

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 613 452**

51 Int. Cl.:

C22C 38/00	(2006.01)	C22C 38/50	(2006.01)
C22C 38/58	(2006.01)	C22C 38/52	(2006.01)
C22C 38/02	(2006.01)	C22C 38/54	(2006.01)
C22C 38/04	(2006.01)	C21D 6/00	(2006.01)
C22C 38/06	(2006.01)	C21D 8/02	(2006.01)
C22C 38/34	(2006.01)	C21D 9/46	(2006.01)
C22C 38/42	(2006.01)		
C22C 38/44	(2006.01)		
C22C 38/46	(2006.01)		
C22C 38/48	(2006.01)		

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **11.10.2012 PCT/JP2012/006524**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **18.04.2013 WO2013054524**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.10.2012 E 12840283 (1)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.12.2016 EP 2767605**

54 Título: **Acero inoxidable ferrítico**

30 Prioridad:

14.10.2011 JP 2011226505
25.09.2012 JP 2012210443

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
24.05.2017

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

NAKAMURA, TETSUYUKI;
OTA, HIROKI y
OGATA, HIROYUKI

74 Agente/Representante:

MILTENYI, Peter

ES 2 613 452 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

5 Campo técnico

La presente invención se refiere a acero inoxidable ferrítico que puede ser utilizado preferiblemente para piezas de un sistema de escape, que se utilizan en un entorno de alta temperatura, tal como un tubo de escape y un cilindro exterior catalizador (también denominado carcasa del convertidor) de un automóvil o una motocicleta y un conducto de aire de escape de una planta de energía termoeléctrica.

Estado de la técnica

15 Las piezas de un sistema de escape, tal como un colector de escape, un tubo de escape, una carcasa del convertidor, y un silenciador que se utilizan en el entorno del sistema de escape de un automóvil, se requiere que sean excelentes en resistencia a fatiga térmica, resistencia a fatiga a alta temperatura y resistencia a oxidación (en lo sucesivo, se denominan colectivamente como "resistencia térmica"). Para aplicaciones de uso en las que se requiere una resistencia térmica tal como se ha descrito antes, actualmente se utiliza a menudo acero que contiene Cr al cual se le añade Nb y Si, tal como JFE429EX (que contiene 15% en masa de Cr - 0,9% en masa de Si - 0,4% en masa de Nb) (en lo sucesivo, se denomina acero con Nb-Si añadido). En particular, es conocido que el Nb aumenta significativamente la resistencia térmica. Si se añade Nb, sin embargo, no sólo aumenta el coste de material debido al Nb que es costoso, sino también el coste de fabricación del acero. Por lo tanto, es necesario que el acero que tiene una alta resistencia térmica se desarrolle bajo la condición de que el contenido en Nb se controle para que sea lo más pequeño posible.

25 Con el fin de resolver este problema, la Literatura de patente 1 describe una lámina de acero inoxidable cuya resistencia térmica se aumenta utilizando la adición combinada de Ti, Cu, y B.

30 La literatura de Patente 2 describe una lámina de acero inoxidable con Cu añadido con una excelente formabilidad.

La literatura de Patente 3 describe una lámina de acero inoxidable ferrítico resistente al calor a la cual se le añade Cu, Ti, y Ni.

Lista de citas

35 Literatura de Patente

PTL 1: publicación de solicitud de patente japonesa no examinada No. 2010-248.620

PTL 2: publicación de solicitud de patente japonesa no examinada No. 2008-138270

40 PTL 3: publicación de solicitud de patente japonesa no examinada No. 2009-68113

Descripción de la invención

Problema técnico

45 Sin embargo, en el caso de la técnica de acuerdo con la Literatura de patente 1, dado que se añade Cu, la resistencia a la oxidación continua no es satisfactoria y, dado que se añade Ti, se reduce la adhesividad de la capa de óxido. Si la resistencia a la oxidación continua es insuficiente, aumenta la cantidad de capa de óxido durante un funcionamiento a alta temperatura, lo que resulta en una disminución del grosor del material base, y no puede obtenerse una resistencia a la fatiga térmica excelente. Además, si la adherencia de la capa de óxido es baja, se produce un desprendimiento de la capa de óxido durante el funcionamiento y puede provocar que afecte negativamente a otras piezas.

50 Normalmente, con el fin de evaluar el aumento de la cantidad de la capa de óxido, se realiza una prueba de oxidación continua para determinar una ganancia de peso por oxidación después de mantener isotérmicamente a alta temperatura, y el resultado indica una propiedad denominada resistencia a la oxidación continua. Con el fin de evaluar la adhesividad de la capa de óxido, se ha realizado repetidamente una prueba de oxidación cíclica en el aire para investigar si se produce o no desprendimiento de la capa de óxido después de calentamiento y enfriamiento, y el resultado indica una propiedad denominada resistencia a la oxidación cíclica. De aquí en adelante, "resistencia a la oxidación" se refiere tanto a la resistencia a la oxidación como a la resistencia a la oxidación cíclica continua.

60 En el caso de la técnica de acuerdo con la Literatura de patente 2, dado que el Ti se añade al acero de manera insuficiente, esto produce sensibilización, lo que significa que se forma una zona de reducción de Cr cerca de los límites de grano debido a la combinación de Cr con C y N en el acero. Si se produce la sensibilización, dado que se

reduce la resistencia a la oxidación en una zona de reducción de Cr, desafortunadamente se consigue una excelente resistencia a la oxidación del acero.

5 En el caso de la técnica de acuerdo con la Literatura de patente 3, no se describe un ejemplo, en el que se añade B en combinación con Cu, Ti, y Ni. Si no se añade B, dado que no puede realizarse un efecto de la reducción de un tamaño de partícula de ϵ -Cu en su precipitación, desafortunadamente se consigue una excelente resistencia a la fatiga térmica.

10 Con el fin de resolver los problemas descritos anteriormente, la presente invención dispone acero inoxidable ferrítico excelente en resistencia a fatiga térmica, resistencia a fatiga a alta temperatura, y resistencia a la oxidación mediante la no adición ni de Mo ni de W, que son los elementos químicos costosos, controlando el contenido de Nb para que sea tan pequeño como sea posible, añadiendo una cantidad adecuada de Ni para mejorar la resistencia a la oxidación que se reduce por la adición de Cu y Ti, y añadiendo además Al.

15 Solución al Problema

Los presentes inventores llevaron a cabo con diligencia investigaciones para evitar la disminución de la resistencia a la oxidación cuando Cu y Ti se encuentran contenidos y encontraron que la resistencia a la oxidación puede mejorarse conteniendo una cantidad adecuada de Ni. Además, si bien es eficaz añadir Cu para mejorar la resistencia a la fatiga térmica con la condición de que se lleve a cabo calentamiento y enfriamiento repetidamente, no es significativamente eficaz añadir Cu para mejorar la resistencia a la fatiga a alta temperatura en el estado en que la temperatura se mantiene constante durante un largo período de tiempo. Esto se debe a que el tamaño de partícula de ϵ -Cu aumenta en un corto período de tiempo cuando ϵ -Cu se mantiene durante un largo período de tiempo en un intervalo de temperatura en el que el ϵ -Cu precipita, de modo que el ϵ -Cu puede contribuir a la resistencia. Aunque el ϵ -Cu puede contribuir a la resistencia por refuerzo en solución sólida cuando se mantiene a una temperatura más elevada que el rango en el cual el ϵ -Cu precipita, la contribución es pequeña. Los presentes inventores llevaron a cabo investigaciones con diligencia sobre un procedimiento para aumentar también la resistencia a la fatiga a alta temperatura y se encontró que la adición de Al es eficaz.

30 Aquí, la "excelente resistencia a la fatiga térmica" que se menciona en la presente invención significa específicamente que un material presenta una durabilidad a fatiga térmica equivalente o superior a la de acero con Nb-Si añadido en una prueba de fatiga térmica en la que se varía repetidamente la temperatura entre 800° C y 100° C con una relación de restricción de 0,5. Una "excelente resistencia a la oxidación" significa que no se produce oxidación de ruptura (una ganancia de peso por oxidación es menos de 50 g/m²) incluso si el material se mantiene en aire a una temperatura de 1000° C durante 300 horas y que el desprendimiento de la capa de óxido no se produce incluso después de que se haya variado repetidamente la temperatura en el aire entre 1000° C y 100° C durante 400 ciclos.

40 Una "excelente resistencia a fatiga alta temperatura" significa que el material presenta durabilidad a fatiga a alta temperatura equivalente o superior a la de acero con Nb-Si añadido cuando se aplica un esfuerzo de flexión de 70 MPa a una temperatura de 800° C.

La presente invención se ha completado en base a investigaciones, además de los conocimientos descritos anteriormente, y el objeto de la presente invención es tal como sigue.

45 [1] Acero inoxidable ferrítico que tiene una composición química que contiene, en % en masa, C: 0,020% o menos, Si: 3,0% o menos, Mn: 3,0% o menos, P: 0,040% o menos, S: 0,030% o menos, Cr: entre 10% y 25%, N: 0,020% o menos, Nb: entre 0,005% y 0,15%, Al: entre 0,20% y 3,0%, Ti: entre $5 \times (\%C + \%N)$ y 0,5%, Mo: 0,1% o menos, W: 0,1% o menos, Cu: entre 0,55% y 2,0%, B: entre 0,0002% y 0,0050%, Ni: entre 0,05% y 1,0%, conteniendo opcionalmente, además, en % en masa, uno o más seleccionado de REM: entre 0,001 y 0,08%, Zr: entre 0,01% y 0,5%, V: entre 0,01% y 0,5%, Co: entre 0,01% y 0,5%, Ca: entre 0,0005% y 0,0030%, y Mg: entre 0,0002% y 0,0020%, y siendo el resto Fe e impurezas inevitables, donde el %C y el %N en la expresión $5 \times (\%C + \%N)$ representan respectivamente el contenido (% en masa) de los elementos químicos C y N.

