

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 693 781**

51 Int. Cl.:

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

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **17.09.2013** **PCT/JP2013/005486**

87 Fecha y número de publicación internacional: **03.04.2014** **WO14050016**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.09.2013** **E 13842192 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.09.2018** **EP 2902523**

54 Título: **Acero inoxidable ferrítico**

30 Prioridad:

25.09.2012 JP 2012210492

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

13.12.2018

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 2 693 781 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 un acero inoxidable ferrítico adecuado para su uso en las partes de un sistema de escape en entornos a alta temperatura, tales como tubos de escape y carcasas de catalizador (también conocidas como carcasas de convertidor) de automóviles y motocicletas y conductos de escape de centrales de energía térmica.

Técnica anterior

10 Se requiere que los componentes de un sistema de escape tales como colectores de escape, tubos de escape, carcasas de convertidor y silenciadores usados como partes de un sistema de escape de un automóvil tengan una buena propiedad de fatiga térmica y buena resistencia a la oxidación (a continuación en el presente documento estas propiedades se denominan generalmente "propiedad de resistencia al calor").

15 Actualmente, se usa a menudo acero que contiene Cr tal como acero que contiene Nb y Si (por ejemplo, JFE 429EX (el 15% en masa de Cr-el 0,9% en masa de Si-el 0,4% en masa de Nb) (a continuación en el presente documento denominado acero que contiene Nb-Si)) en usos que requieren una propiedad de resistencia al calor de este tipo. En particular, se sabe que Nb mejora significativamente la propiedad de resistencia al calor. También ha surgido acero que contiene Mo o W, que mejora la propiedad de resistencia al calor, además de Nb (por ejemplo, SUS444 (el 18% en masa de Cr-el 2% en masa de Mo-el 0,5% en masa de Nb)) y se usa en componentes que requieren una mayor propiedad de resistencia al calor.

20 El documento de patente 1 da a conocer una chapa de acero inoxidable, cuya propiedad de resistencia al calor se ha aumentado mediante la adición de Ti, Cu y B. Los documentos de patente 2, 3 y 4 dan a conocer cada uno un acero inoxidable ferrítico resistente al calor que contiene Al. El documento de patente 5 también da a conocer un acero inoxidable ferrítico que contiene Al y que tiene buena resistencia a la oxidación en la atmósfera de adición de vapor. El documento de patente 6 da a conocer un acero inoxidable ferrítico que tiene una excelente resistencia a la oxidación, resistencia de fragilidad de trabajo secundaria y soldabilidad. El acero inoxidable ferrítico que tiene la siguiente composición química, C: el 0,03 % o menos, Si: el 0,5% o menos, Mn: el 1,0% o menos, P: el 0,04 % o menos, S: el 0,01 % o menos, Ni: el 0,6% o menos, Cr: el 15-20%, N: el 0,03% o menos, Ti: el 0,5% o menos, B: el 0,0005-0,003% y Al: el 1,5-4,0%, siendo el resto Fe e impurezas inevitables.

Lista de referencias

30 **Bibliografía de patentes**

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

PTL 2: Publicación de solicitud de patente japonesa no examinada n.º 2009-68113

PTL 3: Publicación de solicitud de patente japonesa no examinada n.º 2004-307918

PTL 4: Publicación de solicitud de patente japonesa no examinada n.º 2001-316773

35 PTL 5: Publicación de solicitud de patente japonesa no examinada n.º 2009-167443

PTL 6: Publicación de solicitud de patente japonesa no examinada n.º 2011-179088

Sumario de Invención

Problema técnico

40 Sin embargo, la técnica descrita en el documento de patente 1 tiene el problema de que no puede obtenerse la resistencia a la oxidación continua requerida debido a la aparición de oxidación de avance rápido en un ensayo de oxidación continua debido a la adición de Cu.

45 Las técnicas descritas en los documentos de patente 2 y 3 tienen Al añadido al acero pero tienen el problema de que no consideran la propiedad de fatiga térmica. La técnica descrita en el documento de patente 4 también tiene Al añadido al acero pero tiene el problema de no lograr ocasionalmente la resistencia a la oxidación requerida debido a la oxidación de avance rápido en un ensayo de oxidación continua, separación de escarillas de óxido en un ensayo de oxidación cíclica, y similares. La técnica descrita en el documento de patente 5 también se refiere a la resistencia a la oxidación en la atmósfera de adición de vapor asociada con la adición de Al; sin embargo, existe el problema de que puede no obtenerse una buena resistencia a la oxidación cíclica debido al desconchado de la escarilla de óxido que se produce durante la oxidación cíclica.

50 Desde el punto de vista de elementos de aleación, Mo y W son elementos costosos y pueden provocar problemas

tales como generación de defectos de superficie mediante el deterioro de la trabajabilidad en caliente, y deterioro de la trabajabilidad. Nb también es un elemento costoso y aumenta la temperatura de recristalización del acero, lo que requiere una alta temperatura de recocido. Por tanto, existe el problema de alto coste de producción. Cu también tiene problemas tales como un deterioro en la resistencia a la oxidación y trabajabilidad.

- 5 Por consiguiente, hay una expectativa de desarrollo de acero que presenta una alta propiedad de resistencia al calor con cantidades mínimas de los elementos de aleación mencionados anteriormente añadidos.

Un objeto de la presente invención es proporcionar un acero inoxidable ferrítico que tenga una buena propiedad de fatiga térmica y buena resistencia a la oxidación en la condición de que las cantidades de Mo, W, y Nb, que son costosos y deterioran diversas propiedades, y Cu, que deteriora la resistencia a la oxidación y trabajabilidad, se minimicen.

Solución al problema

Los inventores han llevado a cabo amplios estudios sobre los efectos del contenido en Al y el contenido en Ti sobre la propiedad de fatiga térmica y los efectos del contenido de Cr y Ni y la razón de contenido en Al/Cr sobre la resistencia a la oxidación y encontraron intervalos de contenido óptimos para Al, Ti, Cr y Ni.

- 15 La presente invención se ha realizado basándose en este hallazgo e investigaciones adicionales y puede resumirse tal como sigue:

Un acero inoxidable ferrítico tal como se define en la reivindicación 1.

Obsérvese que la resistencia a la oxidación significa tanto resistencia a la oxidación continua como resistencia a la oxidación cíclica. La resistencia a la oxidación continua se evalúa basándose en el aumento de peso por oxidación después de que se haya mantenido el acero de manera isotérmica a alta temperatura. La resistencia a la oxidación cíclica se evalúa basándose en el aumento de peso por oxidación después de que el calentamiento y el enfriamiento se repitan y la presencia o ausencia de desconchado de cascarillas de óxido.

Si la resistencia a la oxidación continua es insuficiente, la cantidad de cascarilla de óxido aumenta durante el uso a alta temperatura y el grosor del metal de base disminuye. Por tanto, no se obtiene una buena propiedad de fatiga térmica. Si la resistencia a la oxidación cíclica es baja, se produce desconchado de cascarilla de óxido durante el uso y pueden verse afectadas otras partes aguas abajo tales como convertidores dando lugar a un problema.

Efectos ventajosos de la invención

Según la presente invención, puede obtenerse un acero inoxidable ferrítico que tiene una propiedad de fatiga térmica y resistencia a la oxidación comparable o superior a aceros que contienen Nb-Si mientras que se minimiza el contenido en Mo, W, Nb y Cu; por tanto, la presente invención es significativamente útil para partes del sistema de escape de un automóvil.

Breve descripción de los dibujos

[Fig. 1] Un diagrama que ilustra una muestra de ensayo de fatiga térmica.

[Fig. 2] Un gráfico que ilustra las condiciones de temperatura y restricción en un ensayo de fatiga térmica.

35 [Fig. 3] Un gráfico que ilustra el efecto de Al (%)/Cr (%) sobre la resistencia a la oxidación continua (aumento de peso por oxidación).

[Fig. 4] Un gráfico que ilustra el efecto de Al (%)/Cr (%) sobre la resistencia a la oxidación cíclica (aumento de peso por oxidación y presencia/ausencia de separación de cascarillas).

Descripción de las realizaciones

40 Los motivos para limitar las características respectivas de la presente invención se describen a continuación.

1. Respecto a la composición

El motivo de las limitaciones en la composición del acero inoxidable ferrítico según la presente invención se describirá a continuación. Obsérvese que % significa % en masa.

C: el 0,020% o menos y el 0,001% o más

45 El carbono (C) es un elemento eficaz para aumentar la resistencia mecánica del acero pero es significativo un deterioro en la tenacidad y la conformabilidad a un contenido en C que supera el 0,020%. Por tanto, en la presente invención, el contenido en C ha de ser del 0,020% o menos. Desde el punto de vista de garantizar la conformabilidad, el contenido en C es preferiblemente lo más bajo posible y es preferiblemente del 0,015% o menos y más preferiblemente del 0,010% o menos. Con el fin de garantizar la resistencia mecánica requerida para partes

del sistema de escape, el contenido en C es del 0,001% o más y más preferiblemente del 0,003% o más.

Si: el 1,0% o menos y el 0,5% o más

5 El silicio (Si) es un elemento importante para mejorar la resistencia a la oxidación. Este efecto puede obtenerse a un contenido en Si del 0,1% o más. El contenido en Si es preferiblemente del 0,3% o más si se requiere mayor resistencia a la oxidación. Sin embargo, a un contenido que supera el 3,0%, no sólo se deteriora la trabajabilidad sino también se produce fácilmente separación de cascarilla de óxido y la resistencia a la oxidación cíclica se deteriora. El contenido en Si está en el intervalo del 0,5 al 1,0%.

