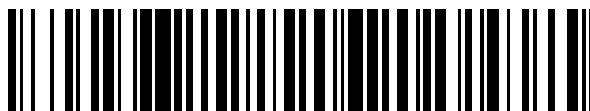


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 720 182**

51 Int. Cl.:

C22C 38/00	(2006.01)	C22C 38/12	(2006.01)
C22C 38/58	(2006.01)	C22C 38/46	(2006.01)
G21C 13/08	(2006.01)	C22C 38/44	(2006.01)
C21D 6/00	(2006.01)	C22C 38/08	(2006.01)
C21D 8/02	(2006.01)	C22C 38/54	(2006.01)
C21D 1/18	(2006.01)	C22C 38/48	(2006.01)
C22C 38/02	(2006.01)	C22C 38/50	(2006.01)
C22C 38/04	(2006.01)	G21C 13/087	(2006.01)
C22C 38/06	(2006.01)		
C22C 38/42	(2006.01)		

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **24.02.2012 PCT/JP2012/054620**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **30.08.2012 WO12115240**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.02.2012 E 12749031 (6)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.04.2019 EP 2679696**

54 Título: **Acero forjado y estructura soldada para componentes de plantas de energía nuclear**

30 Prioridad:

24.02.2011 JP 2011038074
31.01.2012 JP 2012018488

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
18.07.2019

73 Titular/es:

KABUSHIKI KAISHA KOBE SEIKO SHO (KOBE STEEL, LTD.) (100.0%)
10-26, Wakinohama-cho 2-chome Chuo-ku Kobe-shi, Hyogo 651-8585, JP

72 Inventor/es:

TAKAOKA HIROYUKI y FUJITSUNA NOBUYUKI

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

ES 2 720 182 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 forjado y estructura soldada para componentes de plantas de energía nuclear

5 Campo técnico

La presente invención hace referencia a aceros forjados para componentes de plantas de energía nuclear, aceros forjados que se usan como miembros que forman parte de recipientes de presión, generadores de vapor y otros equipos en instalaciones de energía nuclear. La presente invención también hace referencia a estructuras soldadas para componentes de plantas de energía nuclear, que están formados por medio de soldadura o más forjas de los aceros forjados para componentes de plantas de energía nuclear.

Técnica anterior

15 Los aceros forjados de gran tamaño (forjas de acero) tiene una resistencia y tenacidad satisfactorias, y se han considerado como miembros de conjunto apropiados para recipientes de presión, generadores de vapor y otro equipo en instalaciones de energía nuclear, y se han usado ampliamente como miembros para componentes de plantas de energía nuclear. La generación de energía nuclear se ha empleado recientemente más y más, debido a que esta técnica carece de emisiones de dióxido de carbono (CO₂) y resulta ventajoso desde los puntos de vista de protección del medio ambiente global y en particular de prevención de calentamiento global. Además, recientemente se requiere más y más energía que nunca antes, y esto demanda más recipientes de presión de tamaño grande, generadores de vapor y otros equipos en instalaciones de energía nuclear.

25 Los recipientes de presión, los generadores de vapor y otros equipos de las plantas de energía nuclear tienen tamaños cada vez más grandes como se ha descrito con anterioridad. Esto requiere que los aceros forjados de tamaño grande para su uso en los mismos tengan una resistencia y tenacidad satisfactoria adicional y exhiban una resistencia a la fisuración por hidrógeno satisfactoria (resistencia a la fragilidad por hidrógeno).

30 Se pueden usar aceros forjados de gran tamaño como materiales de base (metales de base) para unir estructuras soldadas para componentes de plantas de energía nuclear. Dichas estructuras tras la soldadura generalmente se someten a un tratamiento térmico de liberación de tensión a largo plazo para liberar la tensión. Los aceros forjados de gran tamaño para componentes de plantas de energía nuclear deberían presentar resistencia y tenacidad satisfactorias a niveles satisfactorios incluso después del tratamiento térmico de liberación de tensión.

35 Los aceros forjados de gran tamaño para componentes de plantas de energía nuclear deberían tener resistencia, tenacidad y resistencia a la fisuración por hidrógeno a niveles satisfactorios como se ha comentado con anterioridad. Se han propuesto técnicas que hacen referencia a aceros que tienen resistencia y tenacidad satisfactorias desde hace mucho tiempo en la bibliografía de patentes (PTL) 1 a 4. En esos tiempos las plantas de energía nuclear, sin embargo, fueron diseñadas antes de la ampliación y precisaron resistencia y tenacidad a niveles no tan elevados, en comparación con los de los equipos de gran tamaño actuales.

45 Se han estudiado mejoras en la resistencia a la fisuración por hidrógeno tanto a partir de técnicas de refinado de acero como a partir de estructuras y composiciones químicas del acero. A la vista de las técnicas de refinado, ya se han empleado operaciones reales como técnica específica. En esta composición de resina epoxi, se especifica el límite superior de un nivel de hidrógeno tras el refinado de acero fundido, y se lleva a cabo un tratamiento de eliminación de gas de hidrógeno cuando el nivel real de hidrógeno supera el límite superior especificado. Se piensa que el tratamiento de eliminación de gas de hidrógeno tiene un techo de reducción de hidrógeno desde el punto de vista de tiempo y coste de tratamiento. Por estas razones, la producción actual de aceros forjados emplea el control de hidrógeno del orden de una a varias partes por millón. El control actual de hidrógeno del orden de una a varias partes por millón, sin embargo, falla para evitar completamente la fisuración por hidrógeno debido a que la fisuración por hidrógeno viene provocada por hidrógeno a un nivel menor de este.

55 Desde el punto de vista de composición y estructura química del acero, se ha propuesto PTL 5 como técnica para mejorar la resistencia por fisuración de hidrógeno como método de refinado del acero fundido. En esta técnica, se introducen positivamente inclusiones de MnS en el acero aumentando el contenido de S en el acero y se usan efectivamente inclusiones de MnS como sitios de retención de hidrógeno susceptible de difusión. Aunque ciertamente se mejora la resistencia a la fisuración por hidrógeno, incluso esta técnica apenas evita la fisuración por hidrógeno de forma completa. De manera desventajosa, esta técnica provoca el deterioro de la tenacidad debido a las inclusiones en grandes cantidades, aunque proporciona una resistencia a la fisuración por hidrógeno bastante mejor.

Listado de citas

Bibliografía de patentes

65

PTL 1: Solicitud de Patente Japonesa No Examinada N.º Publicación (JP-A) S55-100964
 PTL 2: JP-A N.º S63-53243
 PTL 3: JP-A No. S63-69944
 PTL 4: JP-A N.º S64-8255
 PTL 5: JP-A N.º 2003-268438

5 El documento JP 2000-319749 hace referencia a un acero de NiCrMoV (para refinado) que exhibe elevada tenacidad y resistencia incluso sin el uso de elementos de formación de carburo tales como Nb y Ta, y para proporcionar un miembro de acero forjado colado usando acero de NiCrMoV.