55 Efectos ventajosos de la invención

De acuerdo con la presente invención, se obtiene un acero inoxidable ferrítico que tiene resistencia a fatiga térmica, resistencia a fatiga a alta temperatura, y resistencia a oxidación equivalente o superior a una o más de las del acero con Nb-Si añadido a una temperatura de 800° C sin añadir Mo o W costosos y controlando el contenido de Nb para que sea tan pequeño como sea posible. Por lo tanto, es significativamente eficaz utilizar el acero para las piezas del sistema de escape de un automóvil.

Breve descripción de los dibujos

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

La figura 2 es un diagrama que ilustra condiciones de temperatura y retención en una prueba de fatiga térmica.

5 La figura 3 es un diagrama que ilustra la influencia del contenido en Cu sobre la resistencia a la fatiga térmica (durabilidad).

La figura 4 es un diagrama que ilustra la influencia del contenido en Ni sobre la resistencia a la oxidación continua (aumento de peso por oxidación).

10 La figura 5 es un diagrama que ilustra la influencia del contenido en Ni sobre la resistencia a la oxidación cíclica (aumento de peso por oxidación y si se produce o no desprendimiento de la capa de óxido).

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

La figura 7 es un diagrama que ilustra la influencia del contenido en Al sobre la resistencia a la fatiga a alta temperatura (el número de ciclo al cual se produjo una fractura).

15 Descripción de realizaciones

En primer lugar, se describirán experimentos fundamentales que han conducido a la realización de la presente invención con referencia a los dibujos.

20 1. Experimentos fundamentales

De aquí en adelante, el % utilizado para describir una composición química de aceros siempre representa el % en masa.

25 Se fundieron a nivel de laboratorio aceros, los cuales se produjeron añadiendo Cu y Ni en diversas cantidades, respectivamente, en rangos entre 0,3% y 3,0% y entre 0,03% y 1,3% a un acero básico que tenía una composición química que contenía C: 0,010%, N: 0,012%, Si: 0,5%, Mn: 0,3%, Cr: 14%, Ti: 0,25%, B: 0,0015%, y Al: 0,3%, y se convirtieron en barras de 30 kg. Cada barra se calentó hasta una temperatura de 1170° C y se laminó en caliente en una barra fina que tenía un grosor de 35 mm y una anchura de 150 mm. Esta barra fina se dividió en dos piezas, y
30 una de las dos piezas se convirtió en una barra cuadrada que presentaba una sección transversal de 30 mm × 30 mm realizando forjado en caliente. La barra cuadrada se convirtió en una muestra de ensayo de fatiga térmica que tenía las dimensiones ilustradas en la figura 1 realizando un mecanizado después del recocido a una temperatura en un intervalo entre 900° C y 1000° C y se utilizó en una prueba de fatiga térmica.

35 1.1 Prueba de fatiga térmica

La figura 2 ilustra el procedimiento de ensayo de fatiga térmica. La durabilidad a fatiga térmica se determinó aplicando repetidamente una tensión de una muestra con una relación de restricción de 0,5 mientras se repetía el calentamiento y enfriamiento entre temperaturas de 100° C y 800° C a una velocidad de calentamiento de 10° C/s y
40 una velocidad de enfriamiento de 10° C/s. Los períodos de mantenimiento a las temperaturas de 100° C y 800° C fueron ambos de 2 minutos. En este caso, la durabilidad a fatiga térmica que se ha descrito anteriormente se determinó de acuerdo con la norma publicada por la *Society of Material Science*, Japón "*Standard for High Temperature Low Cycle Fatigue Testing*", en la cual se calculó una tensión dividiendo una carga detectada cuando la temperatura era de 100° C por el área en sección transversal de una parte paralela calentada uniformemente de la muestra ilustrada en la figura 1, y en la que la durabilidad a fatiga térmica se definió por el número de ciclos en el cual la tensión se redujo a un 75% de la del 5° ciclo. Aquí, por comparación, se realizó la misma prueba utilizando
45 acero con Nb-Si añadido (15% Cr-0,9% Si-0,4% Nb).

La figura 3 ilustra los resultados de la prueba de fatiga térmica. La figura 3 indica que, en el caso en que el contenido de Cu es de 0,55% o más y 2,0% o menos, se obtiene una durabilidad a fatiga térmica equivalente o mayor que la del acero con Nb-Si añadido (aproximadamente 900 ciclos).

La otra de las dos barras finas divididas descritas se convirtió en una lámina laminada en frío y recocida que presentaba un grosor de 2 mm realizando una laminación en caliente, recocido de una lámina laminada en caliente,
55 laminado en frío, y recocido de acabado. Se cortó una muestra de 30 mm x 20 mm de la lámina laminada y recocida en frío obtenida. En la parte superior de la muestra se formó una abertura de 4 mm de diámetro. Las superficies y caras extremas de la muestra se pulieron utilizando papel de lija de nº 320 y se desengrasaron. Después, se utilizó la muestra en una prueba de oxidación continua y una prueba de oxidación cíclica.

60 1.2 Prueba de oxidación continua

El espécimen descrito anteriormente se mantuvo en un horno en aire atmosférico a una temperatura de 1000° C durante 300 horas, y se calculó un aumento de peso por unidad de superficie (g/m^2) producido por oxidación

utilizando la diferencia determinada en la masa de la muestra entre antes y después de mantenerla. La prueba se llevó a cabo dos veces para acero, y se evaluó un caso en el que el aumento de peso por unidad de superficie era de 50 g/m^2 o más por lo menos una vez como un caso en que se produjo oxidación de ruptura.

- 5 La figura 4 ilustra la influencia del contenido en Ni sobre la resistencia a la oxidación continua. Este dibujo indica que, en el caso en que el contenido en Ni es de 0,05% o más y 1,0% o menos, puede evitarse la aparición de oxidación de ruptura.

1.3 Prueba de oxidación cíclica

- 10 El espécimen descrito anteriormente se sometió a tratamiento térmico, en el cual se repitió calentamiento y enfriamiento en aire en condiciones en que la muestra se mantuvo a una temperatura de 100°C durante 1 minuto y a una temperatura de 1000°C durante 20 minutos, durante 400 ciclos. Se calculó aumento de peso por unidad de superficie (g/m^2) producido por la oxidación utilizando la diferencia determinada en la masa de la muestra entre antes y después del tratamiento térmico, y confirmó si se produjo o no desprendimiento de la capa de óxido de la superficie de la muestra. Un caso en el que se observó un desprendimiento significativo de la capa de óxido se evaluó como no satisfactorio, y un caso en el que no se observó desprendimiento de la capa de óxido se evaluó como satisfactorio. Aquí, en la prueba que se ha descrito anteriormente, la velocidad de calentamiento fue de 5°C/s , y la velocidad de enfriamiento fue de $1,5^\circ \text{C/seg}$.

- 20 La figura 5 ilustra la influencia de Ni sobre la resistencia a la oxidación cíclica. Este dibujo indica que, en el caso en que el contenido de Ni es de 0,05% o más y 1,0% o menos, puede evitarse el desprendimiento de la capa de óxido.

- 25 Tal como se ha descrito anteriormente, se entiende que, con el fin de evitar la oxidación de ruptura y el desprendimiento de la capa de óxido, es necesario que el contenido de Ni sea de 0,05% o más y 1,0% o menos.

1.4 Prueba de fatiga a alta temperatura

- 30 Se fundieron experimentalmente aceros, que estaban realizados añadiendo Al en diversas cantidades, respectivamente, en intervalos entre 0,03% y 3,1% a un acero básico que tenía una composición química que contenía, en % en masa, C: 0,010%, N: 0,012%, Si: 0,5%, Mn: 0,3%, Cr: 14%, Ti: 0,25%, B: 0,0015%, Cu: 1,4%, y Ni: 0,3%, y se convirtió en barras de 30 kg. La barra se volvió a calentar hasta una temperatura de 1170°C y fue laminada en caliente en una barra fina que tenía un grosor de 35 mm y una anchura de 150 mm. Esta barra fina se dividió en dos partes, y una de las dos piezas se convirtió en una lámina laminada en frío y recocida que presentaba un grosor de 2 mm por laminación en caliente y recocido de una lámina laminada en caliente, laminada en frío y procesos de recocido de acabado. Se realizó una muestra de ensayo de fatiga que tenía la forma ilustrada en la figura 6 a partir de la lámina laminada y recocida frío derivada tal como se ha descrito anteriormente y se utilizó en una prueba de fatiga a alta temperatura tal como se describe a continuación.

- 40 Utilizando la muestra descrita anteriormente y una máquina de ensayo a fatiga tipo *Schenck*, se aplicó un esfuerzo de flexión de 70 MPa a la superficie de la lámina de acero a una velocidad de 1300 rpm y a una temperatura de 800°C . Aquí, se evaluó la resistencia a fatiga a alta temperatura en base al número de ciclo en el cual se rompió la muestra (número de ciclo para el fallo).