Mn: el 1,0% o menos y el 0,1% o más

10 El manganeso (Mn) es un elemento que aumenta la resistencia mecánica del acero y también actúa como agente desoxidante. También tiene un efecto de supresión de la separación de cascarilla de óxido en el caso en el que se añada Si. Con el fin de obtener tales efectos, el contenido en Mn es del 0,1% o más. Sin embargo, Mn en exceso no sólo aumenta significativamente la velocidad de oxidación pero también tiende a formar fases γ a alta temperatura y deteriora la propiedad de resistencia al calor. Por consiguiente, en la presente invención, el contenido en Mn ha de ser del 1,0% o menos. El contenido en Mn está preferiblemente en el intervalo del 0,1 al 0,5% y más preferiblemente en el intervalo del 0,15 al 0,4%.

P: el 0,040% o menos

El fósforo (P) es un elemento perjudicial que deteriora la tenacidad y el contenido en P es preferiblemente lo más bajo posible. En la presente invención, el contenido en P ha de ser del 0,040% o menos y preferiblemente del 0,030% o menos.

20 S: el 0,030% o menos

El azufre (S) deteriora la elongación y el valor r (valor de Lankford) para afectar adversamente a la conformabilidad, y además es un elemento perjudicial que deteriora la resistencia a la corrosión, que es la propiedad básica del acero inoxidable. Por tanto, el contenido en S es preferiblemente lo más bajo posible. En la presente invención, el contenido en S ha de ser del 0,030% o menos, preferiblemente del 0,010% o menos, y más preferiblemente del 0,005% o menos.

Cr: el 10,0% o más y menos del 14,0%

30 El cromo (Cr) es un elemento importante eficaz para mejorar resistencia a la corrosión y resistencia a la oxidación, que son las características del acero inoxidable. A un contenido en Cr de menos del 10,0%, no puede obtenerse suficiente resistencia a la oxidación. Por otro lado, Cr es un elemento que provoca intensificación de la disolución sólida del acero a temperatura ambiente, endurece el acero, y deteriora la ductilidad. Cuando un acero que contiene Al tal como uno según la presente invención contiene el 16,0% o más de Cr, estas propiedades no deseables se vuelven significativas y se hace difícil trabajar el acero para dar una forma complicada, por ejemplo, un colector de escape. Por consiguiente, el contenido en Cr ha de estar en el intervalo del 10,0% o más y menos del 14,0%. El contenido en Cr está preferiblemente en el intervalo del 12,0 al 14,0%.

35 N: el 0,020% o menos

El nitrógeno (N) es un elemento que deteriora la tenacidad y la conformabilidad del acero y el deterioro de la conformabilidad es significativo si el contenido en N supera el 0,020%. El contenido en N ha de ser, por tanto, del 0,020% o menos. Desde los puntos de vista de garantizar la tenacidad y la conformabilidad, el contenido en N es preferiblemente lo más bajo posible y es preferiblemente del 0,015% o menos y más preferiblemente del 0,012% o menos.

Al: del 1,4 al 4,0%, % de Al/% de Cr $\geq 0,14$

45 El aluminio (Al) es un elemento importante para mejorar la propiedad de fatiga térmica. El aluminio actúa como elemento de intensificación de la disolución sólida y mejora significativamente la propiedad de fatiga térmica en un ensayo de fatiga térmica particularmente en el que la temperatura máxima supera los 700°C. Este efecto se obtiene cuando el contenido en Al es del 1,4% o más.

Además, Al produce una cascarilla de óxido compuesta principalmente por Al_2O_3 denso y estable y, por tanto, mejora la resistencia a la oxidación. A un contenido en Al de menos del 1,4%, la cascarilla de óxido está compuesta principalmente por óxidos de Cr y no se produce una cantidad suficiente de Al_2O_3 . Cuando el contenido en Al es del 1,4% o más y el contenido en Cr y Al satisface el % de Al/% de Cr $\geq 0,14$, se produce Al_2O_3 denso y estable y se logra buena resistencia a la oxidación.

Entre los resultados del ejemplo 1 descrito a continuación, se usaron aceros descritos particularmente en la tabla 2 para investigar el efecto del % de Al/% de Cr sobre la resistencia a la oxidación. El efecto de % de Al/% de Cr sobre el aumento de peso por oxidación en un ensayo de oxidación continua de mantenimiento de muestras a 1050°C

durante 400 horas se muestra en la figura 3. Cuando el % de Al/% de Cr es menos de 0,14, se produce oxidación de avance rápido (aumento de peso por oxidación $\geq 50 \text{ g/m}^2$) aunque está contenido el 1,4% o más de Al. En cambio, a un % de Al/% de Cr de 0,14 o más, no se produce oxidación de avance rápido.

5 El efecto del % de Al/% de Cr sobre el aumento de peso por oxidación en un ensayo de oxidación cíclica realizado a 1050°C durante 400 ciclos se muestra en la figura 4. A un % de Al/% de Cr de menos de 0,14, se produce oxidación de avance rápido (aumento de peso por oxidación $\geq 50 \text{ g/m}^2$) aunque está contenido el 1,4% o más de Al y también se observa desconchado de cascarilla. En cambio, a un % de Al/% de Cr que supera 0,14, no se produce ni oxidación de avance rápido ni desconchado de cascarilla.

10 Esto es porque cuando el valor del % de Al/% de Cr es menos de 0,14, es decir, cuando la razón del contenido en Cr es grande con respecto al contenido en Al, se forman óxidos de Cr e inhiben la formación de una capa de óxido de Al_2O_3 y, por tanto, no se obtiene buena resistencia a la oxidación. En cambio, siempre que el % de Al/% de Cr sea 0,14 o más, se forman preferiblemente capas de óxido de Al_2O_3 densas y estables en vez de óxidos de Cr y, por tanto, puede obtenerse una buena resistencia al óxido. Por consiguiente, el contenido en Al y el contenido en Cr debe satisfacer el % de Al/% de Cr $\geq 0,14$

15

[Tabla 2]

n.º	Composición (% en masa)																						Ensa- yo de fatiga térmica	Ensayo de oxidación continua		Ensayo de oxidación cíclica			Nota
	C	Si	Mn	P	S	Cr	N	Al	Ti	Cu	Ni	Nb	Mo	W	V	Co	Zr	RE M	B	Ca	Mg	% de Al/% de Cr							
20	0,009	0,60	0,27	0,03	0,001	15,4	0,008	1,75	0,23	-	0,14	0,04	-	-	-	-	-	-	0,000 4	0,000 8	-	0,11	Pasa	No pasa	Aumen- to de peso por oxida- ción kg/m ²	No pasa	75	Descon- chado de cascarilla	Ejem- plo compa -rativo
37	0,009	0,98	0,15	0,03	0,002	11,2	0,011	1,57	0,30	-	0,09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,14	Pasa	Pasa	39	Pasa	38	-	-	Ejem- plo
32	0,008	0,58	0,26	0,03	0,003	13,9	0,010	2,11	0,24	-	0,11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,15	Pasa	Pasa	24	Pasa	18	-	-	Ejem- plo
38	0,007	0,55	0,19	0,01	0,003	12,5	0,012	1,86	0,29	-	0,05	0,08	-	-	-	-	-	-	-	-	0,15	Pasa	Pasa	33	Pasa	30	-	-	Ejem- plo
36	0,008	0,77	0,22	0,02	0,001	12,3	0,011	2,03	0,39	-	0,10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,17	Pasa	Pasa	30	Pasa	29	-	-	Ejem- plo
34	0,008	1,47	0,18	0,02	0,002	15,7	0,012	2,89	0,29	-	0,15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,18	Pasa	Pasa	19	Pasa	16	-	-	Ejem- plo
76	0,006	1,23	0,17	0,02	0,001	15,5	0,010	2,03	0,21	-	0,09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,13	Pasa	No pasa	88	No pasa	86	Descon- chado de cascarilla	Ejem- plo compa -rativo	
77	0,007	0,78	0,33	0,02	0,002	14,2	0,010	1,84	0,30	-	0,10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,13	Pasa	No pasa	93	No pasa	59	Descon- chado de cascarilla	Ejem- plo compa -rativo	
78	0,007	0,38	0,31	0,02	0,003	11,1	0,011	1,48	0,28	-	0,12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,13	Pasa	No pasa	>100	No pasa	63	Descon- chado de cascarilla	Ejem- plo compa -rativo	
79	0,009	0,99	0,20	0,01	0,002	13,3	0,009	1,56	0,26	-	0,11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,12	Pasa	No pasa	>100	No pasa	83	Descon- chado de cascarilla	Ejem- plo compa -rativo	
80	0,008	1,46	0,56	0,03	0,002	14,6	0,011	1,79	0,26	-	0,06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,12	Pasa	No pasa	83	No pasa	72	Descon- chado de cascarilla	Ejem- plo compa -rativo	

Tal como se comentó anteriormente, el Al tiene un efecto de mejorar la propiedad de fatiga térmica y resistencia a la oxidación. Sin embargo, a un contenido en Al que supera el 4,0%, el acero se endurece significativamente, la conformabilidad y la tenacidad se deterioran significativamente, y la propiedad de fatiga térmica también se deteriora. Por consiguiente, el contenido en Al ha de estar en el intervalo del 1,4 al 4,0%. El contenido en Al está preferiblemente en el intervalo del 1,5% al 3,5% y más preferiblemente en el intervalo del 2,0 al 3,0%.