Sumario de la invención

Problema técnico

10 Se ha llevado a cabo la presente invención para solucionar las desventajas de las técnicas habituales, y un objetivo de la misma consiste en proporcionar un acero forjado para componentes de plantas de energía nuclear, acero forjado que presente una resistencia, tenacidad y resistencia a la fisuración por hidrógeno a niveles satisfactorios incluso después del tratamiento térmico de liberación de tensión posterior a la soldadura. Otro objetivo de la
 15 presente invención consiste en proporcionar una estructura soldada para componentes de plantas de energía nuclear, cuya estructura soldada se obtiene por medio de soldadura de dos o más de las forjas del acero forjado para componentes de plantas de energía nuclear.

Solución al problema

20 La presente invención proporciona un acero forjado para componentes de plantas de energía nuclear, que incluye: C en un contenido de un 0,15 % a un 0,24 %; Si en un contenido de un 0,15 % a un 0,30 %; Mn en un contenido de un 1,0 % a un 1,6 %; P en un contenido de más de un 0 % a un 0,015 %; S en un contenido de más de un 0 % a un 0,0015 %; Cu en un contenido de un 0 % a un 0,10 %; Ni en un contenido de un 0,70 % a un 1,10 %; Cr en un
 25 contenido de un 0,05 % a un 0,30 %; Mo en un contenido de un 0,40 % a un 0,60 %; V en un contenido de un 0 % a un 0,05 %; Al en un contenido de un 0,015 % a un 0,030 %; O en un contenido de más de un 0 % a un 0,0030 %; Ni en un contenido de un 0,0050 % a un 0,0150 %, que opcionalmente comprende al menos un elemento seleccionado entre el grupo que consiste en Nb con un contenido de un 0,005 % a un 0,050 %; Ti en un contenido de un 0,005 % a un 0,030 %; B en un contenido de un 0,0005 % a un 0,0050 %; y Ca en un contenido de un 0,0005 % a un
 30 0,0050 %, en porcentaje en masa, en el que el acero forjado además incluye hierro e impurezas inevitables; y una estructura de metal del acero forjado tiene un tamaño de grano en términos de número de tamaño de grano ASTM de 4,5 a 7,0 (primera realización).

35 En el acero forjado para componentes de plantas de energía nuclear de acuerdo con la primera realización, el contenido de N puede ser de un 0,0100 % o más en porcentaje en masa cuando la relación en masa (Al/N) del contenido de Al con respecto al contenido de N es de 1,93 o más; y el contenido de Al puede ser de un 0,022 % o más en porcentaje en masa cuando la relación en masa (Al/N) es menor de 1,93 (segunda realización).

40 En el acero forjado para componentes de plantas de energía nuclear de acuerdo con la primera o segunda realizaciones, la cementita presente en la estructura del metal del acero forjado tiene un diámetro de círculo equivalente promedio de 0,5 µm o menos (tercera realización). Preferentemente, el acero forjado tiene un tamaño grande.

45 La presente invención proporciona además, en una quinta realización, una estructura soldada que se obtiene por medio de preparación de dos o más forjas del acero forjado de una cualquiera de la primera, segunda, tercera y cuarta realizaciones; y soldadura de dos o más forjas unas con otras.

Efectos ventajosos de la invención

50 El acero forjado y la estructura soldada para los componentes de plantas de energía nuclear de acuerdo con la presente invención tienen resistencia, tenacidad y resistencia a la fisuración por hidrógeno a niveles satisfactorios incluso después del tratamiento térmico de liberación de tensión posterior a la soldadura.

Breve descripción de los dibujos

55 La Figura 1 es una vista frontal de cómo llevar a cabo un ensayo de tasa de tensión lenta (SSRT) para evaluar la resistencia a la fisuración por hidrógeno en ejemplos experimentales.

Descripción de las realizaciones

60 Se pueden usar aceros forjados de gran tamaño como (forjas de acero) como metales de base para unir estructuras

soldadas para componentes de plantas de energía nuclear. Dichas estructuras tras la soldadura generalmente se someten a un tratamiento térmico de liberación de tensión a largo plazo para liberar la tensión. Los aceros habituales forjados de tal manera para componentes de plantas de energía nuclear tienen resistencia y tenacidad a determinados niveles por sí mismos, pero la resistencia, tenacidad y resistencia a la fisuración por hidrógeno de los mismos tras un tratamiento térmico de liberación de tensión no se han investigado de forma específica. En estas circunstancias, los presentes inventores han llevado a cabo diversas investigaciones profundas para desarrollar aceros forjados y estructuras soldadas para componentes de plantas de energía nuclear, que tengan resistencia, tenacidad y resistencia a la fisuración por hidrógeno a niveles satisfactorios incluso después del tratamiento térmico de liberación de tensión.

De acuerdo con la técnica habitual, la resistencia a la fisuración por hidrógeno de un acero forjado se mejora aumentando el contenido de S del acero para introducir positivamente inclusiones de MnS en el acero, y usar efectivamente las inclusiones de MnS como sitios de retención de hidrógeno susceptible de difusión. La resistencia a la fisuración por hidrógeno del acero forjado resultante, sin embargo, todavía no resulta suficiente. Los presentes inventores han llevado a cabo investigaciones para encontrar un acero forjado que tenga una fisuración por hidrógeno mejor que la del acero forjado habitual. Como resultado, los presentes inventores han descubierto que la reducción del contenido de S en el acero proporciona, al contrario, un acero forjado que presenta mejor resistencia a la fisuración por hidrógeno. Aunque los motivos y los mecanismos todavía no están claros, la mejor resistencia a la fisuración por hidrógeno se obtiene probablemente debido a que las inclusiones de MnS se forman en una cantidad más pequeña para reducir la concentración de tensión que tiene lugar en la interfaz entre las inclusiones de MnS y la matriz.

Los presentes inventores han descubierto también que el control de un acero forjado para que tenga una estructura de metal que presente un tamaño de grano mayor que el habitual resulta efectivo para evitar la formación de ferrita pseudo-poligonal y bainita granular; y han descubierto que esto proporciona un acero forjado y una estructura soldada para componentes de plantas de energía nuclear, que tienen resistencia, tenacidad y resistencia a la fisuración por hidrógeno a niveles satisfactorios incluso después del tratamiento térmico de liberación de tensión. La presente invención se ha completado basándose en este hallazgo.

Los presentes inventores han descubierto de forma adicional que el control de la cantidad de precipitados de nitruro de aluminio (AlN) proporciona de forma ventajosa tenacidad y resistencia a la fisuración por hidrógeno a niveles satisfactorios. Han descubierto que el refinado de cementita en la estructura metálica proporciona además mejor tenacidad.

La presente invención se ilustra con detalle a continuación, con referencia a las realizaciones de la misma.

La presente invención esencialmente especifica las composiciones químicas de un acero forjado y el tamaño de grano de su estructura de metal. Inicialmente, las composiciones químicas se ilustran con detalle a continuación. Todos los porcentajes y contenidos de los respectivos elementos (composiciones químicas) están en porcentaje en masa.