- 45 La figura 7 es un diagrama que ilustra la influencia de Al en un número de ciclo para el fallo (= resistencia a fatiga a alta temperatura). Este dibujo indica que, en el caso en que el contenido de Al es de 0,2% o más y 3,0% o menos, puede conseguirse una resistencia a fatiga a alta temperatura equivalente o superior a la de acero con Nb-Si añadido.

50 2. Composición química

Posteriormente, se describirá la razón por la cual se limita la composición química del acero inoxidable ferrítico de acuerdo con la presente invención. Aquí, el % utilizado cuando se describe una composición química a continuación también siempre representa un % en masa.

- 55 C: 0,020% o menos

- 60 Aunque el C es un elemento químico que es eficaz para aumentar la resistencia del acero, existe una disminución significativa de la tenacidad y la formabilidad en el caso en que el contenido en C sea de más de 0,020%. Por lo tanto, en la presente invención, se fija el contenido en C para que sea de 0,020% o menos. Incidentalmente, dado que es preferible que el contenido en C sea lo más pequeño posible con el fin de lograr una buena formabilidad, es preferible que el contenido en C sea de 0,015% o menos, más preferiblemente de 0,010% o menos. Por otra parte, es preferible que el contenido en C sea de 0,001% o más con el fin de lograr una resistencia para las piezas de un sistema de escape, más preferiblemente de 0,003% o más.

Si: 3,0% o menos

5 El Si es un elemento químico que es importante para aumentar la resistencia a la oxidación del acero. Este efecto se consigue en el caso en que el contenido de Si es de 0,1% o más. Es preferible que el contenido de Si sea de 0,3% o más en el caso en que se requiera una mejor resistencia a la oxidación. Sin embargo, en el caso en que el contenido de Si sea de más de 3,0%, no sólo existe una disminución de la formabilidad, sino también una disminución de la adhesividad de la capa de óxido. Por lo tanto, el contenido en Si se ajusta para que sea de 3,0% o menos, preferiblemente 0,2% o más y 2,0% o menos, más preferiblemente 0,3% o más y 1,0% o menos.

10 Mn 3,0% o menos

15 El Mn es un elemento químico que aumenta la resistencia del acero, que funciona como agente desoxidante y que suprime el desprendimiento de la capa de óxido que se produce por la adición de Si. Es preferible que el contenido en Mn sea de 0,1% o más con el fin de lograr estos efectos. Sin embargo, en el caso en que el contenido de Mn sea de más de 3,0%, no sólo hay un aumento en la ganancia de peso por oxidación, sino también una disminución de la resistencia térmica debido a una tendencia para una fase y que se forma a alta temperatura. Por lo tanto, se establece que el contenido en Mn sea de 3,0% o menos, preferiblemente 0,2% o más y 2,0% o menos, más preferiblemente 0,2% o más y 1,0% o menos.

P: 0,040% o menos

20 Puesto que el P es un elemento químico nocivo que disminuye la tenacidad del acero, es preferible que el contenido de P sea lo más pequeño posible. Por lo tanto, en la presente invención, se establece que el contenido en P sea de 0,040% o menos, preferiblemente 0,030% o menos.

S: 0,030% o menos

25 Dado que el S es un elemento químico nocivo que disminuye la elongación y un valor de r con el que se tiene una influencia negativa sobre la formabilidad y que disminuye la resistencia a la corrosión, que es la propiedad fundamental de acero inoxidable, es preferible que el contenido en S sea lo más pequeño posible. Por lo tanto, en la presente invención, se establece que el contenido en S sea de 0,030% o menos, preferiblemente 0,010% o menos, más preferiblemente 0,005% o menos.

30 Cr: 10% o más y 25% o menos
Aunque el Cr es un elemento químico importante que es eficaz para aumentar la resistencia a la corrosión y resistencia a la oxidación que caracteriza el acero inoxidable, no puede conseguirse una resistencia a la oxidación suficiente en el caso en que el contenido de Cr sea inferior a 10%. Por otro lado, el Cr es un elemento químico que aumenta la dureza y reduce la ductilidad al aumentar la resistencia del acero por refuerzo en solución sólida a temperatura ambiente. En particular, dado que, en el caso en el que el contenido en Cr es de más de 25%, los efectos negativos descritos anteriormente son significativos, se establece que el límite superior del contenido en Cr sea de 25%. Por lo tanto, se establece que el contenido en Cr sea de 10% o más y de 25% o menos, preferiblemente un 12% o más y 20% o menos, más preferiblemente 14% o más y 16% o menos.

N: 0,020% o menos

40 Dado que el N es un elemento químico que disminuye la tenacidad y la formabilidad del acero, la formabilidad del acero disminuye de manera significativa en el caso en que el contenido de N sea de más de 0,020%. Por lo tanto, se establece que el contenido en N sea de 0,020% o menos. Incidentalmente, dado que es preferible que el contenido de N sea tan pequeño como sea posible con el fin de obtener la dureza y la formabilidad suficiente, es preferible que el contenido de N sea de 0,015% o menos.

Nb: 0,005% o más y 0,15% o menos

50 El Nb es un elemento químico que es eficaz para aumentar la resistencia a la corrosión, la formabilidad y la resistencia a la corrosión intergranular de una parte soldada fijando C y N como resultado de la formación de carbonitruros y que es eficaz para aumentar la resistencia a la fatiga térmica y la resistencia a la fatiga a alta temperatura aumentando la resistencia a alta temperatura. En particular, en la presente invención, el Nb es eficaz para aumentar significativamente la resistencia a la fatiga térmica y la resistencia a la fatiga a alta temperatura, disminuyendo adicionalmente el tamaño de partícula del ϵ -Cu. Es necesario que el contenido en Nb sea de 0,005% o más con el fin de lograr estos efectos. Sin embargo, hay problemas debidos a que el Nb es un elemento químico costoso y a que la contribución a un aumento de la resistencia del acero no puede realizarse en el caso en que se forme una fase de Laves (Fe_2Nb) y el tamaño de partícula de esta fase aumenta en ciclos térmicos. Además, puesto que la temperatura de recristalización del acero aumenta en el caso en que se añade Nb, es necesario que la temperatura de recocido sea elevada, lo que resulta en un aumento del coste de fabricación. Por lo tanto, se establece que el límite superior del contenido en Nb sea de 0,15%. Por lo tanto, se establece que el contenido en Nb sea de 0,005% o más y 0,15% o menos, preferiblemente 0,01% o más y 0,15% o menos, más preferiblemente 0,02% o más y 0,10% o menos.

Mo: 0,1% o menos

5 El Mo es un elemento químico que aumenta la resistencia térmica, aumentando considerablemente la resistencia del acero por refuerzo en solución sólida. Sin embargo, dado que el Mo es un elemento químico costoso y disminuye la resistencia a la oxidación del acero que contiene Ti, Cu, y Al de acuerdo con la presente invención, el Mo no se añade activamente desde el punto de vista del objeto de la presente invención. Sin embargo, existe un caso en que se mezcla Mo en acero a partir de materiales tales como chatarra en una cantidad de 0,1% o menos. Por lo tanto, se establece que el contenido en Mo sea de 0,1% o menos, preferiblemente 0,05% o menos.

W: 0,1% o menos

10 El W es un elemento químico que aumenta la resistencia térmica, aumentando considerablemente la resistencia del acero por refuerzo en solución sólida como lo hace el Mo. Sin embargo, dado que el W es un elemento químico costoso como lo es el Mo, y puesto que el W es eficaz para la estabilización de la capa de óxido del acero inoxidable, lo que tiene como resultado un aumento del trabajo para eliminar la capa de óxido que se forma en el recocido, no se añade activamente W. Sin embargo, existe un caso en el que se mezcla W en el acero a partir de materiales tales como chatarra en una cantidad de 0,1% o menos. Por lo tanto, se establece que el contenido de W sea de 0,1% o menos, preferiblemente 0,05% o menos, más preferiblemente 0,02% o menos.

Al: 0,20% o más y 3,0% o menos

20 El Al es bien conocido como elemento químico que es eficaz para aumentar la resistencia a la oxidación y la resistencia a la corrosión por sal a alta temperatura. En la presente invención, el Al es importante como elemento químico que aumenta la resistencia a la fatiga a alta temperatura. Este efecto se realiza en el caso en que el contenido en Al es de 0,20% o más. Por otra parte, ya que, en el caso en que el contenido en Al sea de más de 3,0% existe una disminución significativa de la tenacidad del acero, tiende a producirse una rotura frágil, lo que tiene como resultado que no se consiga una buena resistencia a la fatiga a alta temperatura. Por lo tanto, se establece que el contenido en Al sea de 0,20% o más y 3,0% o menos, preferiblemente 0,30% o más y 1,0% o menos. Para lograr una resistencia a la fatiga a alta temperatura, resistencia a oxidación y tenacidad se equilibran tan bien como sea posible, se establece que el contenido en Al sea de 0,3% o más y 0,6% o menos.

Cu: 0,55% o más y 2,0% o menos

30 El Cu es un elemento químico que es muy eficaz para aumentar la resistencia a la fatiga térmica del acero. Esto se debe al efecto de refuerzo de la precipitación de ϵ -Cu, y es necesario que el contenido en Cu sea de 0,55% o más, tal como se indica en la figura 3. Por otra parte, el Cu disminuye la resistencia a la oxidación y la formabilidad y, dado que, en el caso en el que el contenido de Cu es más de 2,0%, existe un aumento en el tamaño de partícula del ϵ -Cu, y por el contrario, una disminución de la resistencia a fatiga térmica. Por lo tanto, se establece que el contenido en Cu sea de 0,55% o más y 2,0% o menos, preferiblemente 0,7% o más y 1,6% o menos. Tal como se describe a continuación, no hay un aumento suficiente de la resistencia a la fatiga térmica solamente por la adición de Cu. Dado que el tamaño de partícula del ϵ -Cu se reduce por la adición de B en combinación con Cu, la resistencia a la fatiga térmica de acero aumenta.