Ti: más del 0,18% y el 0,5% o menos

El titanio (Ti) es un elemento importante que fija C y N y mejora la resistencia a la corrosión, conformabilidad y resistencia a la corrosión intergranular de zona de soldadura.

El Ti es un elemento importante que evita Al, que mejora la propiedad de fatiga térmica, de precipitar como AlN de modo que Al puede mantener la función como elemento de intensificación de la disolución sólida. El contenido en Ti ha de ser más del 0,15% con el fin de evitar la formación de AlN. A un contenido en Ti menor que esto, Al se combina con N y forma precipitados de AlN, la cantidad de Al disuelto se disminuye, y ya no se obtiene una buena propiedad de fatiga térmica.

A un contenido en Ti que supera el 0,15%, no sólo Ti forma precipitados de Ti(C,N) si no que también Ti forma precipitados finos de FeTiP en los límites de grano. Los precipitados de Ti(C,N) son gruesos y no contribuyen a la intensificación del acero, pero los precipitados finos de FeTiP en los límites de grano intensifican los límites de grano y mejoran la propiedad de fatiga térmica. Por consiguiente, el contenido en Ti ha de ser más del 0,15%. Por otro lado, Ti en exceso deteriorará la tenacidad del acero y la adhesión de la cascarilla de óxido (resistencia a la oxidación cíclica) y, por tanto, el 0,5% es el límite superior. Por consiguiente, el contenido en Ti ha de estar en el intervalo de más del 0,18% y el 0,5% o menos. El contenido en Ti está preferiblemente en el intervalo del 0,18 al 0,4% y más preferiblemente en el intervalo del 0,20 al 0,3%. El contenido en Ti está favorablemente en el intervalo del 0,18 al 0,40%, y aún más favorablemente en el intervalo del 0,20 al 0,30%.

Ni: del 0,05 al 0,5%

El níquel (Ni) es un elemento importante en la presente invención. El níquel no sólo mejora la tenacidad del acero sino que también mejora la resistencia a la oxidación, en particular, resistencia a la oxidación cíclica, de acero que contiene Ti. Con el fin de obtener tales efectos, el contenido en Ni ha de ser del 0,05% o más. A un contenido en Ni de menos del 0,05%, la resistencia a la oxidación cíclica es insuficiente. Si la resistencia a la oxidación cíclica es insuficiente, la cascarilla de óxido se separa cada vez que aumenta y disminuye la temperatura y avanza la oxidación, dando como resultado una reducción del grosor del metal de base. Además, debido al desconchado de las cascarillas de óxido, se forman puntos de partida de las grietas y, por tanto, ya no se obtiene una buena propiedad de fatiga térmica. Por otro lado, Ni es un elemento costoso y es un fuerte elemento de formación de fase γ ; por tanto, Ni en exceso provocará la formación de fases γ a altas temperaturas y deteriorará la resistencia a la oxidación. Por consiguiente, el límite superior es del 0,5%. El contenido en Ni está preferiblemente en el intervalo del 0,05 al 0,50%, más preferiblemente en el intervalo del 0,10 al 0,30%, y aún más preferiblemente en el intervalo del 0,15 al 0,25%.

Los componentes descritos anteriormente son componentes químicos básicos de un acero inoxidable ferrítico de la presente invención. El resto es Fe e impurezas inevitables. Desde el punto de vista de mejorar la propiedad de resistencia al calor, puede contenerse al menos uno seleccionado de Nb y Cu como elemento opcional dentro del intervalo descrito a continuación.

Nb: del 0,01 al 0,15%

Puesto que el niobio (Nb) forma carbonitruros con C y N y entonces fija C y N, el Nb tiene un efecto de mejorar la resistencia a la corrosión, conformabilidad y resistencia a la corrosión intergranular de zona de soldadura así como un efecto de aumentar significativamente la resistencia mecánica a alta temperatura para mejorar la propiedad de fatiga térmica y la propiedad de fatiga a alta temperatura. Con el fin de lograr estos efectos, el contenido en Nb es preferiblemente del 0,01% o más. Sin embargo, usar más del 0,15% de Nb aumentará el coste de producción puesto que el Nb es un elemento costoso y aumenta la temperatura de recristalización del acero y por tanto, la temperatura de recocido ha de aumentarse. Por tanto, si va a contenerse Nb, el contenido en Nb está preferiblemente en el intervalo del 0,01 al 0,15%. El contenido en Nb está más preferiblemente en el intervalo del 0,02 al 0,12% y aún más preferiblemente en el intervalo del 0,05 al 0,10%.

Cu: el 0,01% o más y menos del 0,4%

El cobre (Cu) es un elemento eficaz para mejorar la propiedad de fatiga térmica. Con el fin de obtener un efecto de este tipo, el contenido en Cu es preferiblemente del 0,01% o más. Sin embargo, a un contenido en Cu del 0,4% o más, el Cu inhibe la generación de Al_2O_3 en cascarilla de óxido y deteriora la resistencia a la oxidación. Por consiguiente, si va a contenerse Cu, el contenido en Cu está preferiblemente en el intervalo del 0,01% o más y menos del 0,4%. El contenido en Cu está más preferiblemente en el intervalo del 0,01 al 0,2% y más preferiblemente

en el intervalo del 0,01 al 0,1%. El contenido en Cu está favorablemente en el intervalo del 0,01% o más y menos del 0,40%, más favorablemente en el intervalo del 0,01 al 0,20%, y aún más favorablemente en el intervalo del 0,01 al 0,10%.

- 5 Desde el punto de vista de mejorar la propiedad de resistencia al calor, al menos uno seleccionado de Mo y W puede estar contenido como elemento opcional dentro de los intervalos descritos a continuación.

Mo: del 0,02 al 0,5%

- 10 El molibdeno (Mo) es un elemento que aumenta la resistencia mecánica del acero mediante intensificación de la disolución sólida y entonces mejora la resistencia al calor. El contenido en Mo es preferiblemente del 0,02% o más para obtener este efecto. Sin embargo, el Mo es un elemento costoso y un contenido en Mo que supere el 0,5% deteriorará la resistencia a la oxidación de un acero que contiene el 1,4% o más de Al como en la presente invención. Por consiguiente, si va a contenerse Mo, el contenido en Mo está preferiblemente en el intervalo del 0,02 al 0,5%, más preferiblemente en el intervalo del 0,02 al 0,3%, y aún más preferiblemente en el intervalo del 0,02 al 0,1%. El contenido en Mo está favorablemente en el intervalo del 0,02 al 0,50%, más favorablemente en el intervalo del 0,02 al 0,30%, y aún más favorablemente en el intervalo del 0,02 al 0,10%.

- 15 W: del 0,02 al 0,3%

- 20 El tungsteno (W) es un elemento que mejora la resistencia mecánica del acero mediante intensificación de la disolución sólida y entonces mejora la propiedad de resistencia al calor como con Mo. Con el fin de obtener este efecto, el contenido en W es preferiblemente del 0,02% o más. Sin embargo, el W también es un elemento costoso como con Mo y, a un contenido en W que supera el 0,3%, se estabiliza la cascarilla de óxido generada durante el recocido y se hace difícil retirar la cascarilla mediante decapado tras laminación en frío templado. Por consiguiente, si va a contenerse W, el contenido en W está preferiblemente en el intervalo del 0,02 al 0,3% y más preferiblemente en el intervalo del 0,02 al 0,1%. El contenido en W está favorablemente en el intervalo del 0,02 al 0,30% y más favorablemente en el intervalo del 0,02 al 0,10%.

- 25 Desde el punto de vista de mejorar la propiedad de resistencia al calor, al menos uno seleccionado de REM, Zr, V y Co puede estar contenido como elemento opcional dentro de los intervalos descritos a continuación.

REM: del 0,001 al 0,10%

- 30 Un elemento de tierras raras (REM) es un elemento que mejora la resistencia a la oxidación y está contenido según se necesita en la presente invención. El contenido en REM es preferiblemente del 0,001% o más para obtener el efecto. Sin embargo, a un contenido en REM que supera el 0,10%, el acero se vuelve frágil. Por tanto, si va a contenerse REM, el contenido en REM está preferiblemente en el intervalo del 0,001 al 0,10%, más preferiblemente en el intervalo del 0,005 al 0,06%, y aún más preferiblemente en el intervalo del 0,01 al 0,05%. El contenido en REM está favorablemente en el intervalo del 0,001 al 0,100%, más favorablemente en el intervalo del 0,005 al 0,060%, y aún más favorablemente en el intervalo del 0,010 al 0,050%.

Zr: del 0,01 al 0,5%

- 35 El zirconio (Zr) es un elemento que mejora resistencia a la oxidación y está contenido en la presente invención, si se desea. Con el fin de obtener este efecto, el contenido en Zr es preferiblemente del 0,01% o más. A un contenido en Zr que supera el 0,5%, los compuestos intermetálicos de Zr precipitan y el acero se vuelve frágil. Por tanto, si va a contenerse Zr, el contenido en Zr está preferiblemente en el intervalo del 0,01 al 0,5%, más preferiblemente en el intervalo del 0,02 al 0,1%, y aún más preferiblemente en el intervalo del 0,01 al 0,10%. El contenido en Zr está favorablemente en el intervalo del 0,01 al 0,50% y más favorablemente en el intervalo del 0,02 al 0,10%.