Composiciones Químicas

C: de un 0,15 % a un 0,24 %

El elemento Carbono (C) resulta esencial para garantizar la resistencia a determinado nivel. El carbono presente en un contenido menor de un 0,15 % puede fallar a la hora de contribuir a la resistencia necesaria. Por el contrario, el carbono presente en un contenido mayor de un 0,24 % puede provocar un aumento de las fases duras tales como martensita y provocar que el acero forjado tenga una tenacidad inferior. Para evitar esto, el contenido de carbono puede ser de un 0,15 % a un 0,24 %. Preferentemente, el contenido de carbono es de un 0,17 % o más en términos de su límite inferior; y es preferentemente de un 0,22 % o menos y más preferentemente de un 0,20 % o menos en términos de su límite superior.

Si: de un 0,15 % a un 0,30 %

El elemento Silicio (Si) contribuye efectivamente a una mejor resistencia como el carbono. Aunque incluso una cantidad traza de Si puede contribuir a una mejor resistencia, se especifica que el contenido de Si es de un 0,15 % o más en términos de su límite inferior. Por el contrario, Si en un contenido excesivamente elevado puede provocar una resistencia excesivamente elevada y un aumento de las fases duras tales como martensita para provocar una tenacidad inferior. Para evitar esto, se especifica que el contenido de Si sea de un 0,30 % o menos; y es preferentemente de un 0,27 % o menos y más preferentemente de un 0,25 % o menos en términos de su límite superior.

Mn: de un 1,0 % a un 1,6 %

El elemento Manganeso (Mn) contribuye efectivamente a una mejor resistencia y tenacidad. Mn presente en un

- contenido menor de un 1,0 % puede exhibir efectos insuficientes. Por el contrario, Mn presente en un contenido excesivamente elevado puede provocar resistencia excesivamente elevada, aumentar las fases duras tales como martensita y engrosamiento de los carburos de frontera de grano para provocar el deterioro de la resistencia y la tenacidad. Para evitar esto, el contenido de Mn puede ser de un 1,0 % a un 1,6 %. Preferentemente, el contenido de Mn es de un 1,2 % o más en términos de su límite inferior; y es preferentemente de un 1,5 % o menos en términos de su límite superior.
- 5 P: más de un 0 % a un 0,015 %
- 10 El elemento Fósforo (P) es una impureza inevitablemente contaminada y afecta negativamente a la tenacidad. Para evitar esto, el contenido de fósforo se minimiza de forma preferida. Desde este punto de vista, el contenido de fósforo debería controlarse hasta un 0,015 % o menos y es preferentemente de un 0,010 % o menos. Sin embargo, resulta difícil controlar industrialmente el contenido de fósforo en el acero para que sea un 0 %.
- 15 S: más de un 0 % a un 0,0015 %
- El elemento Azufre (S) forma MnS e impide la resistencia a la fisuración por hidrógeno. Para evitar esto, preferentemente el contenido de S se minimiza. Desde este punto de vista, el contenido de azufre debería controlarse para ser un 0,0015 % o menos y es preferentemente de un 0,0013 % o menos, y más preferentemente de un 0,0012 % o menos. Sin embargo, resulta difícil controlar industrialmente el contenido de azufre en el acero para que sea un 0 %.
- 20 Cu: de un 0 % a un 0,10 %
- 25 El elemento Cobre (Cu) contribuye efectivamente a una mayor resistencia y mejor tenacidad y se añade de acuerdo con esta necesidad. Cu está presente en un contenido excesivamente elevado, sin embargo, puede provocar una resistencia excesivamente elevada y aumentar las fases duras tales como martensita e impedir la resistencia y la tenacidad. Para evitar esto, el contenido de Cu debería ser de un 0,10 % o menos y es preferentemente de un 0,05 % o menos en términos de límite superior.
- 30 Ni: de un 0,70 % a un 1,10 %
- El elemento Níquel (Ni) contribuye efectivamente a una mejor resistencia y tenacidad. Ni presente en un contenido menor de un 0,70 % puede exhibir efectos insuficientes. Por el contrario, Ni presente en un contenido excesivamente elevado puede provocar una resistencia excesivamente elevada y afectar negativamente a la tenacidad. Para evitar esto, el contenido de Ni puede ser de un 0,70 % a un 1,10 %. Preferentemente, el contenido de Ni es de un 0,80 % o más en términos de su límite inferior; y es preferentemente de un 1,05 % o menos y más preferentemente de un 1,00 % o menos en términos de su límite superior.
- 35 Cr: de un 0,05 % a un 0,30 %
- El elemento Cromo (Cr) contribuye a una mejor resistencia y tenacidad. Cr presente en un contenido menor de un 0,05 % puede exhibir efectos insuficientes. Por el contrario, Cr presente en un contenido excesivamente elevado puede provocar un engrosamiento de los carburos de frontera de grano para afectar negativamente a la resistencia y la tenacidad. Para evitar esto, el contenido de Cr puede ser de un 0,05 % a un 0,30 %. Preferentemente, el contenido de Cr es de un 0,10 % o más en términos de su límite inferior; y es preferentemente de un 0,27 % o menos y más preferentemente de un 0,25 % o menos en términos de su límite superior.
- 40 Mo: de un 0,40 % a un 0,60 %
- 50 El elemento Molibdeno (Mo) contribuye a una mejor resistencia y tenacidad. Para exhibir la actividad de manera efectiva, el contenido de Mo debería ser de un 0,40 % o más. El contenido de Mo es preferentemente de un 0,45 % o más, y más preferentemente de un 0,50 % o más en términos de su límite inferior. Por el contrario, Mo presente en un contenido excesivamente elevado puede provocar un engrosamiento de los carburos de frontera de grano para afectar negativamente a la tenacidad. Para evitar esto, el contenido de Mo debería ser de un 0,60 % y menos, y es preferentemente de un 0,55 % o menos en términos de su límite superior.
- 55 V: de un 0 % a un 0,05 %
- 60 El elemento Vanadio (V) contribuye efectivamente a una mayor resistencia y mejor tenacidad y se añade de acuerdo con esta necesidad. Vanadio presente en un contenido excesivamente elevado puede provocar un engrosamiento de los óxidos para afectar negativamente a la tenacidad. Para evitar esto, el contenido de vanadio debería ser de un 0,05 % o menos, y es preferentemente de un 0,03 % o menos en términos de su límite superior.
- 65 Al: de un 0,015 % a un 0,030 %

5 Aluminio (el elemento Al sirve como desoxidante y reduce efectivamente el contenido de oxígeno. Para exhibir la actividad de manera efectiva, Al debería estar presente en un contenido de un 0,015 % o más. Al presente en un contenido excesivamente elevado, sin embargo, puede provocar el engrosamiento de los óxidos y afectar negativamente a la tenacidad de manera negativa. Para evitar esto, se debería controlar el contenido de aluminio en un 0,030 % o menos.

