

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 735 299**

51 Int. Cl.:

C22C 38/00 (2006.01)
C21D 8/02 (2006.01)
C22C 38/60 (2006.01)
C21D 6/00 (2006.01)
C21D 1/26 (2006.01)
F16L 9/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **19.03.2012 PCT/JP2012/057001**

87 Fecha y número de publicación internacional: **04.10.2012 WO12132992**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.03.2012 E 12764728 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.05.2019 EP 2692886**

54 Título: **Acero inoxidable austenítico de alta resistencia para gas hidrógeno a alta presión**

30 Prioridad:

28.03.2011 JP 2011070045

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

17.12.2019

73 Titular/es:

**NIPPON STEEL CORPORATION (100.0%)
 6-1, Marunouchi 2-chome, Chiyoda-ku
 Tokyo 100-8071, JP**

72 Inventor/es:

**OMURA, TOMOHIKO;
 NAKAMURA, JUN;
 OKADA, HIROKAZU;
 SEMBA, HIROYUKI;
 TOMIO, YUSAKU;
 HIRATA, HIROYUKI;
 IGARASHI, MASA AKI;
 OGAWA, KAZUHIRO y
 TERUNUMA, MASA AKI**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 735 299 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 austenítico de alta resistencia para gas hidrógeno a alta presión

Campo técnico

5 La presente invención se refiere a un acero inoxidable de alta resistencia para gas hidrógeno a alta presión, que tiene una resistencia a la tracción de 800 MPa o más, y tiene excelentes propiedades mecánicas en un entorno de gas hidrógeno a alta presión.

Antecedentes de la técnica

10 En los últimos años, se ha avanzado en el desarrollo de vehículos de pilas de combustible que funcionan con hidrógeno como combustible y en las investigaciones prácticas sobre estaciones de hidrógeno para suministrar hidrógeno a los vehículos de pilas de combustible. El acero inoxidable es uno de los materiales candidatos utilizados para estas aplicaciones; sin embargo, en un entorno de gas hidrógeno a alta presión, el acero inoxidable puede ser susceptible a la fragilización causada por el gas hidrógeno (fragilización en el entorno de hidrógeno). De acuerdo con las Normas de Depósitos de Hidrógeno Comprimido en Vehículos previstas en la Ley de Seguridad de Gas de Alta Presión, el uso de austenítico SUS316L está aprobado como un acero inoxidable que no es susceptible a la fragilización por hidrógeno.

15 Sin embargo, teniendo en cuenta la necesidad de reducir el peso del vehículo de pila de combustible y de una operación a alta presión de la estación de hidrógeno, para un acero inoxidable utilizado para un recipiente y una tubería, ha existido la necesidad de un acero inoxidable que tenga una resistencia mayor que la del SUS316L existente, especialmente que tenga una resistencia a la tracción de 800 MPa o más y que no sea susceptible a la fragilización en el entorno de hidrógeno en un entorno de gas hidrógeno. Es decir, suponiendo que se utiliza hidrógeno a alta presión de aproximadamente 70 MPa, se estima que el SUS316L requiere que la tubería y el recipiente tengan un espesor de pared de 20 mm o más, lo que conduce a un aumento significativo en el peso del vehículo vacío, por lo que una mayor resistencia del acero es indispensable.

20 Como un método típico para aumentar la resistencia del acero, se puede citar la laminación en frío. El documento de patente 1 proporciona una descripción sobre la laminación en frío y la fragilización en el entorno de hidrógeno del acero inoxidable austenítico.

25 Como medios para endurecer el acero inoxidable austenítico y mejorar la resistencia del acero inoxidable austenítico a la fragilización en hidrógeno sin depender del endurecimiento mediante laminación en frío, los documentos de patente 2 y 3 proponen aceros inoxidables de alta resistencia para gas hidrógeno a alta presión, en donde se emplea el endurecimiento por precipitación por medio de nitruros finos.