V: del 0,01 al 0,5%

- 45 El vanadio (V) es un elemento que mejora resistencia a la oxidación y además es eficaz para mejorar la resistencia mecánica a alta temperatura. Con el fin de obtener estos efectos, el contenido en V es preferiblemente del 0,01% o más. A un contenido en V que supera el 0,5%, se forman precipitados de V(C,N) gruesos y se deteriora la tenacidad. Por consiguiente, si va a contenerse V, el contenido en V está preferiblemente en el intervalo del 0,01 al 0,5%, más preferiblemente en el intervalo del 0,05 al 0,4%, y aún más preferiblemente en el intervalo del 0,10 al 0,25%. El contenido en V está favorablemente en el intervalo del 0,01 al 0,50% y más favorablemente en el intervalo del 0,05 al 0,40%.

Co: del 0,01 al 0,5%

- 50 El cobalto (Co) es un elemento eficaz para mejorar la tenacidad y además mejora la resistencia mecánica a alta temperatura.

Con el fin de obtener este efecto, el contenido en Co es preferiblemente del 0,01% o más. Sin embargo, el Co es un elemento costoso y el efecto se satura a un contenido en Co que supera el 0,5%. Por tanto, si va a contenerse Co, el contenido en Co está preferiblemente en el intervalo del 0,01 al 0,5%, más preferiblemente en el intervalo del 0,02 al

0,2%, y aún más preferiblemente en el intervalo del 0,02 al 0,1%.

El contenido en Co está favorablemente en el intervalo del 0,01 al 0,50%, más favorablemente en el intervalo del 0,02 al 0,20%, y aún más favorablemente en el intervalo del 0,02 al 0,10%.

Además, desde los puntos de vista de mejorar la conformabilidad y la productividad, puede estar contenido al menos uno seleccionado de B, Mg y Ca como elemento opcional dentro de los intervalos descritos a continuación.

B: del 0,0002 al 0,0050%

El boro (B) es un elemento que mejora la trabajabilidad, en particular, fragilidad secundaria de trabajo. Con el fin de obtener este efecto, el contenido en B es preferiblemente del 0,0002% o más. Sin embargo, a un contenido en B que supera el 0,0050%, la trabajabilidad y la tenacidad del acero se deterioran. Por consiguiente, si va a contenerse B, el contenido en B está preferiblemente en el intervalo del 0,0002 al 0,0050%, más preferiblemente en el intervalo del 0,0002 al 0,0030%, y aún más preferiblemente en el intervalo del 0,0002 al 0,0010%.

Mg: del 0,0002 al 0,0020%

El magnesio (Mg) es un elemento que mejora la razón de cristal equiaxial de un bloque y es eficaz para mejorar la trabajabilidad y la tenacidad. El magnesio también tiene un efecto de suprimir el engrosamiento de los carbonitruros de Ti en un acero que contiene Ti como en la presente invención. Con el fin de obtener este efecto, el contenido en Mg es preferiblemente del 0,0002% o más. Esto es porque carbonitruros de Ti engrosados se vuelven puntos de partida para el agrietamiento de fragilidad y deteriora significativamente la tenacidad del acero. Sin embargo, a un contenido en Mg que supera el 0,0020%, la calidad de superficie del acero se degrada. Por consiguiente, si va a contenerse Mg, el contenido en Mg está preferiblemente en el intervalo del 0,0002 al 0,0020%, más preferiblemente en el intervalo del 0,0002 al 0,0015%, y aún más preferiblemente en el intervalo del 0,0004 al 0,0010%.

Ca: del 0,0005 al 0,0030%

El calcio (Ca) es un componente eficaz para evitar el atascamiento de boquillas de colada provocado por precipitación de inclusiones a base de Ti que es probable que se produzcan durante la colada continua. Con el fin de obtener este efecto, el contenido en Ca es preferiblemente del 0,0005% o más. Sin embargo, puesto que es probable que se produzcan defectos de superficie, el contenido en Ca necesita ser del 0,0030% o menos para obtener una calidad de superficie satisfactoria. Por consiguiente, si va a contenerse Ca, el contenido en Ca está preferiblemente en el intervalo del 0,0005 al 0,0030%, más preferiblemente en el intervalo del 0,0005% al 0,0020%, y aún más preferiblemente en el intervalo del 0,0005% al 0,0015%.

2. Respecto al método de producción

Ahora se describirá un método para producir un acero inoxidable ferrítico según la presente invención.

Puede usarse cualquier método común apropiado para producir un acero inoxidable ferrítico para producir un acero inoxidable en la presente invención sin ninguna limitación. Por ejemplo, preferiblemente, se funde un acero y se refina en un horno de fundición conocido tal como un convertidor o un horno eléctrico y, opcionalmente, se somete a refinado secundario tal como afino en cuchara o refinado a vacío para preparar un acero que tiene la composición mencionada anteriormente según la presente invención; el acero se forma entonces para dar un bloque mediante un método de colada continua o un método de formación de lingotes-bloques; y el bloque se forma para dar una chapa recocida laminada en frío a través de las etapas de laminado en caliente, recocido de chapa laminada en caliente, decapado, laminación en frío, recocido de acabado, decapado, etc.

La laminación en frío puede realizarse una vez, o dos o más veces con recocido intermedio realizado entre medias. Las etapas de laminación en frío, recocido de acabado y decapado pueden repetirse. En algunos casos, el recocido de chapa laminada en caliente puede omitirse. En los casos en los que la superficie de la chapa de acero necesita ser brillante, puede realizarse laminación de alisado tras la laminación en frío o recocido de acabado.

Un método de producción más preferible implica especificar algunas de las condiciones de la realización de la etapa de laminación en caliente y la etapa de laminación en frío. En la elaboración de acero, es preferible producir un acero fundido que contiene los componentes esenciales mencionados anteriormente y componentes de aditivo opcionales mediante fusión y refinado con un convertidor, un horno eléctrico, o similares y realizando refinado secundario mediante un método de descarburación de oxígeno a vacío (método de VOD) o un método de descarburación de oxígeno y argón (método de AOD). El acero fundido refinado puede formarse para dar un material de acero mediante un método de producción conocido y un método de colada continua es preferible desde los puntos de vista de productividad y calidad.

Un material de acero obtenido mediante colada continua se calienta, por ejemplo, de hasta 1000 hasta 1250°C y se lamina en caliente para dar una chapa laminada en caliente que tiene un grosor deseado. Ciertamente, el material de acero puede trabajarse para dar una forma distinta de una chapa. Si se necesita, esta chapa laminada en caliente se somete a recocido en lotes a de 600 a 900°C o recocido continuo a de 850°C a 1050°C y decapado, por ejemplo,

para retirar la cascarilla y, por tanto, se obtiene una chapa laminada en caliente. Si se necesita, puede retirarse la cascarilla mediante chorreo con granalla antes del decapado

Además, con el fin de obtener una chapa recocida y laminada en frío, la chapa recocida y laminada en caliente obtenida como antes se somete a una etapa de laminación en frío para convertirse en una chapa laminada en frío. En esta etapa de laminación en frío, puede realizarse laminación en frío dos o más veces con recocido intermedio entre medias según se necesite dependiendo de los factores relacionados con la producción. La reducción total en la etapa de laminación en frío en la que se realiza laminación en frío una vez o dos o más veces ha de ser del 60% o más y preferiblemente del 70% o más.

La chapa laminada en frío se somete entonces a recocido continuo (recocido de acabado) a de 850 a 1000°C y decapado para obtener una chapa recocida y laminada en frío. Dependiendo del uso, la chapa puede laminarse moderadamente (laminación de alisado o similar) tras el decapado para ajustar la forma y la calidad de la chapa de acero.

Un producto de chapa laminada en caliente o un producto de chapa recocida laminada en frío producida como tal se somete a doblado o similar dependiendo del uso para formar tubos de escape y carcasas de catalizador de automóviles y motocicletas, conductos de escape de centrales de energía térmica, y partes (por ejemplo, separadores, interconectores y reformadores) relacionadas con pilas de combustible.

El método para soldar estas partes no está particularmente limitado. Pueden aplicarse métodos de soldadura por arco tales como métodos de soldadura de gas inerte de metal (MIG), gas activo de metal (MAG) y gas inerte de tungsteno (TIG), métodos de soldadura por resistencia tales como soldadura por puntos y soldadura por costura, y soldadura por resistencia de alta frecuencia y soldadura por inducción a alta frecuencia usados en un método de soldadura eléctrica de este tipo.

EJEMPLO 1

Se prepararon los aceros n.ºs 1 a 80 (% significa % en masa) que tenían las composiciones mostradas en las tablas 1-1 a 1-6 mediante fusión en un horno de fusión a vacío y se colaron para producir lingotes de acero de 30 kg. Se calentó cada lingote hasta 1170°C y se laminó en caliente para dar un llantón que tenía un grosor de 35 mm y una anchura de 150 mm. Se dividió el llantón, se forjó en caliente un segmento para dar una barra cuadrada que tenía una sección transversal de 30 mm x 30 mm, se recoció en el intervalo de temperatura de 850 a 1000°C, y se mecanizó para preparar una muestra de ensayo de fatiga térmica que tenía las dimensiones mostradas en la figura 1, y se sometió la muestra a un ensayo de fatiga térmica. Obsérvese que la temperatura de recocido se fijó dentro del intervalo descrito anteriormente mientras se monitoriza la microestructura de modo que la temperatura era adecuada para la composición.