O: más de un 0 % a un 0,0030 %

10 El elemento Oxígeno (O) forma óxidos y evita la tenacidad. Para evitar esto, preferentemente el contenido de O se minimiza, excepto en el caso de contaminación inevitable. El contenido de oxígeno por tanto es de un 0,0030 % o menos, preferentemente un 0,0020 % o menos, y más preferentemente un 0,0015 % o menos.

N: de un 0,0050 % a un 0,0150 %

15 El elemento Nitrógeno (N) forma carbonitruros con Al o Nb opcionalmente añadido, Ti y/o V para contribuir a una mejor tenacidad. Para exhibir la actividad de manera efectiva, el nitrógeno debería estar presente en un contenido de un 0,0050 % o más. Sin embargo, el nitrógeno presente con un contenido excesivamente elevado puede servir como nitrógeno soluto y provocar envejecimiento por tensión para afectar negativamente a la tenacidad. Para evitar esto, el contenido de nitrógeno debería ser de un 0,0150 % o menos en términos de su límite superior.

20 Los elementos presentes en el acero forjado especificados en la presente invención como se ha comentado con anterioridad. El acero forjado puede contener además hierro e impurezas inevitables. Los elementos tales como Sn, As y Pb puede introducirse en el acero forjado a partir de las materias primas, materiales de construcción e instalaciones de fabricación. Estos elementos pueden estar presentes como impurezas inevitables. El acero forjado puede contener de forma efectiva positiva adicional uno o más elementos como se muestra a continuación. El acero forjado resultante puede tener una propiedad o propiedades mejores de acuerdo con el tipo de elemento (composición química) presente adicional.

25 Nb: de un 0,005 % a un 0,050 %

30 El elemento Niobio (Nb) contribuye ventajosamente a una capacidad de endurecimiento mejorada y resistencia elevada. Nb presente en un contenido excesivamente elevado, sin embargo, provoca grandes cantidades de carburos que afectan negativamente a la tenacidad. El contenido de Nb, cuando se añade, puede ser de un 0,050 % o menos y preferentemente de un 0,040 % o menos. Para exhibir las actividades de manera efectiva, Nb preferentemente está presente en un contenido de un 0,005 % o más.

35 Ti: de un 0,005 % a un 0,030 %

40 El elemento Titanio (Ti) forma TiN que se dispersa finamente en el acero para evitar ventajosamente el engrosamiento de los granos de austenita durante el calentamiento. Para exhibir la actividad de manera efectiva, Ti preferentemente está presente en un contenido de un 0,005 % o más. Ti presente en un contenido excesivamente elevado, sin embargo, puede afectar negativamente a la capacidad de soldadura. Para evitar esto, el contenido de Ti, cuando está presente, es preferentemente un 0,030 % o menos.

45 B: de un 0,0005 % a un 0,0050 %

50 El elemento Boro (B) contribuye ventajosamente a una capacidad de endurecimiento mejorada y resistencia elevada. Boro presente en un contenido excesivamente elevado, sin embargo, puede formar una estructura basta y afectar negativamente a la tenacidad. El contenido de boro, cuando está presente, es preferentemente un 0,0050 % o menos, más preferentemente un 0,0040 % o menos, y aún más preferentemente un 0,0020 % o menos. Para exhibir las actividades de manera efectiva, boro preferentemente está presente en un contenido de un 0,0005 % o más.

Ca: de un 0,0005 % a un 0,0050 %

55 El elemento Calcio (Ca) controla las formas de los sulfuros y contribuye a una mejor tenacidad. Ca presente con un contenido excesivamente elevado de más de un 0,0050 %, sin embargo, puede comprometer negativamente la tenacidad. Para exhibir las actividades de manera efectiva, Calcio preferentemente está presente en un contenido de un 0,0005 % o más.

60 Tamaño de Grano o Estructura del Metal

65 Además de presentar composiciones químicas, el acero forjado de acuerdo con la presente invención debería incluir una estructura de metal que tenga un tamaño de grano en términos de número de tamaño de grano ASTM de 4,5 a 7,0. El acero forjado de acuerdo con la presente invención tiene una estructura de metal que incluye principalmente una estructura bainítica. La estructura de metal de la presente memoria se controla para que tenga un tamaño de grano en términos de 4,5 a 7,0. Esto reduce el porcentaje de ferrita pseudo-poligonal y bainita granular en la

estructura bainítica tras la transformación, independientemente de la tasa de enfriamiento. Esto permite que el acero forjado presente una resistencia y tenacidad a niveles satisfactorios incluso tras el tratamiento térmico de liberación de tensión.

5 Relación en Masa del contenido de Al con respecto al contenido de N

Un acero forjado para componentes de plantas de energía nuclear, cuando se cumplen las condiciones para las composiciones químicas y tamaño de grano de estructura de metal, puede tener una resistencia, tenacidad y resistencia a la fisuración por hidrógeno a niveles satisfactorios incluso después del tratamiento térmico de liberación de tensión posterior a la soldadura. En una realización preferida, el acero forjado cumple además las condiciones de la relación en masa (Al/N) del contenido de Al con respecto al contenido de N como se muestra a continuación. El acero forjado de acuerdo con la presente realización tiene un elevado grado de regulación de tamaño de grano de la estructura metálica y puede tener tenacidad y resistencia a la fisuración por hidrógeno a niveles elevados adicionales.

15 Específicamente, el contenido de nitrógeno es de un 0,0100 % en masa o más cuando la relación en masa (Al/N) es 1,93 o más; el contenido de Al es de un 0,022 % en masa o más cuando la relación en masa (Al/N) es menor de 1,93.

20 Refinado de Cementita

El refinado de cementita en la estructura metálica además del control del tamaño de grano de la estructura de metal contribuye a un mejor equilibrio adicional entre resistencia y tenacidad. Específicamente, la cementita preferentemente tiene un diámetro de círculo equivalente promedio de 0,5 µm o menos.

25 Condiciones de Fabricación

Un acero forjado de acuerdo con una realización de la presente invención se puede fabricar por medio de la preparación de un acero que tenga composiciones químicas que cumplan las condiciones anteriores; y la forja de un acero de acuerdo con un procedimiento común. Por ejemplo, la forja se puede llevar a cabo a una temperatura de calentamiento de 1000 °C a 1300 °C y a cualquier relación de trabajo. El calentamiento en el templado, sin embargo, debería realizarse a una temperatura de aproximadamente 880 °C a menos de 1000 °C. El enfriamiento en el templado se puede llevar a cabo a una tasa de enfriamiento de aproximadamente 10 °C/minuto o más. El atemperado se puede llevar a cabo en condiciones regulares a una temperatura de aproximadamente 650 °C. Se puede llevar a cabo un tratamiento térmico de liberación de tensión en condiciones regulares a una temperatura de aproximadamente 600 °C.

40 El calentamiento en el templado se lleva a cabo a una temperatura de 880 °C o más para controlar la estructura de metal para tener un tamaño de grano en términos de número de tamaño de grano ASTM de 4,5 o más. El calentamiento en el templado se lleva a cabo a una temperatura menor de 1000 °C para que la estructura de metal tenga un tamaño de grano en términos de número de tamaño de grano ASTM de 7,0 o menos.