40 Ti: $5 \times (\%C + \%N)$ o más y 0,5% o menos

45 El Ti es eficaz para aumentar la resistencia a la corrosión, la formabilidad y la resistencia a la corrosión intergranular de una parte soldada fijando C y N de la misma manera que Nb. En la presente invención, el Ti es un elemento químico importante para fijar C y N sin añadir activamente Nb. Es necesario que el contenido en Ti sea $5 \times (\%C + \%N)$ o más, donde $\%C$ y $\%N$ en la expresión $5 \times (\%C + \%N)$ representan respectivamente el contenido (% en masa) de los elementos químicos C y N. Dado que, en el caso en que el contenido en Ti sea menor que el indicado, C y N no pueden fijarse completamente, se produce sensibilización, lo que resulta en una disminución de la resistencia a la oxidación. Además, dado que Al se combina con N con el fin de compensar la escasez de Ti, no se produce el efecto de aumento de la resistencia a la fatiga a alta temperatura por refuerzo en solución sólida mediante el uso de Al, que es importante en la presente invención. Por otra parte, dado que, en el caso en que el contenido en Ti sea mayor de un 0,5%, existe una disminución de la tenacidad del acero y de la adhesividad de la capa de óxido (= resistencia a la oxidación cíclica), se establece que el contenido en Ti sea $5 \times (\%C + \%N)$ o más y 0,5% o menos, preferiblemente 0,15% o más y 0,4% o menos, más preferiblemente 0,2% o más y 0,3% o menos.

B: 0,0002% o más y 0,0050% o menos

55 El B es un elemento químico importante en la presente invención. El B aumenta la formabilidad, en particular, el rendimiento secundario. Además, el B es eficaz para aumentar la resistencia a la fatiga térmica del acero que contiene Cu, ya que el B aumenta la resistencia a alta temperatura del acero disminuyendo el tamaño de partícula del ϵ -Cu.

60 Dado que, en el caso de que no se añada B, el tamaño de partícula del ϵ -Cu tiende a aumentar, no puede obtenerse un efecto suficiente de aumento de la resistencia a la fatiga térmica mediante la adición de Cu. Este efecto se obtiene en el caso de que el contenido de B sea de 0,0002% o más. Por otra parte, en el caso en que el contenido de B sea de más de 0,0050%, existe una disminución en la formabilidad y la tenacidad del acero. Por lo tanto, se

establece que el contenido de B sea de 0,0002% o más y 0,0050% o menos, preferiblemente de 0,0005% o más y 0,0030% o menos.

Ni: 0,05% o más y 1,0% o menos

5 El Ni es un elemento químico importante en la presente invención. El Ni es un elemento químico que aumenta no sólo la dureza del acero, sino también la resistencia a la oxidación. Para obtener estos efectos, es necesario que el contenido en Ni sea de 0,05% o más. En el caso en que no se añada Ni o en el caso en que el contenido de Ni sea menor que el indicado, la resistencia a la oxidación disminuye debido a la adición de Cu y Ti. En el caso en que la resistencia a la oxidación disminuya, el grosor de un material base disminuye debido a un aumento en la ganancia de peso por oxidación, y no puede obtenerse una buena resistencia a la fatiga térmica debido a que la parte en la que se produce el desprendimiento de la capa de óxido se convierte en el origen de una grieta. Por otra parte, el Ni es un elemento químico que es costoso y es muy eficaz para la formación de una fase γ , donde el contenido de Ni es más de 1,0%. Si el contenido en Ni es más de 1,0%, la resistencia a la oxidación se deteriora debido a la formación de la fase γ a alta temperatura. Por lo tanto, se establece que el contenido de Ni sea de 0,05% o más y 1,0% o menos, preferiblemente 0,08% o más y 0,5% o menos, más preferiblemente 0,15% o más y 0,3% o menos.

La composición química básica de acuerdo con la presente invención es tal como se ha descrito anteriormente. Además, uno o más seleccionados entre los elementos REM, Zr, V, Co y puede estar contenido como elemento químico selectivo en las cantidades que se describen a continuación con el fin de aumentar la resistencia térmica.

20

REM: 0.001 o más y 0,08% o menos y Zr: 0,01% o más y 0,5% o menos

25 Los REM (metales de tierras raras) y el Zr son ambos elementos químicos que aumentan la resistencia a la oxidación del acero y que se añaden, según sea necesario, en la presente invención. Para obtener este efecto, es preferible que el contenido de REM sea de 0,001% o más y que el contenido de Zr sea 0,01% o más. Sin embargo, hay fragilización del acero en el caso en que el contenido de REM sea más de 0,08%, y hay fragilización del acero debido a la precipitación de compuestos intermetálicos que contienen Zr en el caso en que el contenido de Zr sea de más de 0,5%. Por lo tanto, es preferible que el contenido de REM sea de 0,001% o más y 0,08% o menos en el caso en que el REM esté contenido y que el contenido de Zr sea de 0,01% o más y 0,5% o menos en el caso en que el Zr esté contenido.

30

V: 0,01% o más y 0,5% o menos

35 El V es un elemento químico que es eficaz para aumentar no sólo la resistencia a la oxidación sino también la resistencia a alta temperatura del acero. Para obtener estos efectos, es preferible que el contenido en V sea de 0,01% o más. Sin embargo, en el caso en que el contenido de V sea más de 0,5%, la tenacidad del acero se reduce debido a la precipitación de V (C, N) que tiene un tamaño de partícula grande. Por lo tanto, en el caso en que el V está contenido, es preferible que el contenido en V sea de 0,01% o más y 0,5% o menos, más preferiblemente 0,03% o más y 0,4% o menos, preferiblemente además 0,05% o más y 0,25% o menos.

40 Co: 0,01% o más y 0,5% o menos

45 El Co es un elemento químico que es eficaz para aumentar la dureza y la resistencia a alta temperatura del acero. Para obtener estos efectos, es preferible que el contenido en Co sea de 0,01% o más. Sin embargo, el Co es un elemento químico costoso y los efectos descritos anteriormente se llegan a saturar incluso en el caso en que el contenido en Co sea de más de 0,5%. Por lo tanto, en el caso en que el Co está contenido, es preferible que el contenido en Co sea de 0,01% o más y 0,5% o menos, más preferiblemente 0,02% o más y 0,2% o menos.

Además, uno o dos elementos seleccionados entre Ca y Mg pueden estar contenidos como elementos químicos selectivos en la cantidad descrita a continuación con el fin de aumentar la fabricabilidad.

50 Ca: 0,0005% o más y 0,0030% o menos

55 El Ca es un elemento químico que es eficaz para evitar que se obstruyan las boquillas de fundición continua con la precipitación de inclusiones que contienen Ti. Este efecto se obtiene en el caso en que el contenido de Ca sea de 0,0005% o más. Sin embargo, es necesario que el contenido de Ca sea de 0,0030% o menos con el fin de lograr una buena calidad de la superficie evitando la aparición de defectos de la superficie. Por lo tanto, en el caso en que el Ca esté contenido, es preferible que el contenido en Ca sea de 0,0005% o más y 0,0030% o menos, más preferiblemente de 0,0005% o más y 0,0020% o menos, además, preferiblemente 0,0005% o más y 0,0015% o menos.

Mg: 0,0002% o más y 0,0020% o menos

60 El Mg es un elemento químico que es eficaz para aumentar la formabilidad y la tenacidad, como resultado de aumentar una relación de cristal equiaxial y que también es eficaz para la supresión de un aumento del tamaño de partícula del carbonitruro de Ti en el caso de acero con Ti añadido de acuerdo con la presente invención. Estos efectos se observan en el caso en que el contenido de Mg es 0,0002% o más. Dado que, en el caso en que hay un

aumento en el tamaño de partícula del carbonitruro de Ti, el carbonitruro se convierte en el origen de una rotura frágil, existe una disminución significativa de la tenacidad del acero. Por otro lado, en el caso en que el contenido de Mg es de más de 0,0020%, se produce el deterioro de la calidad de la superficie del acero. Por lo tanto, en el caso en el que el Mg esté contenido, es preferible que el contenido en Mg sea de 0,0002% o más y 0,0020% o menos, más preferiblemente de 0,0002% o más y 0,0015% o menos, adicionalmente preferiblemente 0,0004% o más y 0,0010% o menos.

3. Procedimiento de fabricación

Posteriormente, se describirá de aquí en adelante un procedimiento para la fabricación del acero inoxidable ferrítico de acuerdo con la presente invención.

Un procedimiento común para la fabricación de acero inoxidable ferrítico puede utilizarse idealmente para la fabricación del acero inoxidable de acuerdo con la presente invención, y no hay ninguna limitación particular en un procedimiento. Por ejemplo, el acero que tiene la composición química de acuerdo con la presente invención se realiza llevando a cabo una fusión utilizando un horno de fusión tal como un convertidor de acero o un horno eléctrico, opcionalmente realizando adicionalmente un afino secundario utilizando un procedimiento tal como afino en cuchara o afino en vacío. Posteriormente, es preferible realizar una losa mediante un procedimiento de fundición continua o un procedimiento de laminado de fundición-desbaste de barras y realizar una lámina laminada en frío y recocida llevando a cabo un laminado en caliente, recocido de la lámina de laminada en caliente, decapado, laminado en frío, recocido de acabado y decapado sobre la losa.