Se calentó el otro segmento del llantón hasta 1050°C y se laminó en caliente para dar una chapa laminada en caliente que tenía un grosor de 5 mm. Se realiza entonces recocido en el intervalo de temperatura de 850 a 1050°C y se retiró la cascarilla sobre la superficie mediante decapado o pulido. En esta fase, se observó visualmente la presencia o ausencia de la normalidad de superficie de la chapa de acero. Se laminó en frío la chapa de acero hasta un grosor de 2 mm y se sometió a recocido de acabado dentro del intervalo de temperatura de 850 a 1000°C para convertirse en una chapa recocida y laminada en frío. Se cortó una muestra de 30 mm de longitud y 20 mm de anchura de la chapa recocida y laminada en frío. Se pulieron las seis caras de la muestra con un papel de lija n.º 320 y se sometió la muestra a un ensayo de oxidación continua y a un ensayo de oxidación cíclica descrito a continuación.

1.1 Respecto al ensayo de fatiga térmica

La figura 2 muestra un procedimiento de ensayo de fatiga térmica. Se calentó repetidamente una muestra de ensayo de fatiga térmica a una velocidad de calentamiento de 10°C/s y se enfrió a una velocidad de enfriamiento de 10°C/s entre 100°C y 850°C y, simultáneamente, se aplicó tensión repetidamente a la muestra a una razón de restricción de 0,3 para medir la vida útil con fatiga térmica. El tiempo de mantenimiento a 100°C y 850°C fue de 2 min cada uno.

En este caso, se determinó la vida útil con fatiga térmica tal como sigue según el método de ensayo convencional para ensayos de fatiga a alta temperatura y pocos ciclos establecidos en la norma de la Sociedad de ciencias de materiales, Japón: , se calculó la tensión dividiendo la carga detectada a 100°C entre el área de sección transversal de la porción medida de la muestra mostrada en la figura 1, y se definió el número de ciclos en los que la tensión disminuyó hasta el 75% de la tensión en el quinto ciclo para ser la vida útil con fatiga térmica. Por comparación, se realizó el mismo ensayo en un acero que contenía Nb-Si (el 15% en masa de Cr-el 0,9% en masa de Si-el 0,4% en masa de Nb).

El criterio de evaluación del ensayo de fatiga térmica fue tal como sigue: se evaluó una muestra con una vida útil con fatiga térmica igual a o mayor que la de la muestra de acero que contiene Nb-Si (940 ciclos) como que pasa y se evaluó una muestra con una vida con fatiga térmica de menos de 940 ciclos como que no pasa. Los resultados de evaluación se muestran en las tablas 1-2, 1-4 y 1-6.

1.2 Respecto al ensayo de oxidación continua

La muestra de ensayo de oxidación descrita anteriormente se mantuvo durante 400 horas en una atmósfera de aire calentada hasta 1050°C en un horno, se midió la diferencia en masa de la muestra entre antes y después del mantenimiento, y se calculó el aumento de peso por oxidación por área unitaria (g/m²). Se realizó el ensayo dos veces en cada muestra.

El criterio de evaluación del ensayo de oxidación continua fue tal como sigue: se evaluó una muestra con un aumento de peso por oxidación de menos de 50 g/m² después del ensayo de oxidación continua como que pasa y se evaluó una muestra que experimentó un aumento de peso por oxidación de 50 g/m² o más incluso una vez como que no pasa. Los resultados de evaluación se muestran en las tablas 1-2, 1-4 y 1-6.

1.3 Respecto al ensayo de oxidación cíclica

Se sometió la muestra de ensayo de oxidación descrita anteriormente a 400 ciclos de un tratamiento térmico que incluía repetición de mantenimiento a 100°C x 1 min, calentamiento hasta 1050°C, mantenimiento a 1050°C x 20 min y enfriamiento hasta 100°C en aire, y después se midió la diferencia en masa de la muestra entre antes y después del ensayo. Se calculó el aumento de peso por oxidación por área unitaria (g/m²) y se comprobó la ausencia o presencia de cascarilla que se separa de la superficie de la muestra (desconchado de cascarilla). En este ensayo, la velocidad de calentamiento y la velocidad de enfriamiento fueron de 5°C/s y 1,5 °C/s, respectivamente.

Respecto a los resultados de evaluación del ensayo de oxidación cíclica, se evaluó una muestra en la que no se observó desconchado de la cascarilla de óxido sobre la superficie de la muestra después del ensayo de oxidación cíclica como que pasa, se evaluó una muestra en la que se observó desconchado como que no pasa, y se evaluó una muestra en la que se produjo oxidación de avance rápido (aumento de peso por oxidación de 50 g/m² o más) como que no pasa (oxidación de avance rápido). Los resultados de evaluación se muestran en las tablas 1-2, 1-4 y 1-6.

[Tabla 1-1]

n.º	Composición (% en masa)													
	C	Si	Mn	P	S	Cr	N	Al	Ti	Cu	Ni	Nb	Mo	W
1	0,005	0,83	0,16	0,03	0,002	12,3	0,010	1,98	0,25	-	0,08	-	-	-
2	0,007	0,18	0,19	0,02	0,003	12,5	0,011	3,03	0,23	0,03	0,10	-	-	-
3	0,009	1,21	0,17	0,03	0,002	11,8	0,009	2,56	0,27	0,02	0,11	0,07	-	-
4	0,007	0,76	0,13	0,02	0,002	12,7	0,010	2,11	0,24	-	0,09	0,08	-	-
5	0,007	0,13	0,22	0,02	0,002	13,2	0,009	2,95	0,25	-	0,12	0,11	-	-
6	0,006	0,56	0,18	0,02	0,002	14,5	0,010	2,42	0,22	-	0,03	-	-	-
7	0,008	0,90	0,26	0,03	0,003	10,6	0,009	1,56	0,28	0,004	0,07	-	-	-
8	0,009	0,34	0,24	0,02	0,002	11,1	0,011	3,33	0,21	-	0,09	0,06	0,28	-
9	0,005	0,70	0,39	0,02	0,003	14,7	0,010	2,35	0,24	0,25	0,07	-	-	-
10	0,010	0,54	0,22	0,03	0,002	12,2	0,008	1,77	0,20	0,03	0,15	-	0,06	-
11	0,006	0,72	0,20	0,02	0,003	10,9	0,012	2,09	0,19	-	0,21	-	-	0,05
12	0,008	0,95	0,36	0,03	0,003	13,1	0,010	1,90	0,18	0,01	0,24	-	-	-
13	0,007	1,39	0,48	0,02	0,002	15,3	0,011	3,47	0,30	0,02	0,13	-	-	-
14	0,009	0,43	0,36	0,02	0,001	12,4	0,009	1,86	0,28	-	0,17	0,09	-	-
15	0,011	1,04	0,14	0,02	0,003	11,5	0,011	2,80	0,24	0,18	0,36	-	-	-
16	0,008	0,29	0,26	0,02	0,001	10,3	0,010	1,69	0,19	-	0,23	0,03	0,04	0,03
17	0,010	0,21	0,18	0,03	0,002	11,3	0,009	3,28	0,26	-	0,09	-	-	-
18	0,009	0,54	0,22	0,03	0,002	12,8	0,011	2,24	0,14	0,02	0,20	-	-	-
19	0,010	0,87	0,18	0,02	0,002	14,0	0,001	2,69	0,29	0,03	0,02	0,08	-	-
20	0,009	0,60	0,27	0,03	0,001	15,4	0,0080	1,75	0,23	-	0,14	0,04	-	-
21	0,005	0,99	0,30	0,03	0,003	13,3	0,009	0,89	0,18	0,04	0,16	-	-	-
22	0,006	0,86	0,13	0,02	0,002	14,2	0,007	4,12	0,37	-	0,17	-	-	-
23	0,007	0,34	0,15	0,02	0,002	9,4	0,012	1,91	0,20	-	0,21	0,12	-	-
24	0,008	0,77	0,24	0,02	0,003	13,7	0,010	2,22	0,26	1,06	0,09	-	-	-
25	0,006	0,38	0,43	0,02	0,002	10,5	0,010	0,02	0,15	1,26	-	-	-	-

Nota: el subrayado indica que las muestras están fuera del alcance de la presente invención.

[Tabla 1-2]

n.	Composición (% en masa)								Ensayo de fatiga térmica	Ensayo de oxidación continua	Ensayo de oxidación cíclica	Nota
	V	Co	Zr	REM	B	Ca	Mg	% de Al/% de Cr				
1	-	-	-	-	0,0002	0,0007	0,0005	0,16	Pasa	Pasa	Pasa	Ejemplo
2	-	-	-	-	0,0003	0,0006	-	0,24	Pasa	Pasa	Pasa	Ejemplo
3	-	-	-	-	0,0002	0,0011	0,0006	0,22	Pasa	Pasa	Pasa	Ejemplo comparativo
4	-	-	-	-	0,0004	-	0,0010	0,17	Pasa	Pasa	Pasa	Ejemplo
5	-	-	-	-	0,0003	-	0,0009	0,22	Pasa	Pasa	Pasa	Ejemplo
6	-	-	-	-	0,0005	-	-	0,17	Pasa	Pasa	Pasa	Ejemplo comparativo
7	-	-	-	-	0,0004	0,0010	0,0009	0,15	Pasa	Pasa	Pasa	Ejemplo
8	-	-	-	-	0,0006	0,0009	0,0015	0,30	Pasa	Pasa	Pasa	Ejemplo
9	-	-	-	-	0,0005	0,0008	0,0006	0,16	Pasa	Pasa	Pasa	Ejemplo comparativo
10	-	-	-	-	0,0005	-	-	0,15	Pasa	Pasa	Pasa	Ejemplo
11	-	-	-	-	0,0004	-	0,0007	0,19	Pasa	Pasa	Pasa	Ejemplo
12	-	0,03	-	-	0,0006	0,0012	0,0003	0,15	Pasa	Pasa	Pasa	Ejemplo
13	0,05	-	-	-	0,0009	0,0018	-	0,23	Pasa	Pasa	Pasa	Ejemplo comparativo
14	-	-	0,06	-	0,0015	0,0002	0,0009	0,15	Pasa	Pasa	Pasa	Ejemplo
15	0,19	-	-	-	0,0007	0,0007	0,0012	0,24	Pasa	Pasa	Pasa	Ejemplo
16	-	-	-	-	0,0003	0,0009	0,0014	0,16	Pasa	Pasa	Pasa	Ejemplo
17	-	-	-	0,01	0,0007	0,0008	0,0015	0,29	Pasa	Pasa	Pasa	Ejemplo
18	-	-	-	-	0,0002	0,0010	0,0009	0,18	<u>No pasa</u>	Pasa	Pasa	Ejemplo comparativo
19	-	-	-	-	0,0005	-	0,0008	0,19	Pasa	Pasa	<u>No pasa</u>	Ejemplo comparativo
20	-	-	-	-	0,0004	0,0008	-	<u>0,11</u>	Pasa	<u>No pasa</u>	<u>No pasa</u>	Ejemplo comparativo
21	-	-	-	-	0,0006	0,0009	0,0007	<u>0,07</u>	<u>No pasa</u>	<u>No pasa</u>	<u>No pasa</u>	Ejemplo comparativo