45 Para obtener la cementita fina, el tiempo de atemperado debería ser más corto que en las técnicas habituales. En las técnicas habituales, generalmente se considera que la densidad de dislocación (resistencia) disminuye y, de este modo, la tenacidad aumenta con un tiempo de atemperado creciente. Sin embargo, tras investigaciones, los presentes inventores han descubierto que cuando el tiempo de atemperado se acorta por el contrario, la resistencia aumenta, pero la tenacidad mejora de forma marcadamente más efectiva debido al refinado de cementita. Esto probablemente tiene como resultado un mejor equilibrio entre la resistencia y la tenacidad.

50 En los procedimientos habituales regulares, generalmente el atemperado se lleva a cabo durante un tiempo de más de aproximadamente 10 horas a aproximadamente 15 horas. En la presente invención, el atemperado se lleva a cabo durante un tiempo más corto de 5 horas a 10 horas para mejorar el equilibrio entre resistencia y tenacidad.

55 **Ejemplos**

La presente invención se ilustrará con más detalle con referencia a diversos ejemplos experimentales siguientes. Cabe destacar, sin embargo, que no debe interpretarse que los ejemplos limitan el alcance de la invención; y que son posibles diversos cambios y modificaciones sin apartarse del espíritu y alcance de la invención y que se encuentran dentro del alcance de la misma.

60 En un ejemplo experimental de la presente invención, se fundieron aceros (20 toneladas) que tenían composiciones químicas proporcionadas en las Tablas 1 y 2, se calentaron a 1200 °C, se les aplicó una tensión de trabajo de un 15 % y dieron lugar a muestras de planchas (aceros forjados). El templado y atemperado se llevaron a cabo en las condiciones que se presentan en las Tablas 3 y 4. Con respecto al tiempo de atemperado, se llevó a cabo el atemperado de las Muestras Nos. 11 a 24 durante 12 horas; y se llevó a cabo el atemperado de otras muestras, es decir, Muestras Nos. 1 a 10 y 31 a 62 durante 10,5 horas. Se sometió cada una de las muestras de ensayo a

tratamiento térmico de liberación de tensión a una temperatura de calentamiento de 607 °C durante un tiempo de retención de 48 horas.

5 En otro ejemplo experimental, se examinó el modo de influencia del tiempo de atemperado. Los resultados se muestran en las Tablas 5 y 6. Se obtuvieron aceros forjados de muestra por medio de las etapas que se muestran en el ejemplo experimental.

Medición del Número de Tamaño de Grano

10 Se tomó una muestra de ensayo de 20 mm cuadrados a partir de cada muestra de plancha (acero forjado) a una profundidad de un cuarto del espesor de la plancha desde la superficie en una dirección perpendicular a la dirección de laminado. Se pulió la muestra de ensayo sobre su superficie, y se midió su número de tamaño de grano por medio del método de determinación cuantitativo prescrito en la Norma Industrial Japonesa (JIS) G 0551.

15 Medición del Tamaño de Grano de Cementita

20 Se determinó cuantitativamente el tamaño de grano de cementita de la siguiente manera. Se sometió de nuevo a pulido superficial la muestra de ensayo tomada para medición del número de tamaño de grano, se sometió a ataque químico con disolución de Nital, y se analizó la microestructura de la misma en observación al microscopio electrónico de barrido (SEM). Además, se tomó una imagen de la microestructura a 4000 aumentos en un área de 30 μm por 30 μm para el campo de visión, se copiaron las regiones de cementita que aparecen en blanco en la imagen de microestructura a una película transparente, y se determinó cuantitativamente el tamaño promedio de los granos de cementita como diámetro de círculo equivalente promedio usando el analizador de imágenes Image-Pro-Plus.

25 Evaluación de Límite Elástico y Resistencia de Tracción

30 Se tomó una muestra de ensayo de tamaño normalizado como se especifica en ASTM SA-370 a partir de cada muestra de plancha (acero forjado) a una profundidad de un cuarto del espesor de plancha desde la superficie en una dirección perpendicular a la dirección de laminado. Se sometió la muestra de ensayo a un ensayo de tracción como se especifica en JIS Z 2241 para medir y determinar el límite elástico (YS) en la dirección de laminado y la resistencia de tracción (TS) de la muestra de ensayo. En el presente ejemplo experimental, se evaluó una muestra que tenía un TS de 550 MPA o más como acero forjado que tenía una resistencia satisfactoria. Los resultados de la medición se muestran en las Tablas 3 y 4.

35 Evaluación de la Tenacidad

40 Se tomaron tres muestras de ensayo de impacto de Charpy (JIS Z 2201 Número de muestras de ensayo 4) a partir de cada muestra de plancha (acero forjado) a una profundidad de un cuarto del espesor de plancha a partir de la superficie de forma que el eje de cada muestra de ensayo pasara a través de la profundidad de un cuarto del espesor de plancha. Se sometieron las muestras de ensayo a ensayos de impacto de Charpy para medir la energía absorbida, y se calculó el promedio de los tres valores medidos de energía absorbida. Se definió una temperatura (vE_{100}) a la cual la energía absorbida promedio fue de 100 J como la tenacidad de cada muestra de acero forjado. En el presente ejemplo experimental, se evaluó una muestra que tenía un vE_{100} de -5 °C o inferior, con un TS de 650 MPa o más, como acero forjado que tenía una tenacidad satisfactoria; mientras que se evaluó una muestra que tenía un vB_{100} de -20 °C o inferior, con un TS menor de 650 MPa, como acero forjado que tenía una tenacidad satisfactoria. Los resultados de la medición se muestran en las Tablas 3 y 4.

50 Evaluación de la Resistencia a la Fisuración por Hidrógeno

55 Se tomó una muestra de ensayo de varilla redonda a partir de cada muestra de plancha (acero forjado) a una profundidad de un cuarto del espesor de plancha a partir de la superficie de forma que el eje de la muestra de ensayo pasara a través de la profundidad de un cuarto del espesor de plancha. Se procesó la muestra de ensayo tomada para dar lugar a una muestra de ensayo de pesa que tenía una longitud de 150 mm y una longitud de calibre de 10 mm. Se procesó la muestra de ensayo de pesa para que la parte central de la misma tuviera un diámetro de 4 mm, y ambos extremos tuvieran un diámetro de 8 mm para formar abrazaderas, seguido del suministro de roscas sobre una longitud de 15 mm.

60 Se evaluó la resistencia a la fisuración por hidrógeno sometiendo la muestra de ensayo a un ensayo comparativo sobre susceptibilidad de fisuración por hidrógeno de aceros para forja.

