0,0001	0,0003	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,08	○	○	Ej. de la inv.
6	0,007	0,42	0,40	0,02	0,027	0,003	16,4	0,41	0,24	0,009	0,25	0,27	0,0008	<0,0001	0,0005	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,06	○	○	Ej. de la inv.
7	0,005	0,26	0,31	0,03	0,025	0,002	17,1	0,38	0,22	0,012	0,39	0,08	0,0011	0,0001	0,0004	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,07	○	○	Ej. comp.
8	0,009	0,34	0,44	0,02	0,033	0,001	17,6	0,44	0,11	0,012	0,28	0,03	0,0008	0,0002	0,0003	<0,01	0,03	<0,01	<0,01	<0,01	0,08	○	⊗	Ej. de la inv.
9	0,010	0,54	0,42	0,05	0,027	0,002	18,0	0,44	0,18	0,010	0,28	0,05	0,0011	<0,0001	0,0003	<0,01	0,18	<0,01	<0,01	<0,01	0,08	○	⊗	Ej. de la inv.
10	0,009	0,31	0,40	0,02	0,029	0,002	17,7	0,43	0,17	0,010	0,32	0,03	0,0008	0,0001	0,0004	0,09	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,08	○	⊗	Ej. de la inv.
11	0,008	0,48	0,34	0,02	0,028	0,002	17,8	0,43	0,17	0,011	0,30	0,03	0,0014	0,0001	0,0005	<0,01	<0,01	0,07	<0,01	<0,01	0,08	○	⊗	Ej. de la inv.
12	0,013	0,34	0,41	0,02	0,025	0,003	17,0	0,45	0,29	0,013	0,34	0,04	0,0012	<0,0001	0,0004	<0,01	<0,01	<0,01	0,25	0,10	0,10	○	⊗	Ej. de la inv.
13	0,009	0,33	0,42	0,03	0,022	0,002	18,3	0,50	0,22	0,011	0,28	0,10	0,0011	0,0002	0,0002	0,06	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,08	○	⊗	Ej. de la inv.
14	0,006	0,36	0,38	0,02	0,030	0,002	18,1	0,45	0,10	0,012	0,31	0,03	0,0003	<0,0001	≤0,0001	0,09	0,05	0,03	<0,01	<0,01	0,08	○	⊗	Ej. de la inv.
15	0,010	0,34	0,45	0,02	0,031	0,002	18,9	0,42	0,16	0,012	0,24	0,02	0,0015	<0,0001	0,0003	0,05	0,08	0,04	<0,01	<0,01	0,09	○	⊗	Ej. de la inv.
16	0,009	0,36	0,38	0,02	0,027	0,003	17,7	0,45	0,19	0,011	0,16	0,03	0,0008	0,0001	0,0002	0,06	0,04	0,16	<0,01	<0,01	0,08	○	⊗	Ej. de la inv.
17	0,009	0,33	0,43	0,03	0,027	0,002	17,5	0,43	0,16	0,011	0,27	0,02	0,0010	0,0002	0,0004	0,02	0,04	<0,01	<0,01	0,08	0,08	○	⊗	Ej. de la inv.
18	0,009	0,35	0,40	0,02	0,025	0,002	<u>14,5</u>	0,43	0,17	0,012	0,28	0,03	0,0010	<0,0001	0,0002	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,08	x x	x	Ej. comp.

El subrayado indica que los valores están fuera de los intervalos de la invención.