22	-	-	-	-	0,0007	-	-	0,29	No <u>pasa</u>	Pasa	Pasa	Ejemplo comparativo
23	-	-	-	-	0,0009	0,0005	0,0006	0,20	Pasa	No <u>pasa</u>	No <u>pasa</u> (oxidación de <u>avance rápido</u>)	Ejemplo comparativo
24	-	-	-	-	0,0010	0,0005	0,0006	0,16	Pasa	No <u>pasa</u>	No <u>pasa</u> (oxidación de <u>avance rápido</u>)	Ejemplo comparativo
25	-	-	-	-	0,0008	-	-	<u>0,00</u>	No <u>pasa</u>	No <u>pasa</u>	No <u>pasa</u> (oxidación de <u>avance rápido</u>)	Ejemplo comparativo

Nota: el subrayado indica que las muestras están fuera del alcance de la presente invención.

[Tabla 1-3]

n.º	Composición (% en masa)													
	C	Si	Mn	P	S	Cr	N	Al	Ti	Cu	Ni	Nb	Mo	W
26	0,007	0,73	0,33	0,02	0,001	<u>14,3</u>	0,012	2,38	<u>0,14</u>	-	0,10	-	-	-
27	0,005	0,50	0,26	0,03	0,001	<u>18,6</u>	0,009	1,94	0,18	0,13	0,11	-	-	-
28	0,006	<u>1,95</u>	0,40	0,02	0,001	<u>15,6</u>	0,009	<u>1,29</u>	0,18	-	0,08	-	-	-
29	0,009	<u>0,41</u>	0,82	0,02	0,001	<u>15,4</u>	0,008	2,55	0,26	-	-	0,01	-	-
30	0,008	<u>0,83</u>	0,38	0,03	0,003	<u>14,9</u>	0,009	<u>0,02</u>	0,01	-	0,22	0,46	-	-
31	0,010	<u>0,11</u>	0,16	0,02	0,002	12,1	0,011	2,97	0,26	-	0,08	-	-	-
32	0,008	0,58	0,26	0,03	0,003	13,9	0,010	2,11	0,24	-	0,11	-	-	-
33	0,009	<u>0,32</u>	0,39	0,02	0,001	10,4	0,009	3,44	0,18	-	0,12	-	-	-
34	0,008	<u>1,47</u>	0,18	0,02	0,002	<u>15,7</u>	0,012	2,89	0,29	-	0,15	-	-	-
35	0,010	<u>0,20</u>	0,35	0,02	0,002	13,1	0,009	2,56	0,25	-	0,13	-	-	-
36	0,008	0,77	0,22	0,02	0,001	12,3	0,011	2,03	0,39	-	0,10	-	-	-
37	0,009	0,98	0,15	0,03	0,002	11,2	0,011	1,57	0,30	-	0,09	-	-	-
38	0,007	<u>0,55</u>	0,19	0,01	0,003	12,5	0,012	1,86	0,29	-	0,05	0,08	-	-
39	0,009	0,89	0,24	0,02	0,002	12,8	0,010	2,08	0,18	-	0,08	-	0,28	-
40	0,010	<u>0,30</u>	0,16	0,02	0,002	13,3	0,010	2,92	0,24	-	0,11	-	-	-
41	0,007	<u>0,13</u>	0,23	0,02	0,002	<u>14,5</u>	0,012	3,05	0,23	-	0,13	-	-	-
42	0,009	<u>0,10</u>	0,27	0,03	0,002	<u>15,5</u>	0,011	3,44	0,24	-	0,11	-	-	-
43	0,011	<u>1,47</u>	0,31	0,02	0,001	10,9	0,011	2,22	0,25	0,36	0,12	-	-	-
44	0,008	<u>0,26</u>	0,18	0,02	0,002	10,5	0,009	2,98	0,27	-	0,14	-	-	-
45	0,007	0,78	0,26	0,02	0,003	12,7	0,008	2,53	0,19	-	0,09	-	-	-
46	0,009	<u>1,11</u>	0,25	0,02	0,002	11,9	0,010	2,87	0,20	-	0,22	-	0,15	-
47	0,010	0,82	0,21	0,02	0,003	13,6	0,011	3,66	0,26	0,27	0,19	0,09	-	-
48	0,009	<u>0,14</u>	0,19	0,02	0,002	12,4	0,010	3,14	0,25	-	0,09	-	-	-
49	0,010	<u>0,33</u>	0,28	0,03	0,001	13,0	0,012	2,69	0,23	-	0,08	-	0,19	-
50	0,007	<u>1,45</u>	0,30	0,02	0,001	12,7	0,010	1,90	0,27	-	0,23	-	-	0,04

5 Nota: el subrayado indica que las muestras están fuera del alcance de la presente invención.

[Tabla 1-4]

n.	Composición (% en masa)								Ensayo de fatiga térmica	Ensayo de oxidación continua	Ensayo de oxidación cíclica	Nota
	V	Co	Zr	REM	B	Ca	Mg	% de Al/% de Cr				
26	-	-	-	-	-	-	-	0,17	<u>No pasa</u>	Pasa	Pasa	Ejemplo comparativo
27	0,06	-	-	-	-	-	-	<u>0,10</u>	Pasa	<u>No pasa</u>	<u>No pasa</u>	Ejemplo comparativo
28	0,22	-	-	-	-	-	-	<u>0,08</u>	Pasa	<u>No pasa</u>	<u>No pasa</u>	Ejemplo comparativo
29	0,09	-	-	-	-	-	-	0,17	Pasa	Pasa	<u>No pasa</u>	Ejemplo comparativo
30	-	-	-	-	0,0005	-	-	0,00	Pasa	<u>No pasa</u>	<u>No pasa (oxidación de avance rápido)</u>	Ejemplo convencional (que contiene Nb-Si)
31	-	-	-	-	-	-	-	0,25	Pasa	Pasa	Pasa	Ejemplo comparativo
32	-	-	-	-	-	-	-	0,15	Pasa	Pasa	Pasa	Ejemplo
33	-	-	-	-	-	-	-	0,33	Pasa	Pasa	Pasa	Ejemplo comparativo
34	-	-	-	-	-	-	-	0,18	Pasa	Pasa	Pasa	Ejemplo comparativo
35	-	-	-	-	-	-	-	0,20	Pasa	Pasa	Pasa	Ejemplo comparativo
36	-	-	-	-	-	-	-	0,17	Pasa	Pasa	Pasa	Ejemplo
37	-	-	-	-	-	-	-	0,14	Pasa	Pasa	Pasa	Ejemplo
38	-	-	-	-	-	-	-	0,15	Pasa	Pasa	Pasa	Ejemplo
39	-	-	-	-	-	-	-	0,16	Pasa	Pasa	Pasa	Ejemplo
40	-	-	0,07	-	-	-	-	0,22	Pasa	Pasa	Pasa	Ejemplo comparativo
41	-	-	-	-	-	0,0011	-	0,21	Pasa	Pasa	Pasa	Ejemplo comparativo
42	-	-	-	-	-	-	0,0008	0,22	Pasa	Pasa	Pasa	Ejemplo

ES 2 693 781 T3

												compara- tivo
43	-	-	-	-	-	-	-	0,20	Pasa	Pasa	Pasa	Ejemplo compara- tivo
44	0,13	-	-	-	-	-	-	0,28	Pasa	Pasa	Pasa	Ejemplo
45	-	0,04	-	-	-	-	-	0,20	Pasa	Pasa	Pasa	Ejemplo
46	-	0,05	-	-	-	-	-	0,24	Pasa	Pasa	Pasa	Ejemplo compara- tivo
47	-	-	-	-	-	-	-	0,27	Pasa	Pasa	Pasa	Ejemplo
48	-	-	-	-	-	0,0009	0,0010	0,25	Pasa	Pasa	Pasa	Ejemplo compara- tivo
49	-	0,10	-	-	0,0005	0,0007	0,0008	0,21	Pasa	Pasa	Pasa	Ejemplo compara- tivo
50	-	-	-	-	-	-	-	0,15	Pasa	Pasa	Pasa	Ejemplo compara- tivo

Nota: el subrayado indica que las muestras están fuera del alcance de la presente invención.