Incidentalmente, la laminación en frío que se ha descrito anteriormente puede llevarse a cabo una vez, dos veces o más con un proceso recocido que se realiza entre las etapas de laminado en frío. Además, los procesos de laminado en frío, recocido de acabado y decapado pueden llevarse a cabo repetidamente. Por otra parte, el recocido de la lámina laminada en caliente puede omitirse en algunos casos, y puede realizarse un laminado de acabado después de que se haya realizado el laminado en frío o recocido de acabado en el caso en que se requiera una calidad brillante de la superficie de una lámina de acero.

Es más preferible limitar algunas de las condiciones de los procesos de laminado en caliente y laminado en frío. Respecto a un proceso de fabricación de acero, es preferible que el afinado secundario se realice utilizando un procedimiento VOD (procedimiento de descarburación por oxígeno al vacío) sobre el acero fundido que tiene la composición química indispensable que se ha descrito anteriormente y que contiene elementos químicos adicionales según sea necesario, el cual ha sido fundido utilizando un convertidor de acero o un horno eléctrico. Aunque el acero fundido puede realizarse en un material de acero utilizando un procedimiento bien conocido, es preferible utilizar un procedimiento de fusión continua desde el punto de vista de la productividad y calidad del material.

El material de acero realizado llevando a cabo una fusión continua se calienta hasta una temperatura de, por ejemplo, 1000° C a 1250° C, y se lamina en caliente en una lámina laminada en caliente que tiene un grosor deseado. No es necesario decir que el material de acero puede procesarse en un material distinto de una lámina. Esta lámina laminada en caliente se somete, según sea necesario, a un recocido por lotes a una temperatura entre 600° C y 900° C o a un recocido continuo a una temperatura entre 900° C y 1100° C y luego se convierte en un producto de lámina laminada en caliente realizando, por ejemplo, decapado. Además, puede llevarse a cabo una desincrustación según sea necesario mediante el uso de un procedimiento de granallado antes de que se realice el decapado.

Por otra parte, con el fin de obtener una lámina laminada en frío y recocida, la lámina laminada en caliente y recocida se convierte en una lámina laminada en frío a través de un proceso de laminado en frío. En este proceso de laminado en frío, el laminado en frío puede realizarse dos o más veces según sea necesario con un proceso de recocido por razones de fabricación. La relación de reducción de laminado total de un proceso de laminado en frío, que consiste en laminado en frío se lleva a cabo una vez, dos veces o más, se establece que sea de un 60% o más, preferiblemente un 70% o más.

La lámina laminada en frío se realiza en una lámina laminada en frío y recocida llevando a cabo un recocido continuo (recocido de acabado) a una temperatura de entre 850° C y 1150° C, preferiblemente entre 850° C y 1050° C, y después realizando decapado. Además, la lámina decapada puede someterse a laminado con una pequeña relación de reducción de laminado (tal como laminado de acabado) con el fin de controlar la forma y la calidad de la lámina de acero para algunas aplicaciones de uso.

El producto de lámina laminada en caliente o el producto de lámina laminada en frío y recocida realizado tal como se ha descrito anteriormente se forma en un tubo de escape de un automóvil o una motocicleta, un material par utilizarse para un cilindro exterior catalizador, un conducto de aire de escape de una planta de energía

termoeléctrica o un material relacionado con una celda de combustible tal como un separador, un interconector o un reformador realizando un procesamiento tal como conformación por doblado en función de las aplicaciones de uso.

5 No hay limitación en un procedimiento para la soldadura de estos materiales, y puede aplicarse un procedimiento de soldadura por arco tal como MIG (Metal y Gas Inerte), MAG (Metal y Gas Activo) o TIG (Tungsteno y Gas Inerte), una soldadura por resistencia tal como soldadura por puntos o soldadura por costura, una soldadura por resistencia de alta resistencia tal como un procedimiento de soldadura por resistencia eléctrica o una soldadura por inducción de alta frecuencia.

10 EJEMPLO 1

Se fundieron aceros nº 1 a 23 y 27 a 40 que presentaban las composiciones químicas que se indican en la Tabla 1 utilizando un horno de fundición al vacío, y se convirtieron en barras de 30 kg mediante la realización de fundición. La barra se convirtió en una barra fina que tenía un grosor de 35 mm y una anchura de 150 mm realizando un calentamiento hasta una temperatura de 1170° C y llevando a cabo un laminado en caliente. Esta barra fina se dividió en dos piezas, y una de las dos piezas se convirtió en una barra cuadrada que presentaba una sección transversal de 30 mm × 30 mm por forjado. La barra cuadrada se convirtió en una muestra de ensayo de fatiga térmica que presentaba las dimensiones ilustradas en la figura 1 realizando un recocido a una temperatura en un intervalo entre 850° C y 1050° C y realizando un mecanizado y luego se utilizó en una prueba de fatiga térmica que se describe a continuación. La temperatura de recocido se controló para que fuera una temperatura determinada en el intervalo descrito anteriormente en función de la composición química, con confirmación de microestructura. También se controló de manera similar una temperatura de recocido que se describe a continuación.

25 Prueba de fatiga térmica

Se determinó la durabilidad a fatiga térmica aplicando repetidamente una tensión a la muestra que se ha descrito anteriormente con una relación de restricción de 0,5 tal como se ilustra en la figura 2, mientras que se repitió calentamiento y enfriamiento a temperaturas entre 100° C y 800° C. Los tiempos de mantenimiento a las temperaturas de 100° C y 800° C eran ambos de 2 minutos. En este caso, la durabilidad a fatiga térmica que se ha descrito anteriormente se determinó de acuerdo con la norma publicada por la *Society of Material Science*, Japón "*Standard for High Temperature Low Cycle Fatigue Testing*", en la cual se calculó una tensión dividiendo una carga detectada cuando la temperatura era de 100° C por el área en sección transversal de una parte paralela calentada uniformemente de la muestra ilustrada en la figura 1, y en la que la durabilidad a fatiga térmica se definió por el número de ciclos en el cual la tensión se redujo a un 75% de la del 5º ciclo. Aquí, por comparación, se realizó la misma prueba utilizando acero con Nb-Si añadido (15% Cr-0,9% Si-0,4% Nb).

La otra de las dos barras finas divididas que se ha descrito anteriormente se convirtió en una lámina laminada en caliente con un grosor de 5 mm por calentamiento de la pieza hasta una temperatura de 1050° C y realizando una laminación en caliente. La lámina laminada en caliente se convirtió en una lámina laminada en frío que tiene un grosor de 2 mm realizando un recocido de la lámina laminada en caliente a una temperatura en un intervalo entre 900° C y 1050° C, llevando a cabo un decapado, mediante la realización de laminado en frío y mediante la realización un recocido de acabado a una temperatura en un intervalo entre 850° C y 1050° C. Aquí, por referencia, se realizó una lámina laminada en frío y recocida mediante acero con Nb-Si añadido (nº 27 en la Tabla 1) de la misma manera que se ha descrito anteriormente y se utiliza en pruebas de evaluación.

45 Prueba de oxidación continua

Se cortó una muestra de 30 mm × 20 mm de cada una de las diversas láminas laminadas en frío y recocidas obtenidas tal como se ha descrito anteriormente. En la parte superior de la muestra se formó una abertura de 4 mm de diámetro. Las superficies y las caras extremas de la muestra se pulieron utilizando un papel de lija de nº 320 y se desengrasaron. A continuación, la muestra dispuso en un horno en aire atmosférico a una temperatura de 1000° C durante 300 horas. Tras mantenerlo, se midió la masa de la muestra y se calculó un aumento de peso por oxidación (g/m^2) a partir de la diferencia entre la masa y la medida previamente antes de disponerla. Aquí, la prueba se repitió dos veces, y se evaluó la resistencia a la oxidación del acero en base al valor más grande de los dos. Se evaluó el caso de un aumento de peso por oxidación de 50 g/m^2 o más como caso de oxidación de ruptura.

Prueba de oxidación cíclica

60 La muestra que se ha descrito anteriormente se sometió a un tratamiento térmico, en el cual se repitió calentamiento y enfriamiento en condiciones en las que la muestra se mantuvo a una temperatura de 100° C durante 1 minuto y a una temperatura de 1000° C durante 20 minutos, se repitió durante 400 ciclos. Se calculó un aumento de peso por unidad de superficie (g/m^2) que está producido por oxidación utilizando la diferencia determinada en la masa de la muestra entre antes y después del tratamiento térmico, y se confirmó si produjo o no un desprendimiento de la capa

de la superficie de la muestra. Un caso en que se observó marcadamente desprendimiento de la capa de óxido se evaluó como no satisfactorio, y un caso en que no se observó desprendimiento de la capa de óxido se evaluó como satisfactorio. Aquí, en la prueba descrita anteriormente, la velocidad de calentamiento era de 5° C/seg y la velocidad de enfriamiento era de 1,5° C/seg.

5

Prueba de fatiga a alta temperatura

Una muestra de ensayo de fatiga que tienen la forma ilustrada en la figura 6 se realizó a partir de la lámina laminada en frío y recocida derivada tal como se ha descrito anteriormente y como se utiliza en una prueba de fatiga a alta temperatura tal como se describe a continuación.