65 Inicialmente, haciendo referencia a la Figura 1, se colocó cada muestra de ensayo 1 en el equipo de ensayo 2 y se sumergió en una disolución acuosa 3. La disolución acuosa 3 contenía 0,5 Moles/l H_2SO_4 y 0,01 Moles/l KSCN. En este momento, se llevó a cabo la electrólisis catódica a una densidad de corriente de 0,5 A/dm^2 al tiempo que se suministraba hidrógeno al sistema de ensayo. Tras completar la presente preparación, se sometió la muestra de ensayo 1 a un ensayo de tasa de tensión lenta (SSRT) en el que se aplicó una carga de tracción longitudinalmente a

ES 2 720 182 T3

la muestra de ensayo 1, y se midió una tensión S1 (alargamiento) de la muestra de ensayo. Se llevó a cabo el presente ensayo a una velocidad de tracción de cruceta del equipo de ensayo 2 de 2×10^{-3} mm.

5 Se llevó a cabo otro ensayo de tasa de tensión lenta (SSRT) por medio de las condiciones anteriores, exceptuando que se omite la inmersión en la disolución acuosa 3, es decir, exceptuando la realización del ensayo en la atmósfera, y se midió una tensión de rotura S2 por medio del procedimiento anterior.

10 Se sustituyeron los valores medidos obtenidos en las mediciones en una expresión para determinar el valor-S de susceptibilidad a la fisuración por hidrógeno, adoptando la expresión la forma siguiente:

$$\text{valor-S} = (1 - S2/S1) \times 100$$

15 Se evaluó la resistencia a la fisuración por hidrógeno de cada muestra de ensayo basándose en el valor-S determinado de acuerdo con los criterios siguientes. Se evaluó una muestra sometida a ensayo como excelente o buena en función de que fuera un acero forjado que presentaba resistencia a la fisuración por hidrógeno satisfactoria. Los resultados de la evaluación se muestran en las Tablas 3 y 4.

20 Excelente: Se evalúa la muestra que tiene un valor-S menor de 30 como una resistencia a la fisuración por hidrógeno muy buena; Buena: Se evalúa la muestra que tiene un valor-S de 30 a 40 como una resistencia a la fisuración por hidrógeno buena;

Suficiente: Se evalúa la muestra que tiene un valor-S de 40 a 50 como una resistencia a la fisuración por hidrógeno bastante pobre; y

Pobre: Se evalúa la muestra que tiene un valor-S de 50 como una resistencia a la fisuración por hidrógeno pobre.

[Tabla 1]

n.º	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	Al	N	O	Nb	Ti	B	Ca	Al/N
1	0,18	0,24	1,40	0,007	0,0003		0,80	0,12	0,49	0,003	0,016	0,0060	0,0018					2,67
2	0,18	0,24	1,40	0,007	0,0010	0,04	0,80	0,12	0,49		0,018	0,0075	0,0023					2,40
3	0,19	0,24	1,40	0,007	0,0011	0,03	0,80	0,12	0,49		0,020	0,0090	0,0020					2,22
4	0,18	0,24	1,40	0,007	0,0009		0,80	0,12	0,50		0,021	0,0120	0,0022					1,75
5	0,18	0,24	1,40	0,007	0,0012	0,03	0,80	0,12	0,49	0,004	0,024	0,0080	0,0018					3,00
6	0,18	0,24	1,40	0,007	0,0012		0,80	0,12	0,49		0,016	0,0060	0,0020					2,67
7	0,18	0,24	1,40	0,007	0,0010		0,80	0,12	0,49		0,018	0,0075	0,0020					2,40
8	0,18	0,24	1,40	0,007	0,0011	0,02	0,80	0,12	0,50		0,020	0,0090	0,0019					2,22
9	0,18	0,24	1,40	0,007	0,0004	0,03	0,80	0,12	0,49	0,005	0,020	0,0120	0,0020					1,67
10	0,18	0,24	1,40	0,007	0,0003		0,80	0,12	0,49		0,024	0,0120	0,0024					2,00
11	0,21	0,26	1,42	0,009	0,0003	0,03	0,96	0,22	0,55		0,016	0,0060	0,0018					2,67
12	0,20	0,26	1,42	0,009	0,0010		0,96	0,22	0,54		0,018	0,0075	0,0023					2,40
13	0,20	0,26	1,42	0,009	0,0011		0,96	0,22	0,54	0,002	0,020	0,0090	0,0020					2,22
14	0,20	0,26	1,42	0,009	0,0009	0,02	0,96	0,22	0,55		0,021	0,0120	0,0022					1,75
15	0,20	0,26	1,42	0,009	0,0012		0,96	0,22	0,54		0,024	0,0080	0,0018					3,00
16	0,20	0,26	1,42	0,009	0,0012		0,96	0,22	0,54	0,004	0,016	0,0060	0,0020					2,67
17	0,20	0,26	1,42	0,009	0,0010	0,01	0,96	0,22	0,55		0,018	0,0075	0,0020					2,40
18	0,20	0,26	1,42	0,009	0,0011		0,96	0,22	0,54		0,020	0,0090	0,0019					2,22
19	0,21	0,26	1,42	0,009	0,0004		0,96	0,22	0,54		0,022	0,0120	0,0020					1,83
20	0,20	0,26	1,42	0,009	0,0003	0,03	0,96	0,22	0,54	0,005	0,024	0,0080	0,0024					3,00
21	0,20	0,26	1,42	0,009	0,0009	0,03	0,96	0,22	0,54	0,002	0,020	0,0060	0,0020	0,007				3,33
22	0,21	0,26	1,42	0,009	0,0009		0,96	0,22	0,54		0,020	0,0060	0,0018		0,008			3,33
23	0,20	0,26	1,42	0,009	0,0008	0,04	0,96	0,22	0,55		0,020	0,0060	0,0020			0,0010		3,33
24	0,20	0,26	1,42	0,009	0,0008		0,96	0,22	0,54		0,020	0,0060	0,0022				0,0015	3,33

[Tabla 2]