[Tabla 1-5]

n.º	Composición (% en masa)													
	C	Si	Mn	P	S	Cr	N	Al	Ti	Cu	Ni	Nb	Mo	W
51	0,008	0,51	0,31	0,03	0,002	10,1	0,010	2,37	0,31	-	0,22	-	-	-
52	0,011	0,77	0,28	0,02	0,002	<u>14,9</u>	0,008	2,23	0,25	-	0,18	-	-	-
53	0,009	<u>0,48</u>	0,17	0,02	0,002	<u>14,3</u>	0,012	2,37	0,24	-	0,17	-	-	-
54	0,012	<u>0,34</u>	0,12	0,03	0,002	11,6	0,008	2,00	<u>0,17</u>	-	0,25	0,07	0,05	-
55	0,009	1,11	0,46	0,02	0,002	14,0	0,011	3,00	0,29	-	0,28	0,06	-	0,03
56	0,010	0,87	0,16	0,02	0,001	12,9	0,011	3,91	0,27	0,18	0,20	-	0,21	
57	0,012	0,83	0,57	0,02	0,001	<u>14,8</u>	0,008	2,14	0,21	0,22	0,21	-	-	0,10
58	0,005	0,55	0,24	0,02	0,002	<u>14,1</u>	0,008	2,44	0,19	-	0,23	0,11	-	-
59	0,004	<u>1,57</u>	0,23	0,02	0,001	12,3	0,010	1,84	0,23	-	0,12	0,08	-	-
60	0,009	0,48	0,45	0,02	0,002	10,4	0,009	1,47	0,26	-	0,07	0,09	-	-
61	0,008	0,77	0,37	0,03	0,001	13,8	0,007	2,01	0,28	-	0,20	0,12	-	-
62	0,010	0,91	0,31	0,02	0,001	11,1	0,009	2,43	0,24	0,15	0,06	-	-	-
63	0,009	<u>2,04</u>	0,20	0,01	0,002	11,5	0,010	3,69	0,21	0,24	0,08	-	-	-
64	0,008	0,79	0,15	0,02	0,002	<u>15,2</u>	0,011	3,09	0,19	0,33	0,11	-	-	-
65	0,006	<u>1,09</u>	0,28	0,02	0,002	12,8	0,007	2,97	0,28	0,29	0,17	-	-	-
66	0,007	0,86	0,13	0,02	0,002	11,8	0,011	1,81	0,20	-	0,24	0,08	0,04	-
67	0,009	0,17	0,96	0,02	0,002	<u>15,2</u>	0,009	2,74	0,19	-	0,08	0,10	0,13	-

ES 2 693 781 T3

68	0,011	0,79	0,18	0,03	0,001	<u>14,8</u>	0,011	3,53	0,22	-	0,14	0,09	0,14	-
69	0,012	0,31	0,59	0,01	0,002	10,5	0,010	2,05	0,24	0,21	0,21	-	0,09	-
70	0,010	0,64	0,22	0,02	0,002	12,4	0,010	2,31	0,28	0,23	0,11	-	0,20	-
71	0,009	0,39	0,77	0,03	0,001	11,5	0,010	3,20	0,26	0,34	0,26	-	0,31	-
72	0,008	0,64	0,17	0,02	0,002	13,8	0,011	2,54	0,23	-	0,08	-	0,02	-
73	0,009	0,73	0,13	0,02	0,001	<u>14,2</u>	0,012	2,88	0,27	-	0,19	-	0,02	-
74	0,006	<u>0,40</u>	0,25	0,01	0,002	11,8	0,012	2,01	0,20	-	0,15	-	-	0,02
75	0,010	0,58	0,31	0,02	0,002	<u>15,0</u>	0,010	3,13	0,25	-	0,11	-	-	0,03
76	0,006	<u>1,23</u>	0,17	0,02	0,001	<u>15,5</u>	0,010	2,03	0,21	-	0,09	-	-	-
77	0,007	0,78	0,33	0,02	0,002	<u>14,2</u>	0,010	1,84	0,30	-	0,10	-	-	-
78	0,007	0,38	0,31	0,02	0,003	11,1	0,011	1,48	0,28	-	0,12	-	-	-
79	0,009	0,99	0,20	0,01	0,002	13,3	0,009	1,56	0,26	-	0,11	-	-	-
80	0,008	<u>1,46</u>	0,56	0,03	0,002	<u>14,6</u>	0,011	1,79	0,26	-	0,06	-	-	-

[Tabla 1-6]

n.	Composición (% en masa)								Ensayo de fatiga térmica	Ensayo de oxidación continua	Ensayo de oxidación cíclica	Nota
	V	Co	Zr	REM	B	Ca	Mg	% de Al/% de Cr				
51	-	-	-	0,02	-	-	-	0,23	Pasa	Pasa	Pasa	Ejemplo
52	0,05	0,03	-	-	-	-	-	0,15	Pasa	Pasa	Pasa	Ejemplo comparativo
53	-	0,06	0,04	-	-	-	-	0,17	Pasa	Pasa	Pasa	Ejemplo comparativo
54	-	-	-	-	-	-	-	0,17	Pasa	Pasa	Pasa	Ejemplo comparativo
55	-	-	-	-	-	-	-	0,21	Pasa	Pasa	Pasa	Ejemplo
56	-	-	-	-	-	-	-	0,30	Pasa	Pasa	Pasa	Ejemplo
57	-	-	-	-	-	-	-	0,14	Pasa	Pasa	Pasa	Ejemplo comparativo
58	-	-	-	0,04	-	-	-	0,17	Pasa	Pasa	Pasa	Ejemplo comparativo
59	-	-	0,05	-	-	-	-	0,15	Pasa	Pasa	Pasa	Ejemplo comparativo
60	-	0,03	-	-	-	-	-	0,14	Pasa	Pasa	Pasa	Ejemplo

61	0,19	-	-	-	-	-	-	0,15	Pasa	Pasa	Pasa	Ejemplo
62	-	-	-	0,05	-	-	-	0,22	Pasa	Pasa	Pasa	Ejemplo
63	-	-	0,03	-	-	-	-	0,32	Pasa	Pasa	Pasa	Ejemplo compara- tivo
64	-	0,04	-	-	-	-	-	0,20	Pasa	Pasa	Pasa	Ejemplo compara- tivo
65	0,19	-	-	-	-	-	-	0,23	Pasa	Pasa	Pasa	Ejemplo compara- tivo
66	-	-	0,02	-	-	-	-	0,15	Pasa	Pasa	Pasa	Ejemplo
67	0,11	-	-	-	-	-	-	0,18	Pasa	Pasa	Pasa	Ejemplo compara- tivo
68	-	0,05	-	-	-	-	-	0,24	Pasa	Pasa	Pasa	Ejemplo compara- tivo
69	-	-	0,07	-	-	-	-	0,19	Pasa	Pasa	Pasa	Ejemplo
70	0,17	-	-	-	-	-	-	0,19	Pasa	Pasa	Pasa	Ejemplo
71	-	0,06	-	-	-	-	-	0,28	Pasa	Pasa	Pasa	Ejemplo
72	0,01	-	-	-	-	-	-	0,18	Pasa	Pasa	Pasa	Ejemplo
73	0,02	-	-	-	0,0002	-	-	0,20	Pasa	Pasa	Pasa	Ejemplo compara- tivo
74	0,03	-	-	-	-	-	-	0,17	Pasa	Pasa	Pasa	Ejemplo compara- tivo
75	-	0,02	-	-	-	-	-	0,21	Pasa	Pasa	Pasa	Ejemplo compara- tivo
76	-	-	-	-	-	-	-	<u>0,13</u>	Pasa	No pasa	No pasa	Ejemplo compara- tivo
77	-	-	-	-	-	-	-	<u>0,13</u>	Pasa	<u>No pasa</u>	<u>No pasa</u>	Ejemplo compara- tivo
78	-	-	-	-	-	-	-	<u>0,13</u>	Pasa	<u>No pasa</u>	<u>No pasa</u>	Ejemplo compara- tivo
79	-	-	-	-	-	-	-	<u>0,12</u>	Pasa	<u>No pasa</u>	<u>No pasa</u>	Ejemplo compara- tivo
80	-	-	-	-	-	-	-	<u>0,12</u>	Pasa	<u>No pasa</u>	<u>No pasa</u>	Ejemplo compara- tivo

Con referencia a las tablas 1-1 a 1-6, los ejemplos n.ºs 1 a 17 y los ejemplos n.ºs 31 a 75 de la presente invención, todos tuvieron una buena propiedad de fatiga térmica, buena resistencia a la oxidación continua y buena resistencia

a la oxidación cíclica. Las chapas de acero laminadas, recocidas y decapadas de los ejemplos de la presente invención no tuvieron defectos sobre las superficies y tuvieron una buena calidad de superficie.