30 El documento de patente 2 propone un acero inoxidable austenítico de alta resistencia que contiene del 7 al 30% de Mn, del 15 al 22% de Cr y del 5 al 20% de Ni como componentes principales, y el documento de patente 3 propone un acero inoxidable austenítico de alta resistencia que contiene del 3 al 30% de Mn, más del 22% al 30% o menos de Cr, y del 17 al 20% de Ni como componentes principales. Estos documentos indican que se puede obtener una resistencia a la tracción de 800 MPa o más en un estado de tratamiento térmico por solución sólida.

35 El documento de patente 4 describe una aleación austenítica a prueba de corrosión propuesta para su uso en componentes que se espera experimenten también una alta carga mecánica; la aleación tendrá un límite elástico alto. La aleación debe tener una composición particular que se somete a un tratamiento térmico, a un subsiguiente trabajo en frío y a recocido por recristalización, de tal manera que el endurecimiento por solución sólida de nitrógeno, el endurecimiento por precipitación de nitruro y el fuerte afino del grano se combinen sinérgicamente para obtener valores de alto límite elástico más allá de los comparados con el mejoramiento del punto de límite elástico calculado mediante la sola adición de los tres efectos de endurecimiento por separado.

Documentos citados**Documentos de patente**

45 Documento de patente 1: WO 2004/111285

Documento de patente 2: WO 2004/083477

Documento de patente 3: WO 2004/083476

Documento de patente 4: US 4 559 090 A

Compendio de la invención

Problema técnico

5 En el documento de patente 1, la influencia de la laminación en frío sobre la fragilización en el entorno de hidrógeno también se ha estudiado para el SUS316L, en el que se verifica que la laminación en frío en la reducción del área del 30% o menos no tiene una gran influencia en la propiedad de fragilización en el entorno de hidrógeno, lo que indica la posibilidad de que se pueda alcanzar una resistencia a la tracción de aproximadamente 800 MPa por laminación en frío en la reducción del área del 20 al 30%. Sin embargo, el acero inoxidable austenítico de alta resistencia tiene el problema de una disminución en el alargamiento y en la resistencia a la fragilización en el entorno de hidrógeno por laminación en frío. La invención descrita en el documento de patente 1 describe, como medidas contra este problema, una técnica en la que la laminación en frío se realiza en dos o más etapas, y al realizar la laminación en frío en diferentes direcciones de laminación, se limitan la disminución de la resistencia a la fragilización en el entorno de hidrógeno y la disminución del alargamiento; sin embargo, la aplicación de esta invención requiere inevitablemente una laminación en frío considerablemente complicada.

15 Además, cuando se suelda un material laminado en frío, el efecto del calor de la soldadura puede ocasionar un ablandamiento local. Por lo tanto, es difícil unir los materiales mediante una unión soldada, y la unión de los materiales se limita a una junta mecánica. Para reducir el peso del vehículo de pila de combustible o para optimizar el sistema de tuberías para la estación de hidrógeno, existe una importante necesidad de un acero inoxidable que tenga una alta resistencia y no presente problemas, incluso si se soldara. En este caso, tales medios para lograr el endurecimiento por laminación en frío son difíciles de aplicar en algunos aspectos.

20 Los aceros inoxidables austeníticos descritos en los documentos de patente 2 y 3 obtienen una alta resistencia de 800 MPa o más en un estado posterior al tratamiento térmico por solución sólida. Sin embargo, en el documento de patente 2, cuando el contenido de Mn es inferior al 7%, no se puede obtener una resistencia a la fragilización suficiente para el entorno de hidrógeno, y no se puede obtener una resistencia suficiente en un estado de tratamiento térmico por solución sólida. Además, en el acero del documento de patente 3, tanto la concentración de Cr como la concentración de Ni son considerablemente altas, por lo que este acero tiene la desventaja de un costo de aleación considerablemente alto.