n.º	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	Al	N	O	Nb	Ti	B	Ca	Al/N
31	0,14	0,24	1,40	0,007	0,0015		0,80	0,12	0,49		0,020	0,0080	0,0030					2,50
32	0,25	0,24	1,42	0,007	0,0015		0,80	0,12	0,49		0,020	0,0080	0,0030					2,50
33	0,18	0,13	1,40	0,006	0,0014		0,81	0,11	0,49		0,020	0,0080	0,0030					2,50
34	0,19	0,32	1,39	0,007	0,0015		0,80	0,12	0,51		0,020	0,0080	0,0030					2,50
35	0,18	0,25	0,90	0,007	0,0013		0,80	0,12	0,49		0,020	0,0080	0,0030					2,50
36	0,18	0,24	1,70	0,005	0,0015		0,78	0,10	0,49		0,020	0,0080	0,0030					2,50
37	0,19	0,22	1,40	0,017	0,0015		0,80	0,12	0,50		0,020	0,0080	0,0030					2,50
38	0,18	0,24	1,40	0,007	0,0017		0,80	0,12	0,49		0,020	0,0080	0,0030					2,50
39	0,18	0,23	1,40	0,007	0,0020		0,82	0,13	0,50		0,020	0,0080	0,0030					2,50
40	0,18	0,24	1,40	0,005	0,0015	0,13	0,80	0,12	0,49		0,020	0,0080	0,0030					2,50
41	0,17	0,24	1,40	0,007	0,0015		0,65	0,12	0,50		0,020	0,0080	0,0030					2,50
42	0,18	0,21	1,42	0,007	0,0015		1,20	0,12	0,49		0,020	0,0080	0,0030					2,50
43	0,18	0,25	1,40	0,007	0,0015		0,80	0,03	0,49		0,020	0,0080	0,0030					2,50
44	0,18	0,24	1,39	0,005	0,0015		0,80	0,35	0,49		0,020	0,0080	0,0030					2,50
45	0,19	0,22	1,40	0,006	0,0014		0,81	0,12	0,45		0,020	0,0080	0,0030					2,50
46	0,18	0,24	1,40	0,007	0,0015		0,80	0,11	0,65		0,020	0,0080	0,0030					2,50
47	0,18	0,25	1,40	0,007	0,0013		0,80	0,12	0,49	0,060	0,020	0,0080	0,0030					2,50
48	0,18	0,24	1,40	0,005	0,0015		0,78	0,12	0,49		0,012	0,0080	00030					1,50
49	0,17	0,22	1,40	0,007	0,0015		0,80	0,12	0,51		0,033	0,0080	0,0030					4,13
50	0,18	0,24	1,42	0,006	0,0014		0,80	0,12	0,49		0,020	0,0046	0,0030					4,35
51	0,18	0,23	1,40	0,007	0,0015		0,82	0,10	0,49		0,020	0,0153	0,0030					1,31
52	0,18	0,24	1,39	0,007	0,0013		0,80	0,12	0,50		0,020	0,0080	0,0032					2,50
53	0,18	0,24	1,40	0,005	0,0015		0,80	0,12	0,49		0,020	0,0080	0,0030	0,060				2,50
54	0,18	0,21	1,40	0,007	0,0015		0,80	0,13	0,50		0,020	0,0080	0,0030		0,060			2,50
55	0,18	0,24	1,40	0,007	0,0015		0,80	0,12	0,49		0,020	0,0080	0,0030			0,0060		2,50

(continuación)

n.º	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	Al	N	O	Nb	Ti	B	Ca	Al/N
56	0,18	0,24	1,40	0,007	0,0015		0,80	0,12	0,50		0,020	0,0080	0,0030				0,0040	2,50
57	0,18	0,24	1,40	0,007	0,0015		0,80	0,12	0,49		0,020	0,0080	0,0030					2,50
58	0,18	0,25	1,42	0,007	0,0015		0,79	0,12	0,50		0,020	0,0080	0,0030					2,50
59	0,18	0,24	1,40	0,007	0,0014		0,80	0,11	0,49		0,020	0,0080	0,0030					2,50
60	0,19	0,22	1,39	0,007	0,0015		0,78	0,12	0,49		0,020	0,0080	0,0030					2,50
61	0,18	0,24	1,40	0,007	0,0024		0,80	0,13	0,50		0,020	0,0080	0,0030					2,50
62	0,18	0,23	1,40	0,007	0,0031		0,80	0,12	0,49		0,020	0,0080	0,0030					2,50

ES 2 720 182 T3

[Tabla 3]

n.º	Método de fabricación			Estructura	Límite Elástico	Resistencia de Tracción	Tenacidad	Resistencia a la Fisuración por Hidrógeno
	Templado		Atemperado					
	Temperatura de calentamiento °C	Tasa de enfriamiento °C/min	Temperatura °C					Número de tamaño de grano N.º
1	900	60	655	6,8	472	610	-43	Excelente
2	910	60	655	6,5	474	615	-43	Buena
3	920	60	655	6,0	478	620	-44	Buena
4	930	60	655	5,5	480	626	-51	Buena
5	940	60	655	5,0	483	630	-53	Buena
6	990	20	655	4,5	463	620	-35	Buena
7	940	20	655	5,0	460	615	-32	Buena
8	930	20	655	5,5	457	610	-30	Buena
9	920	20	655	6,0	455	605	-37	Excelente
10	900	20	655	6,5	451	600	-38	Excelente
11	900	60	640	6,8	522	665	-21	Excelente
12	910	60	640	6,5	524	670	-20	Buena
13	920	60	640	6,0	525	675	-22	Buena
14	930	60	640	5,5	525	677	-29	Buena
15	940	60	640	5,0	527	680	-31	Buena
16	990	20	640	4,5	517	670	-17	Buena
17	940	20	640	5,0	515	667	-15	Buena
18	930	20	640	5,5	514	662	-13	Buena
19	920	20	640	6,0	513	660	-25	Excelente
20	900	20	640	6,5	512	655	-16	Excelente
21	900	20	640	7,0	533	675	-25	Buena
22	900	20	640	7,0	525	667	-24	Buena
23	900	20	640	6,7	527	673	-21	Buena
24	900	20	640	6,8	523	666	-20	Buena

[Tabla 4]

n.º	Método de fabricación			Estructura	Límite Elástico	Resistencia de Tracción	Tenacidad	Resistencia a la Fisuración por Hidrógeno
	Templado		Atemperado					
	Temperatura de calentamiento °C	Enfriamiento °C/min	Temperatura °C					Número de tamaño de grano N.º
31	900	20	640	6,8	394	525	0	Buena
32	900	20	640	6,5	535	713	15	Buena
33	900	20	640	6,5	401	535	0	Buena
34	900	20	640	6,5	484	645	10	Buena
35	900	20	640	6,5	398	530	0	Buena
36	900	20	640	6,5	500	666	15	Buena
37	900	20	640	6,5	452	603	5	Buena
38	900	20	640	6,5	451	601	25	Suficiente
39	900	20	640	6,5	451	601	25	Pobre
40	900	20	640	6,5	469	625	0	Buena
41	900	20	640	6,5	405	540	0	Buena
42	900	20	640	6,5	476	635	10	Buena
43	900	20	640	6,5	401	535	0	Buena
44	900	20	640	6,5	473	631	15	Buena
45	900	20	640	6,5	405	540	0	Buena
46	900	20	640	6,5	489	652	5	Buena
47	900	20	640	6,5	476	635	15	Buena
48	900	20	640	6,5	454	605	5	Buena
49	900	20	640	6,5	452	603	0	Buena
50	900	20	640	6,5	452	602	0	Buena
51	900	20	640	6,5	446	595	5	Buena
52	900	20	640	6,5	452	603	0	Buena
53	900	20	640	6,5	491	655	15	Buena
54	900	20	640	6,5	476	635	10	Buena
55	900	20	640	6,5	506	675	10	Buena
56	900	20	640	6,5	452	602	0	Buena
57	870	20	640	7,2	439	585	5	Buena
58	840	20	640	7,6	431	575	10	Buena
59	1000	20	640	4,3	456	608	5	Buena
60	1200	20	640	4,1	462	616	5	Buena
61	870	20	640	7,2	440	586	30	Pobre

ES 2 720 182 T3

n.º	Método de fabricación			Estructura	Límite Elástico	Resistencia de Tracción	Tenacidad	Resistencia a la Fisuración por Hidrógeno
	Templado		Atemperado					Evaluación
	Temperatura de calentamiento °C	Enfriamiento °C/min	Temperatura °C	Número de tamaño de grano N.º	YS MPa	TS MPa	vE100 °C	
62	1000	20	640	4,2	457	609	30	Pobre

5 Los aceros forjados de las Muestras Nos. 1 a 24 fueron ejemplos de la invención que cumplían las condiciones especificadas en la presente invención y tenían composiciones químicas y tamaños de grano de estructura de metal dentro de los intervalos apropiados. De este modo, los aceros forjados fueron satisfactorios en resistencia, tenacidad y resistencia a la fisuración por hidrógeno como se demuestra por medio de los resultados de ensayo.