10

Utilizando una máquina de ensayo de fatiga tipo *Schenck*, se aplicó un esfuerzo de flexión de 70 MPa a la superficie de la lámina de acero a una velocidad de 1300 rpm y a una temperatura de 800° C. Aquí, se evaluó la resistencia a la fatiga a alta temperatura en base al número de ciclo en el cual se rompió la muestra (número de ciclo para el fallo).

15

Los resultados obtenidos se dan en las Tablas 1-1 y 1-2

Tabla 1-1

N°	Composición química (% en masa)																Ti/ (C+N)						
	C	Si	Mn	Al	P	S	Cr	Ni	Cu	Nb	V	N	Zr	Ti	B	Co		Mo	W	REM	Ca	Mg	C+N
1	0,010	0,51	0,33	0,29	0,03	0,002	14,2	0,14	1,24	0,04	-	0,010	-	0,24	0,0015	-	0,03	0,02	-	-	-	0,020	12,0
2	0,011	0,53	0,32	0,32	0,03	0,002	13,7	0,30	1,54	0,04	-	0,012	-	0,26	0,0015	-	0,01	0,03	-	-	-	0,023	11,3
3	0,011	0,51	0,31	0,22	0,03	0,002	14,0	0,20	1,46	0,04	-	0,011	-	0,23	0,0015	-	0,03	0,02	-	-	-	0,022	10,5
4	0,010	0,51	0,29	0,88	0,03	0,002	14,3	0,18	1,49	0,06	-	0,013	-	0,24	0,0010	-	0,02	0,02	-	-	-	0,023	10,4
5	0,010	0,49	0,30	1,94	0,02	0,003	13,8	0,21	1,50	0,03	-	0,012	-	0,23	0,0011	-	0,04	0,01	-	-	-	0,022	10,5
6	0,010	0,50	0,30	2,89	0,03	0,002	14,1	0,30	1,47	0,04	-	0,012	-	0,25	0,0014	-	0,02	0,03	0,02	-	-	0,022	11,4
7	0,004	0,48	0,25	0,33	0,03	0,002	15,3	0,29	1,77	0,03	-	0,005	-	0,09	0,0018	-	0,03	0,02	-	-	-	0,009	10,0
8	0,015	0,51	0,24	0,30	0,02	0,002	13,8	0,24	1,31	0,04	-	0,016	-	0,45	0,0016	-	0,02	0,01	-	-	-	0,031	14,5
9	0,010	0,13	0,16	0,31	0,03	0,003	16,3	0,26	1,95	0,04	-	0,012	-	0,21	0,0008	-	0,01	0,03	-	-	-	0,022	9,5
10	0,009	0,30	0,28	0,34	0,03	0,002	11,8	0,26	1,16	0,05	-	0,013	-	0,20	0,0016	-	0,05	0,02	-	-	-	0,022	9,1
11	0,010	0,84	0,77	0,33	0,03	0,002	12,7	0,31	1,43	0,05	-	0,011	-	0,18	0,0025	-	0,02	0,04	-	-	-	0,021	8,6
12	0,012	0,46	0,24	0,35	0,02	0,002	10,9	0,19	1,62	0,04	-	0,009	-	0,20	0,0014	-	0,03	0,01	-	-	-	0,021	9,5
13	0,009	0,47	0,26	0,32	0,03	0,002	20,3	0,17	1,80	0,03	-	0,012	-	0,35	0,0007	0,22	0,04	0,01	-	-	-	0,021	16,7
14	0,009	0,47	0,30	0,32	0,03	0,003	14,5	0,23	1,44	0,03	0,19	0,014	-	0,19	0,0013	-	0,02	0,02	-	-	-	0,023	8,3
15	0,011	0,50	0,31	0,36	0,03	0,002	15,6	0,29	1,21	0,04	-	0,012	-	0,16	0,0045	-	0,02	0,03	-	-	-	0,023	7,0
16	0,009	0,51	0,30	0,28	0,02	0,002	13,8	0,14	0,47	0,03	-	0,012	-	0,23	0,0016	-	0,03	0,02	-	-	-	0,021	11,0
17	0,009	0,48	0,30	0,32	0,02	0,002	14,2	0,14	2,61	0,05	-	0,013	-	0,26	0,0013	-	0,03	0,02	-	-	-	0,022	11,8
18	0,009	0,50	0,31	0,29	0,02	0,002	13,8	0,02	1,49	0,04	-	0,013	-	0,24	0,0014	-	0,02	0,02	-	-	-	0,022	10,9
19	0,010	0,49	0,27	0,30	0,02	0,002	14,2	1,06	1,50	0,04	-	0,010	-	0,24	0,0006	-	0,04	0,02	-	-	-	0,020	12,0
20	0,009	0,50	0,29	0,03	0,02	0,002	14,1	0,19	1,47	0,03	-	0,012	-	0,23	0,0013	-	0,02	0,01	-	-	-	0,021	11,0
21	0,009	0,48	0,32	3,11	0,02	0,002	14,2	0,20	1,49	0,04	-	0,012	-	0,23	0,0009	-	0,01	0,01	-	-	-	0,021	11,0
22	0,011	0,49	0,30	0,35	0,03	0,003	15,7	0,20	1,64	0,03	-	0,011	-	0,26	-	-	0,02	0,01	-	-	-	0,022	11,8
23	0,012	0,47	0,32	0,33	0,02	0,002	14,9	0,32	0,89	0,05	-	0,015	-	0,13	0,0019	-	0,01	0,01	-	-	-	0,027	4,8
27	0,008	0,83	0,38	0,02	0,03	0,003	14,9	0,22	0,02	0,46	0,04	0,009	0	0,01	0,0005	0,01	0,01	0,01	-	-	-	0,017	0,8
28	0,007	0,87	0,13	0,37	0,02	0,002	15,3	0,07	0,79	0,08	-	0,011	-	0,24	0,0003	-	0,01	-	-	0,0007	0,0009	0,018	13,3
29	0,008	0,92	0,16	0,56	0,02	0,002	10,9	0,08	0,98	0,11	-	0,009	-	0,27	0,0009	-	0,03	0,01	-	0,0009	0,0005	0,017	15,9
30	0,005	0,55	0,25	0,80	0,03	0,003	14,2	0,16	0,56	0,13	-	0,008	-	0,21	0,0005	-	0,02	-	-	0,0007	0,0008	0,013	16,2
31	0,010	1,87	0,38	0,46	0,03	0,002	16,0	0,12	1,07	0,09	-	0,012	-	0,25	0,0014	-	-	-	-	0,0010	0,0011	0,022	11,4
32	0,009	0,69	0,22	1,48	0,02	0,001	13,4	0,10	1,26	0,07	0,14	0,009	-	0,29	0,0008	-	0,06	-	-	0,0009	0,0014	0,018	16,1
33	0,007	0,75	0,17	0,52	0,02	0,002	18,1	0,13	0,81	0,14	-	0,010	-	0,30	0,0006	0,03	0,02	-	-	0,0011	0,0013	0,017	17,6
34	0,006	0,88	0,14	1,89	0,03	0,002	15,8	0,09	1,63	0,04	-	0,009	0,08	0,22	0,0012	-	0,01	0,02	-	0,0014	0,0007	0,015	14,7
35	0,011	0,49	0,20	0,44	0,01	0,001	19,0	0,07	1,19	0,06	-	0,008	-	0,34	0,0005	-	0,05	-	0,06	0,0008	0,0010	0,019	17,9
36	0,008	0,22	0,15	2,46	0,02	0,003	12,6	0,11	0,92	0,10	-	0,011	-	0,25	0,0004	-	0,08	-	-	-	0,0007	0,019	13,2
37	0,009	1,27	0,32	0,40	0,03	0,002	14,8	0,12	1,30	0,07	-	0,009	-	0,26	0,0009	-	-	0,07	-	0,0009	0,0009	0,018	14,4
38	0,006	0,89	0,29	0,31	0,02	0,003	17,7	0,08	0,66	0,12	-	0,008	-	0,18	0,0018	-	0,03	-	-	0,0027	-	0,014	12,9
39	0,007	0,14	0,14	1,94	0,01	0,001	14,9	0,11	1,21	0,09	-	0,011	-	0,39	0,0033	-	0,04	-	-	0,0009	0,0008	0,018	21,7
40	0,009	0,56	0,25	0,17	0,02	0,003	14,6	0,09	1,08	0,08	-	0,009	-	0,20	0,0009	-	0,01	-	-	0,0008	0,0011	0,018	11,1

* El valor subrayado se encuentra fuera de rango de acuerdo con la presente invención.