30 El acero inoxidable austenítico descrito en el documento de patente 2 se puede producir a un costo de aleación algo bajo en comparación con el acero descrito en el documento de patente 3. Por lo tanto, si el acero inoxidable se puede usar en aplicaciones de hidrógeno a alta presión, incluso si el acero inoxidable tiene un bajo contenido de Mn de menos del 7% en comparación con el documento de patente 2, se obtiene una ventaja en la producción industrial, ya que los aceros de este intervalo de contenido de Mn se han utilizado convencionalmente en aplicaciones tales como en el campo nuclear, y se puede emplear un lingote común.

35 La presente invención se ha realizado en vista de la situación actual y, por consiguiente, un objetivo de la misma es proporcionar un acero inoxidable austenítico que tenga una alta resistencia, de modo que la resistencia a la tracción sea de 800 MPa o más, y que posea una excelente resistencia a la fragilización en el entorno de hidrógeno en el intervalo de composición de menos del 7% de Mn, siendo un acero inoxidable austenítico que no se ha obtenido en el documento de patente 2.

Solución al problema

40 Los presentes inventores realizaron varios estudios para resolver el problema y obtuvieron los resultados descritos en los puntos (a) a (d) a continuación.

(a) Al utilizar nitrógeno como un elemento soluto, se puede mejorar la resistencia del acero inoxidable. Sin embargo, la adición de una gran cantidad de nitrógeno disminuye la energía de falla de apilamiento, y por lo tanto tiene una influencia adversa tal que se localiza la distorsión en el tiempo de deformación, y disminuye la durabilidad frente a la fragilización en el entorno de hidrógeno

45 (b) Al hacer que los granos sean finos, se puede mejorar la resistencia a la fragilización del acero con alto contenido de nitrógeno en el entorno de hidrógeno. Como un método para afinar los granos, existe un método en el cual, mediante la precipitación de carbonitruros finos de aleación en el momento del tratamiento térmico final por solución sólida, el crecimiento de los granos se ve limitado por el efecto de fijación. Para producir carbonitruros finos y para hacer finos los granos de acero con alto contenido de nitrógeno, es más efectivo agregar V o Nb. Sin embargo, en el método convencional, aunque V y Nb precipitan como nitruros, V y Nb se aglomeran y se vuelven gruesos debido a una pequeña cantidad de núcleo precipitado, de modo que no se puede lograr el efecto de fijación de manera suficiente.

55 (c) Como un método para resolver este problema, es eficaz un proceso de producción que implique un tratamiento térmico por solución sólida, la laminación en frío y un tratamiento térmico secundario. En el tratamiento térmico inicial por solución sólida, los elementos de aleación se disuelven suficientemente. En la siguiente etapa de laminación en frío, se da la distorsión, por lo que aumenta la cantidad de núcleo precipitado de carbonitruros que precipita en el momento del siguiente tratamiento térmico secundario, los carbonitruros se precipitan finamente y los granos se hacen finos.

(d) Es decir, en un sistema de aleación que tiene un contenido de Mn inferior al del documento de patente 2, al realizar un laminado en frío en una etapa intermedia de dos tratamientos térmicos, se estimula la precipitación de carbonitruros, y por el efecto del resultante afino de los granos de austenita y la acción de endurecimiento por precipitación debido a la precipitación misma de los carbonitruros, se puede lograr una alta resistencia, y también se puede mejorar la resistencia a la fragilización en el entorno de hidrógeno.

La presente invención se ha completado en base a los hallazgos, y sus componentes son los aceros inoxidables austeníticos para gas hidrógeno a alta presión descritos en los puntos (1) a (3) a continuación.

(1) Un acero inoxidable austenítico para gas hidrógeno a alta presión caracterizado por consistir, en porcentaje en masa, de C: 0,10% o menos, Si: 1,0% o menos, Mn: 3% o más a menos del 7%, Cr: 15 al 30%, Ni: 10% al 15%, Al: 0,001% al 0,10%, N: 0,10 al 0,50% y al menos un tipo de V: 0,01 al 1,0% y Nb: 0,01 al 0,50%, conteniendo opcionalmente uno o más elementos de al menos un grupo seleccionado de los grupos de elementos de un primer grupo a un cuarto grupo definidos a continuación, siendo el resto Fe e impurezas, en donde en las impurezas, el contenido de P es del 0,050% o menos y el contenido de S es del 0,050% o menos, la resistencia a la tracción es de 800 MPa o más, el número de tamaño de grano (ASTM E112) es N° 8 o más alto, y los carbonitruros de aleación con un diámetro máximo de 50 a 1000 nm están contenidos en el número de $0,4/\mu\text{m}^2$ o mayor en la observación en sección transversal, en donde los grupos de elementos se definen de la siguiente manera:

Elementos de primer grupo ... Mo: 0,3 al 3,0% y W: 0,3 al 6,0%

Elementos del segundo grupo ... Ti: 0,001 al 0,5%, Zr: 0,001 al 0,5%, Hf: 0,001 al 0,3%, y Ta: 0,001 al 0,6%

Elementos del tercer grupo ... B: 0,0001 al 0,020%, Cu: 0,3 al 5,0% y Co: 0,3 al 10,0%

Elementos del cuarto grupo ... Mg: 0,0001 al 0,0050%, Ca: 0,0001 al 0,0050%, La: 0,0001 al 0,20%, Ce: 0,0001 al 0,20%, Y: 0,0001 al 0,40%, Sm: 0,0001 al 0,40%, Pr: 0,0001 al 0,40%, y Nd: 0,0001 al 0,50%.

(2) El acero inoxidable austenítico para gas hidrógeno a alta presión descrito en el punto (1), donde el acero inoxidable austenítico se ha sometido a un tratamiento térmico por solución sólida a una temperatura de 1000 a 1200°C, después habiendo sido sometido a laminación en frío, en la que la reducción del área es del 20% o más, y posteriormente se ha sometido nuevamente a un tratamiento térmico en el intervalo de temperatura de 900°C o más y menor que la temperatura de tratamiento por solución.

(3) Un recipiente o tubería para gas hidrógeno a alta presión que comprende el acero inoxidable austenítico descrito en el punto (1) o (2).

(4) Un uso del acero inoxidable austenítico descrito en el punto (1) o (2) para un recipiente y/o una tubería para gas hidrógeno a alta presión.

(5) Un método para producir acero inoxidable austenítico para gas hidrógeno a alta presión que consiste, en porcentaje en masa, de C: 0,10% o menos, Si: 1,0% o menos, Mn: 3% o más a menos del 7%, Cr: 15 al 30%, Ni: 10% al 15%, Al: 0,001% al 0,10%, N: 0,10 al 0,50% y al menos un tipo de V: 0,01 al 1,0% y Nb: 0,01 al 0,50%, conteniendo opcionalmente uno o más elementos de al menos un grupo seleccionado de los grupos de elementos de un primer grupo a un cuarto grupo definidos a continuación, siendo el resto Fe e impurezas, en donde en las impurezas, el contenido de P es del 0,050% o menos y el contenido de S es del 0,050% o menos, la resistencia a la tracción es de 800 MPa o más, el número de tamaño de grano (ASTM E112) es N° 8 o más alto, y los carbonitruros de aleación con un diámetro máximo de 50 a 1000 nm están contenidos en el número de $0,4/\mu\text{m}^2$ o mayor en la observación en sección transversal, comprendiendo dicho método:

realizar un tratamiento térmico por solución sólida a una temperatura de 1000 a 1200°C,

luego enfriar rápidamente mediante enfriamiento por agua,

realizar la laminación en frío a una relación de laminación en frío tal que la reducción del área sea del 20% o más, seguido de

realizar un tratamiento térmico a una temperatura entre 900°C y la temperatura de tratamiento por solución,

en donde los grupos de elementos se definen como sigue:

Elementos del primer grupo ... Mo: 0,3 al 3,0% y W: 0,3 al 6,0%,

Elementos del segundo grupo ... Ti: 0,001 al 0,5%, Zr: 0,001 al 0,5%, Hf: 0,001 al 0,3%, y Ta: 0,001 al 0,6%,

Elementos del tercer grupo ... B: 0,0001 al 0,020%, Cu: 0,3 al 5,0%, y Co: 0,3 al 10,0%, y

Elementos del cuarto grupo ... Mg: 0,0001 al 0,0050%, Ca: 0,0001 al 0,0050%, La: 0,0001 al 0,20%, Ce: 0,0001 al 0,20%, Y: 0,0001 al 0,40%, Sm: 0,0001 al 0,40%, Pr: 0,0001 al 0,40%, y Nd: 0,0001 al 0,50%.