N.º	Composiciones químicas (% en masa)																				Adhesión de cascarrilla	Propiedades de fatiga térmica	Observaciones
	C	Si	Mn	Al	P	S	Cr	Nb	Ti	N	Ni	Co	Ca	Mg	B	Mo	Cu	V	W	4 x (C+N)			
19	0,023	0,34	0,42	0,02	0,029	0,002	17,9	0,44	0,17	0,011	0,27	0,04	0,0008	<0,0001	0,0002	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,14	x	○	Ej comp.
20	0,009	0,30	0,41	0,02	0,025	0,003	18,3	0,43	0,18	0,010	0,05	<0,01	0,0002	<0,0001	≤0,0001	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,06	x	x	Ej comp.
21	0,006	0,33	0,32	0,01	0,027	0,002	17,6	0,43	0,19	0,012	0,25	<0,01	0,0008	<0,0001	0,0002	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	0,06	○	x	Ej comp.
22	0,010	0,33	0,42	0,02	0,031	0,002	17,9	0,41	0,17	0,011	0,04	0,05	0,0001	<0,0001	≤0,0001	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,06	x	○	Ej comp.
23	0,011	0,31	0,39	0,03	0,030	0,002	17,6	0,42	0,18	0,011	0,02	0,04	0,0011	<0,0001	0,0002	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	0,09	x	○	Ej comp.
24	0,009	0,37	0,39	0,03	0,027	0,001	17,5	0,45	0,14	0,010	0,45	0,05	0,0009	<0,0001	0,0003	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,06	x	○	Ej comp.
25	0,010	0,29	0,28	0,02	0,029	0,002	18,1	0,48	0,14	0,011	0,08	0,03	0,0005	0,0004	0,0003	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,06	○	○	Ej de la inv.
26	0,009	0,36	0,22	0,02	0,026	0,001	17,8	0,42	0,19	0,010	0,05	0,07	0,0004	0,0005	0,0004	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,06	○	○	Ej de la inv.
27	0,011	0,33	0,16	0,02	0,030	0,002	18,0	0,44	0,15	0,011	0,13	0,05	0,0009	0,0006	0,0005	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,09	○	○	Ej de la inv.
28	0,009	0,31	0,37	0,03	0,027	0,002	18,3	0,49	0,13	0,009	0,11	0,04	0,0010	0,0010	0,0003	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,07	○	○	Ej de la inv.
29	0,008	0,27	0,26	0,02	0,028	0,002	17,6	0,34	0,14	0,010	0,06	0,04	0,0002	<0,0001	≤0,0001	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,07	○	○	Ej comp.
30	0,007	0,35	0,37	0,05	0,026	0,001	18,6	0,45	0,20	0,009	0,15	0,03	0,0008	<0,0001	≤0,0001	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,06	○	○	Ej de la inv.
31	0,010	0,41	0,35	0,02	0,024	0,002	18,1	0,41	0,15	0,012	0,14	0,07	0,0001	0,0006	≤0,0001	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,09	○	○	Ej de la inv.
32	0,010	0,34	0,29	0,03	0,029	0,002	17,6	0,51	0,16	0,011	0,26	0,05	0,0004	<0,0001	0,0005	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,06	○	○	Ej de la inv.
33	0,011	0,33	0,32	0,08	0,025	0,002	18,2	0,57	0,17	0,009	0,33	0,06	0,0003	<0,0001	≤0,0001	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,06	○	○	Ej de la inv.
34	0,010	0,46	0,43	0,02	0,025	0,001	18,0	0,48	0,13	0,010	0,16	0,08	0,0002	<0,0001	≤0,0001	0,05	<0,01	<0,01	<0,01	0,06	○	○	Ej de la inv.
35	0,009	0,38	0,38	0,01	0,030	0,002	17,5	0,46	0,21	0,010	0,19	0,08	0,0004	<0,0001	≤0,0001	<0,01	<0,01	0,12	<0,01	0,06	○	○	Ej de la inv.
36	0,010	0,40	0,39	0,11	0,031	0,002	17,2	0,39	0,19	0,011	0,15	0,09	0,0002	<0,0001	≤0,0001	<0,01	<0,01	<0,01	0,05	0,06	○	○	Ej comp.
37	0,011	0,42	0,40	0,02	0,024	0,003	18,6	0,43	0,16	0,009	0,22	0,04	0,0001	<0,0001	0,0006	<0,01	0,11	<0,01	<0,01	0,06	○	○	Ej de la inv.

El subrayado indica que los valores están fuera de los intervalos de la invención.

En la tabla 1 y la tabla 2, los criterios en los ensayos son los siguientes.

(1) Adhesión de cascarilla: se evaluó la superficie de la pieza de ensayo tras el ensayo de oxidación cíclica como ○ (satisfactoria) cuando el área de desconchado de cascarilla era de menos del 5%, x (insatisfactoria) cuando el área de desconchado de cascarilla era del 5% o más, y xx (insatisfactoria) cuando había oxidación de ruptura.

- 5 (2) Propiedades de fatiga térmica: se evaluaron las propiedades de fatiga térmica como ⊕ (satisfactorias, particularmente excelentes) cuando la vida útil frente a la fatiga térmica era de 600 ciclos o más, ○ (satisfactorias) cuando la vida útil frente a la fatiga térmica era de 540 a menos de 600 ciclos, y x (insatisfactorias) cuando la vida útil frente a la fatiga térmica era de menos de 540 ciclos.

10 A partir de la tabla 1 y la tabla 2, todos de los aceros n.ºs 1 a 17 y n.ºs 25 a 37 que representaban ejemplos de la invención presentaron excelentes propiedades de adhesión de cascarilla y fatiga térmica. En particular, los aceros de la invención n.ºs 8 a 17 que contenían uno o más de molibdeno, cobre, vanadio y tungsteno lograron propiedades de fatiga térmica particularmente excelentes. Además, todas las chapas laminadas en caliente, recocidas y tratadas con ácido en los ejemplos de la invención tuvieron buenas propiedades superficiales sin ningún defecto superficial.