[Tabla 1-2]

Tabla 1-2

Nº	Durabilidad a fatiga térmica (número de ciclo)	Ganancia de peso por oxidación en prueba de oxidación cíclica (g/m ²)	Prueba de oxidación cíclica **	Número de ciclo para ruptura en prueba de fatiga a alta temperatura x10 ⁵	Nota
1	990	45	Satisfactoria	19	Ejemplo
2	1030	43	Satisfactoria	21	Ejemplo
3	1060	44	Satisfactoria	19	Ejemplo
4	1070	43	Satisfactoria	24	Ejemplo
5	1080	36	Satisfactoria	26	Ejemplo
6	1030	35	Satisfactoria	22	Ejemplo
7	970	45	Satisfactoria	22	Ejemplo
8	980	48	Satisfactoria	19	Ejemplo
9	950	48	Satisfactoria	17	Ejemplo
10	970	46	Satisfactoria	18	Ejemplo
11	1010	41	Satisfactoria	20	Ejemplo
12	990	48	Satisfactoria	20	Ejemplo
13	970	45	Satisfactoria	22	Ejemplo
14	1020	44	Satisfactoria	23	Ejemplo
15	980	46	Satisfactoria	20	Ejemplo
16	<u>830</u>	40	Satisfactoria	16	Ejemplo comparativo
17	<u>850</u>	<u>50</u>	Satisfactoria	20	Ejemplo comparativo
18	910	<u>113</u>	<u>No satisfactoria</u>	19	Ejemplo comparativo
19	940	<u>56</u>	<u>No satisfactoria</u>	22	Ejemplo comparativo
20	1020	45	Satisfactoria	9	Ejemplo comparativo
21	950	35	Satisfactoria	<u>11</u>	Ejemplo comparativo
22	<u>870</u>	47	Satisfactoria	19	Ejemplo comparativo
23	<u>890</u>	<u>52</u>	Satisfactoria	<u>14</u>	Ejemplo comparativo
27	910	<u>223</u>	<u>No satisfactoria</u>	15	Ejemplo comparativo Acero con Nb-Si combinado añadido
28	940	38	Satisfactoria	24	Ejemplo
29	970	46	Satisfactoria	25	Ejemplo
30	920	43	Satisfactoria	25	Ejemplo
31	950	37	Satisfactoria	25	Ejemplo
32	1000	36	Satisfactoria	26	Ejemplo
33	960	46	Satisfactoria	25	Ejemplo
34	1050	34	Satisfactoria	27	Ejemplo
35	990	30	Satisfactoria	25	Ejemplo
36	960	37	Satisfactoria	26	Ejemplo
37	980	39	Satisfactoria	25	Ejemplo
38	930	36	Satisfactoria	24	Ejemplo
39	1040	37	Satisfactoria	27	Ejemplo
40	940	49	Satisfactoria	<u>13</u>	Ejemplo comparativo

**: Satisfactorio; sin desprendimiento de capa

No satisfactorio; con desprendimiento de capa

El valor subrayado se encuentra fuera de rango de acuerdo con la presente invención.

A partir de las Tablas 1-1 y 1-2 se confirma claramente que los ejemplos de la presente invención presentan todos resistencia a fatiga térmica, resistencia a fatiga a alta temperatura y resistencia a oxidación equivalente o más que las del acero con Nb-Si añadido, lo que significa que se consigue el objetivo de la presente invención.

Aplicabilidad Industrial

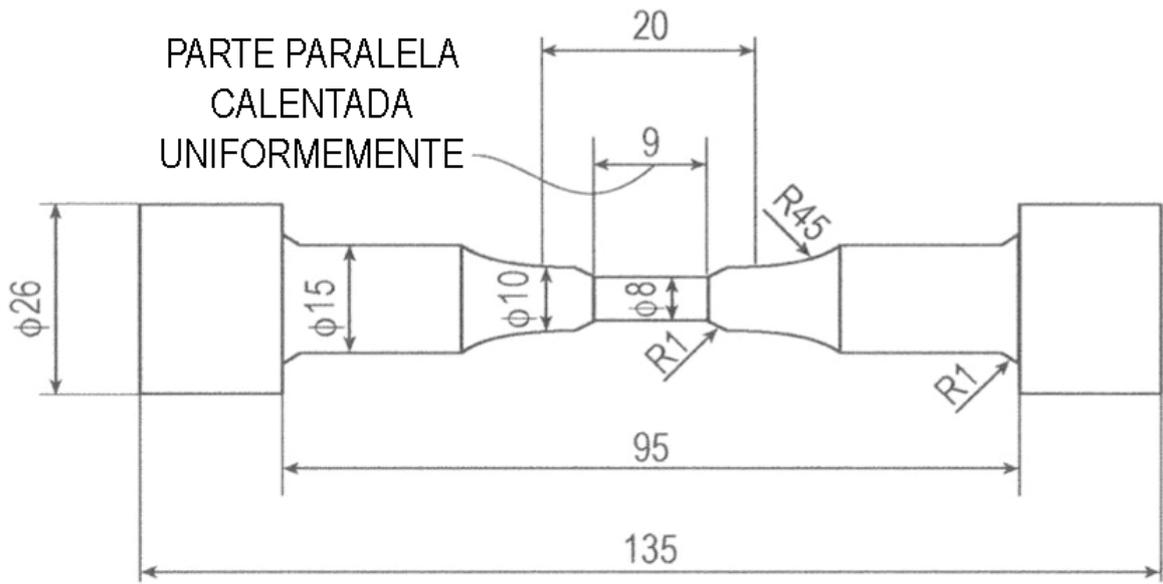
ES 2 613 452 T3

El acero de acuerdo con la presente invención puede utilizarse idealmente no sólo para piezas de un sistema de escape de, por ejemplo, un automóvil, sino también para piezas de un sistema de escape de una planta de energía termoeléctrica y las piezas de una celda de combustible sólido-óxido que se requiere que presenten unas propiedades similares a las piezas de un sistema de escape de un automóvil.

REIVINDICACIONES

1. Acero inoxidable ferrítico que tiene una composición química que consiste, en % en masa, en: C: 0,020% o menos, Si: 3,0% o menos y 0,1% o más, Mn: 3,0% o menos y 0,1% o más, P: 0,040% o menos, S: 0,030% o menos, Cr: entre 10% y 25%, N: 0,020% o menos, Nb: entre 0,005% y 0,15%, Al: entre 0,20% y 3,0%, Ti: entre $5 \times (\%C + \%N)$ y 0,5%, Mo: 0,1% o menos, W: 0,1% o menos, Cu: entre 0,55% y 2,0%, B: entre 0,0002% y 0,0050%, Ni: entre 0,05% y 1,0%, y opcionalmente, además, REM: entre 0,001 y 0,08%, Zr: entre 0,01% y 0,5%, V: entre 0,01% y 0,5%, Co: entre 0,01% y 0,5%, Ca: entre 0,0005% y 0,0030%, y Mg: 0,0002% a 0,0020%, y siendo el resto Fe e impurezas inevitables, donde %C y %N en la expresión $5 \times (\%C + \%N)$ representan respectivamente el contenido (% en masa) de los elementos químicos C y N.

FIG. 1



(UNIDAD: mm)