5 En cambio, el ejemplo comparativo n.º 18 tuvo un bajo contenido en Ti del 0,14% y, por tanto, no pasó la propiedad de fatiga térmica. El ejemplo comparativo n.º 19 tuvo un bajo contenido en Ni del 0,02% y no pasó la resistencia a la oxidación cíclica. Los ejemplos comparativos n.º 20 y n.ºs 76 a 80 tuvieron un valor de % de Al/% de Cr menor de 0,14 y, por tanto, no pasaron la resistencia a la oxidación (tanto continua como cíclica). El ejemplo comparativo n.º 21 tuvo un bajo contenido en Al del 0,89% y, por tanto, no pasó la propiedad de fatiga térmica (850°C); además, el ejemplo comparativo n.º 21 tuvo un bajo valor de % de Al/% de Cr de 0,07 y, por tanto, no pasó la resistencia a la oxidación (tanto continua como cíclica). El ejemplo comparativo n.º 22 tuvo un alto contenido en Al del 4,12% y, por tanto, no pasó la propiedad de fatiga térmica. El ejemplo comparativo n.º 23 tuvo un bajo contenido en Cr del 9,4% y, por tanto, no pasó la resistencia a la oxidación (tanto continua como cíclica). El ejemplo comparativo n.º 24 tuvo un alto contenido en Cu del 1,06% y, por tanto, no pasó la resistencia a la oxidación (tanto continua como cíclica).

15 El ejemplo comparativo n.º 25 tuvo un bajo contenido en Al y un bajo contenido en Ti y, por tanto, no pasó la propiedad de fatiga térmica. Además, puesto que el contenido en Cu fue tan alto como el 1,25%, la resistencia a la oxidación (tanto continua como cíclica) se evaluó como que no pasa y puesto que no estaba contenido Ni, la propiedad de oxidación cíclica se evaluó como que no pasa. El ejemplo comparativo n.º 26 tuvo un bajo contenido en Ti y, por tanto, no pasó la propiedad de fatiga térmica. Los ejemplos comparativos n.ºs 27 y 28 tuvieron un pequeño valor de % de Al/% de Cr y, por tanto, no pasaron la resistencia a la oxidación (tanto continua como cíclica). El ejemplo comparativo n.º 29 no contenía Ni y, por tanto, no pasó la propiedad de oxidación cíclica.

20 Por consiguiente, es evidente que los aceros dentro del intervalo de la presente invención tienen buenas propiedades de fatiga térmica y resistencia a la oxidación.

Aplicabilidad industrial

25 Un acero según la presente invención no sólo es adecuado para su uso en partes de sistema de escape de automóviles, etc., sino que también es adecuado para su uso en partes de sistema de escape de centrales de energía térmica y partes de una pila de combustible de óxido sólido que requieren similares propiedades.

REIVINDICACIONES

1. Acero inoxidable ferrítico que consiste en, en términos de % en masa, C: el 0,020% o menos y el 0,001% o más, Si: el 1,0% o menos y el 0,5% o más, Mn: el 1,0% o menos y el 0,1% o más, P: el 0,040% o menos, S: el 0,010% o menos, Cr: el 10,0% o más y el 14,0% o menos, N: el 0,020% o menos, Al: del 1,4 al 4,0%, Ti: el 0,18% o más y el 0,5% o menos, Ni: del 0,05 al 0,5%, opcionalmente al menos uno seleccionado de Nb: del 0,01 al 0,15%, Cu: el 0,01% o más y menos del 0,4%, Mo: del 0,02 al 0,5%, W: del 0,02 al 0,3%, REM: del 0,001 al 0,10%, Zr: del 0,01 al 0,5%, V: del 0,01 al 0,5%, Co: del 0,01 al 0,5%, B: del 0,0002 al 0,0050%, Mg: del 0,0002 al 0,0020% y Ca: del 0,0005 al 0,0030%, y siendo el resto Fe e impurezas inevitables, cumpliendo el acero inoxidable ferrítico la fórmula (1) a continuación:
5
10
% de Al/% de Cr $\geq 0,14$ (1)
donde el % de Al y el % de Cr en la fórmula denotan respectivamente el contenido en Al y el contenido en Cr (% en masa).

FIG. 1

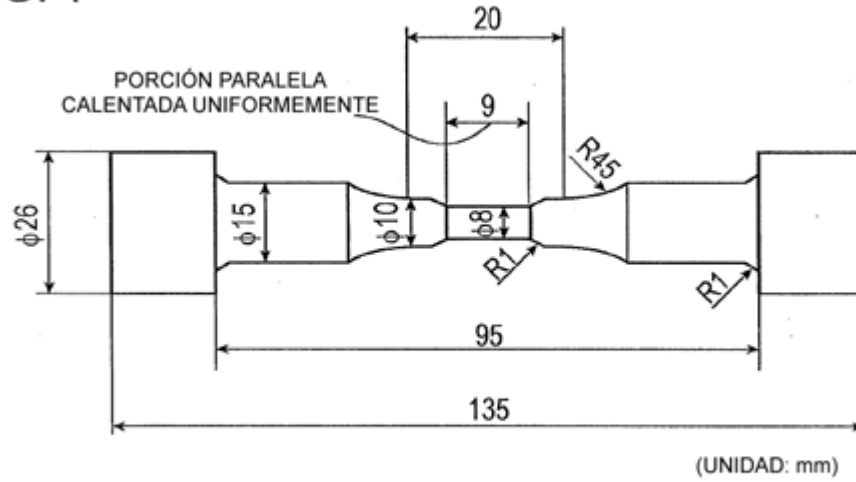


FIG. 2

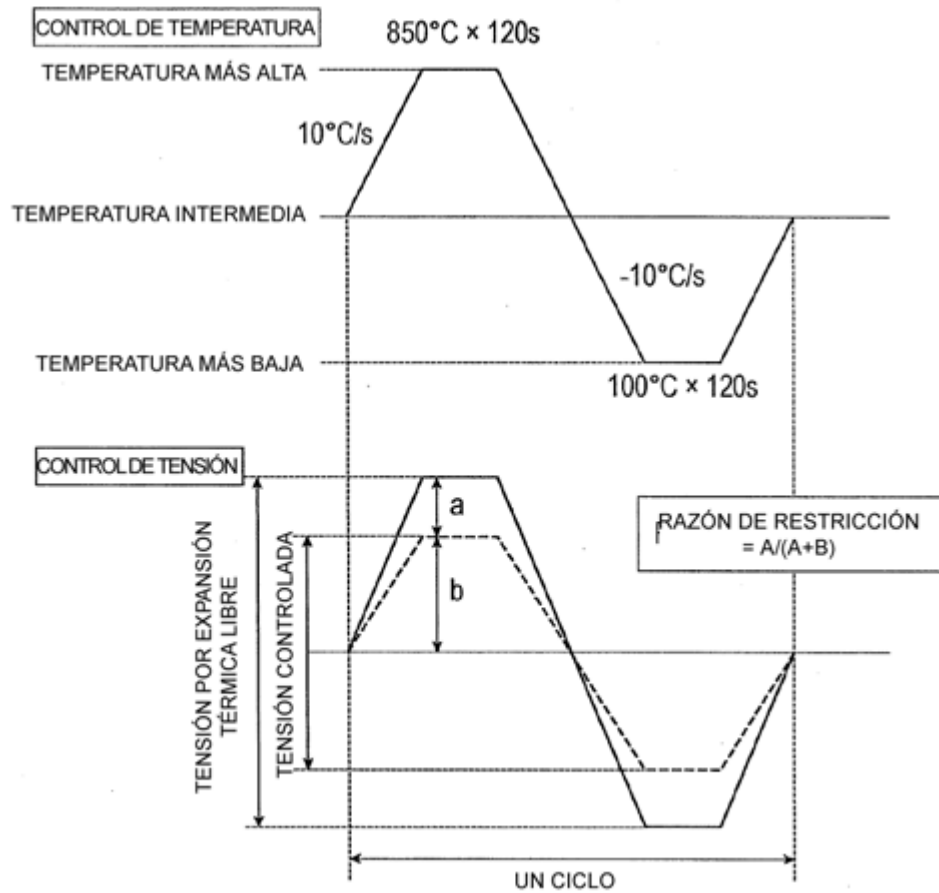


FIG. 3

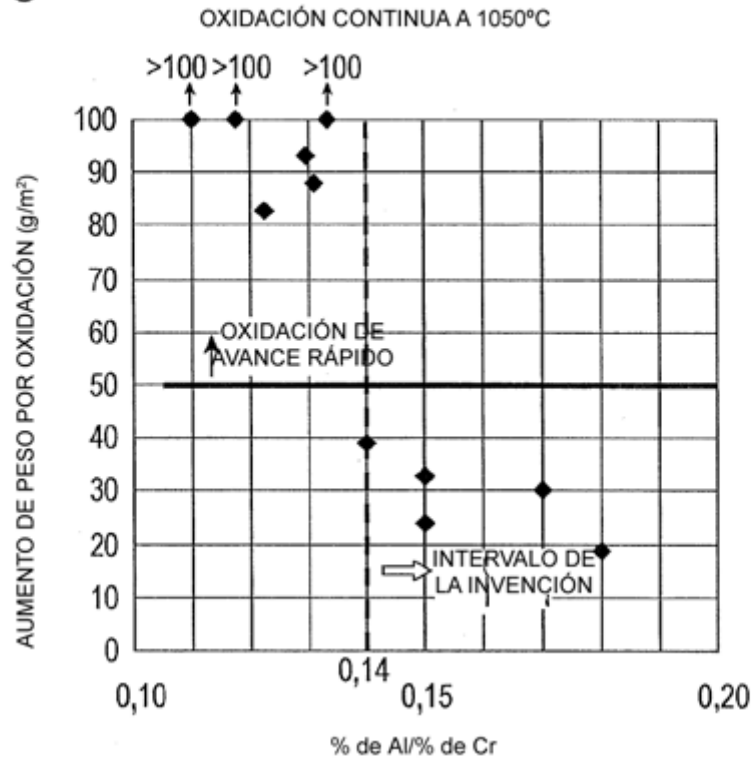


FIG. 4