15 En cambio, se produjo oxidación de ruptura en el ejemplo comparativo n.º 18 en el que el contenido en Cr era del 14,5% y estaba por debajo del intervalo de la invención. El ejemplo comparativo n.º 19 en el que el contenido en C era del 0,023% y superó el intervalo de la invención dio como resultado desconchado de cascarilla y no logró pasar el ensayo de adhesión de cascarilla. Debido al contenido en Co de menos del 0,01% Co por debajo del intervalo de la invención, el acero comparativo n.º 20 correspondiente a acero tipo 441 no logró pasar el ensayo de fatiga térmica y tampoco logró pasar el ensayo de adhesión de cascarilla a pesar del hecho de que se había añadido el 0,05% de níquel. En el ejemplo comparativo n.º 21, el contenido en Co era de menos del 0,01% y estaba por debajo del intervalo de la invención, dando como resultado que no logró pasar el ensayo de fatiga térmica. Los aceros no lograron pasar el ensayo de adhesión de cascarilla en los ejemplos comparativos n.ºs 22 y 23 en los que el contenido en Ni era del 0,04% o del 0,02% y estaba por debajo del intervalo de la invención, el ejemplo comparativo n.º 24 en el que el contenido en Ni era del 0,45% y superaba el intervalo de la invención, y el ejemplo comparativo n.º 29 en el que el contenido en Co era del 0,32% y superaba el intervalo de la invención.

A partir de lo anterior, es evidente que los aceros de la invención tienen excelentes propiedades de adhesión de cascarilla y fatiga térmica.

Aplicabilidad industrial

30 Los aceros inoxidables ferríticos de la presente invención tienen excelentes propiedades de adhesión de cascarilla y fatiga térmica y son adecuados para componentes del sistema de escape en automóviles y otras máquinas, tales como colectores de escape, diversos tubos de escape, cajas de convertidor y silenciadores. Además, los aceros de la invención también son adecuados para componentes del sistema de escape en sistemas de generación de energía térmica y partes de celdas de combustible.

REIVINDICACIONES

1. Acero inoxidable ferrítico que consiste en, en % en masa, C: no más del 0,020%, Si: no más del 1,0%, Mn: no más del 1,0%, P: no más del 0,040%, S: no más del 0,030%, Cr: del 16,0% al 20,0%, N: no más del 0,020%, Nb: del 0,40% al 0,80%, Ti: desde $4 \times (\% \text{ de C} + \% \text{ de N})\%$ hasta el 0,50% en el que el % de C y el % de N indican el contenido en C y el contenido en N (% en masa), respectivamente, Al: menos del 0,20%, Ni: del 0,05% al 0,40%, y Co: del 0,01% al 0,30%, opcionalmente uno o más seleccionados de Ca: del 0,0005% al 0,0030%, Mg: del 0,0002% al 0,0020%, B: del 0,0002% al 0,0010%, Mo: del 0,02% a menos del 0,10%, Cu: del 0,01% a menos del 0,20%, V: del 0,01% a menos del 0,20%, y W: del 0,02% a menos del 0,30%, siendo el resto Fe e impurezas inevitables.

5
10

FIG. 1

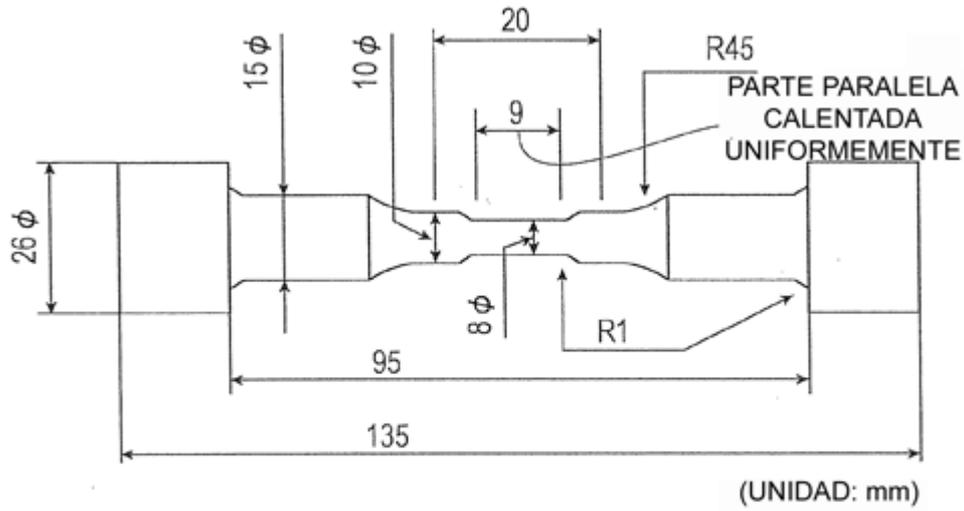


FIG. 2