FIG. 2

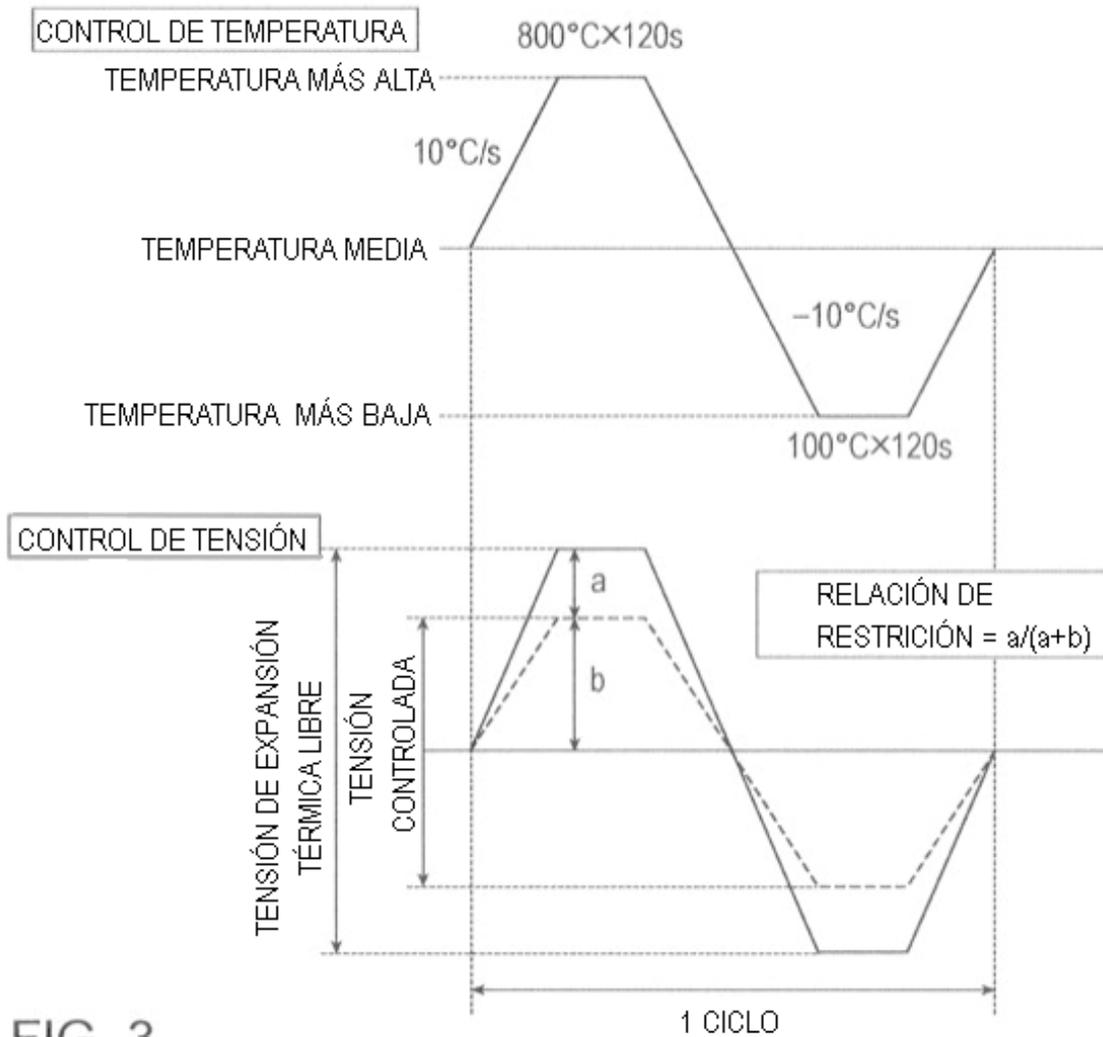


FIG. 3

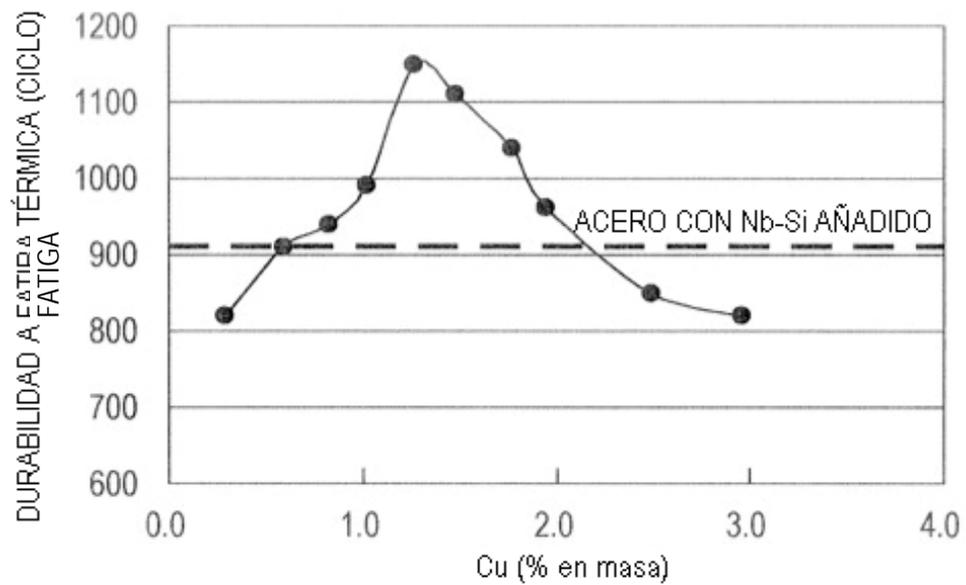


FIG. 4

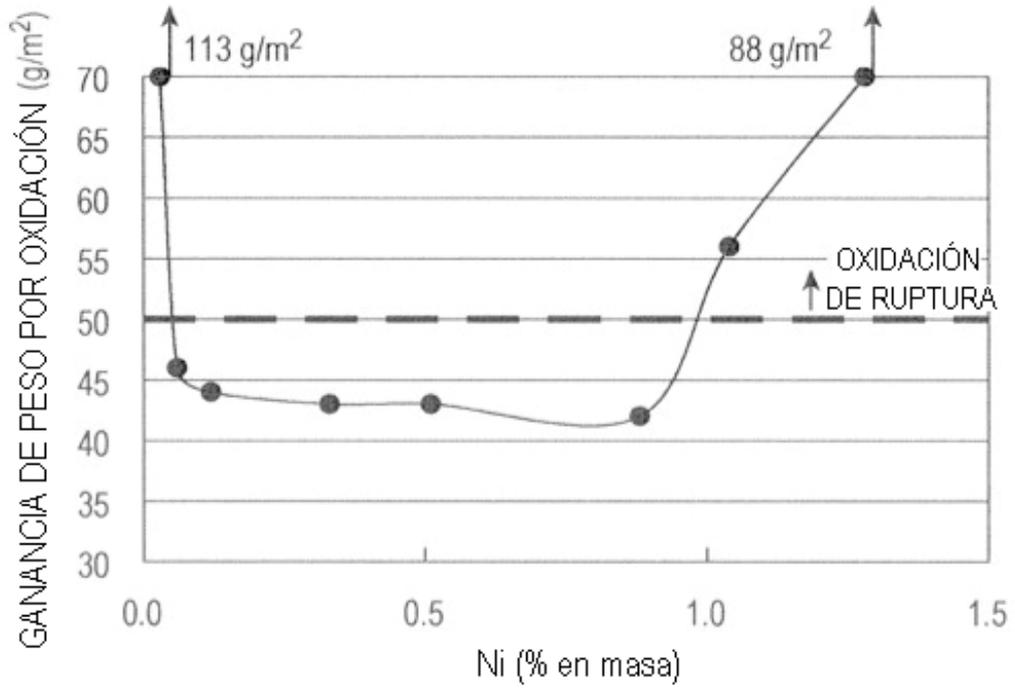


FIG. 5

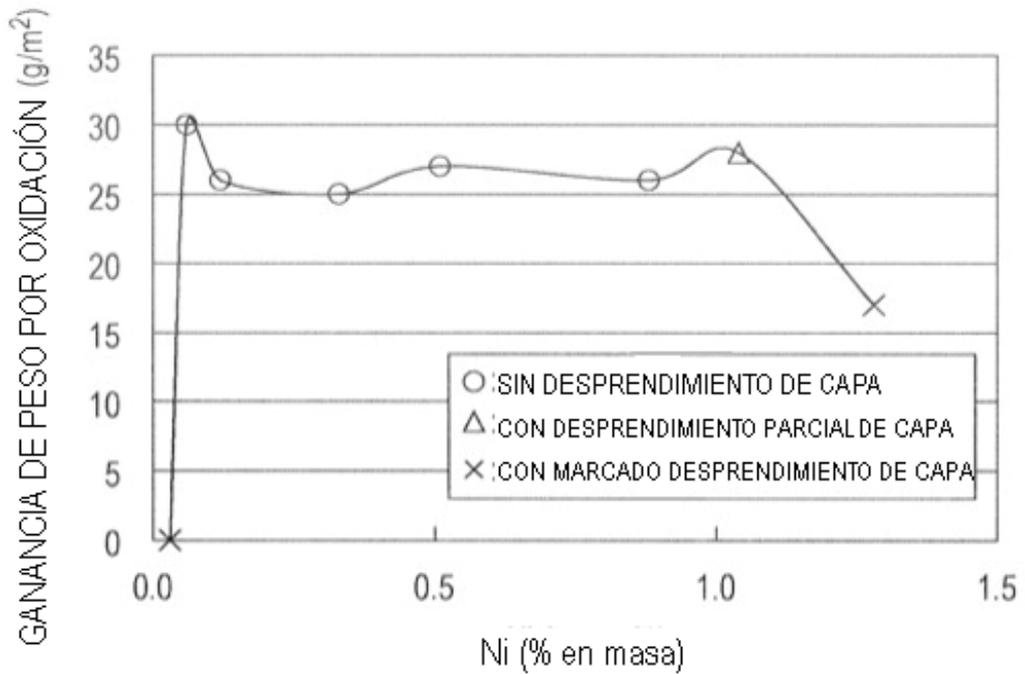
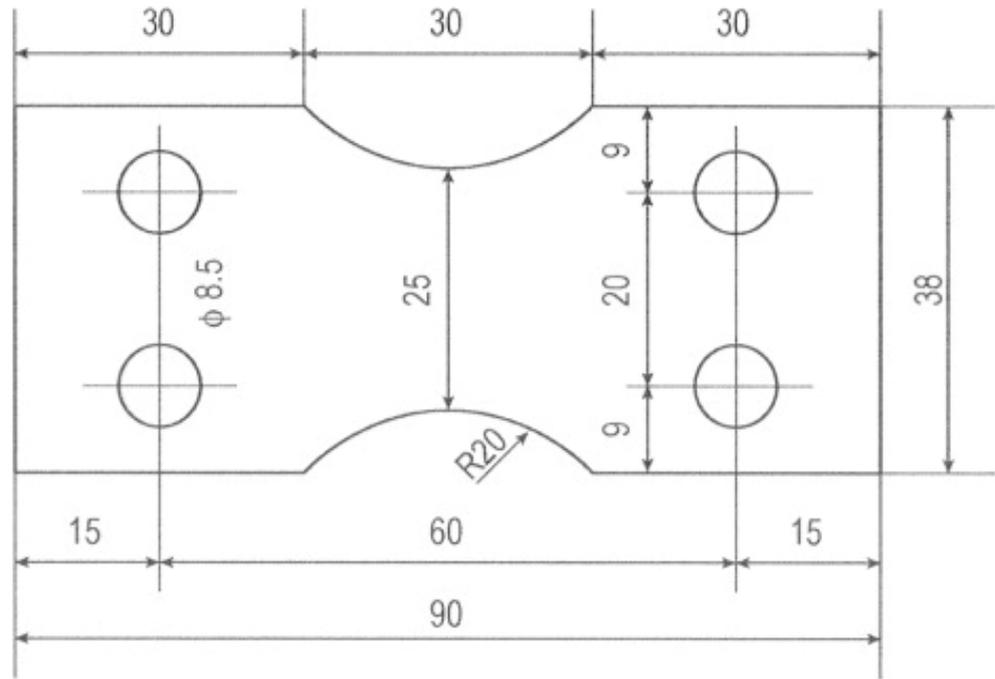


FIG. 6



UNIDAD: mm

FIG. 7