10 Por el contrario, los aceros forjados de las Muestras Nos. 31 a 62 fueron ejemplos comparativos que no cumplían la(s) condición(es) especificada(s) en la presente invención en al menos una de las composiciones químicas y el tamaño de grano de la estructura de metal. En estos aceros forjados se frustró el cumplimiento de los criterios en al menos uno de resistencia, tenacidad y resistencia a la fisuración por hidrógeno.

[Tabla 5]

n.º	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	Al	N	O	Nb	Ti	B	Ca	Al/N
A1	0,18	0,24	1,40	0,007	0,0003	0,02	0,80	0,12	0,49		0,016	0,0060	0,0024					2,67
A2	0,18	0,24	1,40	0,007	0,0005		0,80	0,12	0,49	0,005	0,017	0,0067	0,0020					2,54
A3	0,19	0,25	1,36	0,006	0,0003		0,80	0,12	0,49		0,016	0,0073	0,0022					2,19
A4	0,18	0,24	1,42	0,007	0,00061	0,04	0,80	0,12	0,49	0,005	0,018	0,0060	0,0020					3,00
B1	0,20	0,26	1,42	0,009	0,0003	0,03	0,96	0,22	0,54	0,005	0,016	0,0060	0,0024					2,67
B2	0,21	0,26	1,42	0,008	0,0007		0,96	0,22	0,54		0,018	0,0078	0,0020					2,31
B3	0,20	0,23	1,38	0,009	0,0005	0,03	0,96	0,22	0,54	0,005	0,016	0,0060	0,0021					2,67
B4	0,20	0,26	1,44	0,006	0,0004		0,96	0,22	0,54	0,005	0,019	0,0080	0,0020					2,38

[Tabla 6]

n.º	Método de fabricación				Estructura		Límite Elástico YS MPa	Resistencia de Tracción TS MPa	Tenacidad vE100 °C	Resistencia a la Fisuración por Hidrógeno
	Templado		Atemperado		Número de tamaño de grano N.º	Cementita µm				
	Temperatura de calentamiento °C	Tasa de enfriamiento °C/min	Temperatura °C	Tiempo de retención horas						
A1	900	20	655	10,5	6,5	0,40	451	600	-28	Excelente
A2	900	20	655	5,5	6,8	0,25	470	620	-32	Excelente
A3	900	20	655	7	6,8	0,30	463	613	-31	Excelente
A4	900	20	655	9	6,8	0,35	456	606	-30	Excelente
B1	900	20	640	12	6,5	0,35	512	655	-11	Excelente
B2	900	20	640	7	6,8	0,20	522	665	-15	Excelente
B3	900	20	640	8,5	6,8	0,25	519	662	-14	Excelente
B4	900	20	640	10	6,8	0,30	515	658	-13	Excelente

5 Las Tablas 5 y 6 indican los resultados de otro ejemplo experimental para estudiar el modo de influencia del tiempo de atemperado. Los resultados demuestran lo siguiente. Las muestras A2 a A4 y B2 a B4 experimentaron atemperado durante tiempos cortos y tuvieron mejor equilibrio entre resistencia y tenacidad que las Muestras A1 y B1, respectivamente. Las muestras A1 y B1 experimentaron atemperado durante tiempos mayores de 10 horas como en las técnicas habituales.

Aplicabilidad industrial

10 Los aceros forjados para componentes de plantas de energía nuclear de acuerdo con las realizaciones de la presente invención son útiles como miembros integrantes de equipos tales como recipientes de presión y generadores de vapor en instalaciones de energía nuclear.

Listado de signos de referencia

- 1 muestra de ensayo
 - 2 equipo de ensayo
 - 3 disolución acuosa que contiene 0,5 Moles/l H_2SO_4 y 0,01 Moles/l KSCN
- 15

REIVINDICACIONES

1. Un acero forjado para componentes de plantas de energía nuclear, que comprende:

- 5 C en un contenido de un 0,15 % a un 0,24 %;
- Si en un contenido de un 0,15 % a un 0,30 %;
- Mn en un contenido de un 1,0 % a un 1,6 %;
- P en un contenido de más de un 0 % a un 0,015 %;
- S en un contenido de más de un 0 % a un 0,0015 %;
- 10 Cu en un contenido de un 0 % a un 0,10 %;
- Ni en un contenido de un 0,70 % a un 1,10 %;
- Cr en un contenido de un 0,05 % a un 0,30 %;
- Mo en un contenido de un 0,40 % a un 0,60 %;
- V en un contenido de un 0 % a un 0,05 %;
- 15 Al en un contenido de un 0,015 % a un 0,030 %;
- O en un contenido de más de un 0 % a un 0,0030 %;
- Ni en un contenido de un 0,0050 % a un 0,0150 %,

que opcionalmente comprende al menos un elemento seleccionado entre el grupo que consiste en

- 20 Nb en un contenido de un 0,005 % a un 0,050 %;
- Ti en un contenido de un 0,005 % a un 0,030 %;
- B en un contenido de un 0,0005 % a un 0,0050 %; y
- Ca en un contenido de un 0,0005 % a un 0,0050 %,

25 en porcentaje en masa,
donde:

- 30 el acero forjado además incluye hierro e impurezas inevitables; y
una estructura de metal del acero forjado tiene un tamaño de grano en términos de número de tamaño de grano ASTM de 4,5 a 7,0.

2. El acero forjado para componentes de plantas de energía nuclear de la reivindicación 1, donde:

- 35 el contenido de N es de un 0,0100 % o más en porcentaje en masa cuando la relación en masa (Al/N) del contenido de Al con respecto al contenido de N es de 1,93 o más; y
el contenido de Al puede ser de un 0,022 % o más en porcentaje en masa cuando la relación en masa (Al/N) es menor de 1,93.

40 3. El acero forjado para componentes de plantas de energía nuclear de la reivindicación 1 y 2, donde:
la cementita presente en la estructura del metal del acero forjado tiene un diámetro de círculo equivalente promedio de 0,5 μm o menos.

45 4. Una estructura soldada para componentes de plantas de energía nuclear, obtenida por medio de preparación de dos o más forjas del acero forjado de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4; y soldadura de dos o más forjas unas con otras.

FIG. 1