(6) El método para producir acero inoxidable austenítico para gas hidrógeno a alta presión según la reivindicación 5, en donde el tratamiento térmico se realiza a una temperatura cuyo límite superior está definido por la temperatura de tratamiento por solución reducida en 20°C.

5 (7) El método para producir acero inoxidable austenítico para gas hidrógeno a alta presión según una cualquiera de las reivindicaciones 5 y 6, en donde el tratamiento térmico se realiza a una temperatura cuyo límite superior es de 1150°C.

Efecto ventajoso de la invención

10 De acuerdo con la presente invención, se puede proporcionar un acero inoxidable austenítico de alta resistencia que tiene una resistencia a la tracción de 800 MPa o más y excelente resistencia a la fragilización en el entorno de hidrógeno en la región de la composición de menos del 7% de Mn.

Descripción de la realización

Las razones para restringir la composición química y la microestructura metálica de una placa de acero en la presente invención son las siguientes:

(A) Composición química del acero

15 Las ventajas operativas de cada componente del acero y el contenido preferible de cada componente se describen a continuación. El símbolo "%" relativo al contenido de cada elemento significa "porcentaje en masa".

C: 0,10% o menos

20 En la presente invención, el C (carbono) no es un elemento que se añade positivamente. Si el contenido de C es superior al 0,10%, los carburos se precipitan en los límites del grano y ejercen una influencia adversa sobre la tenacidad y similares. Por lo tanto, el contenido de C está restringido al 0,10% o menos. El contenido de C es preferiblemente del 0,04% o menos, más preferiblemente del 0,02% o menos. El contenido de C debe ser lo más bajo posible. Sin embargo, la reducción extrema en el contenido de C lleva a un aumento en el costo del afino, por lo que es conveniente hacer que el contenido de C sea del 0,001% o más en la aplicación práctica.

Si: 1,0% o menos

25 Cuando el Si (silicio) está contenido en grandes cantidades, el Si forma un compuesto intermetálico con Ni, Cr o similares, o promueve la formación de un compuesto intermetálico como la fase sigma, de modo que, en algunos casos, la capacidad de trabajo en caliente disminuye notablemente. Por lo tanto, el contenido de Si es del 1,0% o menos. Preferiblemente, el contenido de Si es del 0,5% o menos. El contenido de Si debe ser lo más bajo posible. Sin embargo, considerando el costo del afino, es conveniente que el contenido de Si sea del 0,01% o más.

30 Mn: 3% o más a menos del 7%

35 El Mn (manganeso) es un elemento estabilizador de austenita de bajo costo. En el acero de la presente invención, debido a una combinación adecuada con Cr, Ni, N y similares, el Mn contribuye a la mejora de la resistencia y a la mejora de la ductilidad y la tenacidad. La presente invención también tiene el objetivo de precipitar finamente los carbonitruros y hacer que los granos sean finos. En el caso de que la cantidad de N disuelto sea pequeña, incluso si el acero se somete a un proceso descrito más adelante que consiste en un tratamiento térmico por solución sólida, laminación en frío y un tratamiento térmico secundario, no se pueden precipitar carbonitruros que tengan una densidad numérica suficiente, y se vuelve difícil aumentar la resistencia debido a los granos de austenita más finos. Por lo tanto, el contenido de Mn debe ser del 3% o más. Si el contenido de Mn es del 7% o más, se puede aplicar la técnica descrita en el documento de patente 2. Por lo tanto, en la presente invención, el límite superior del contenido de Mn es inferior al 7%. Por estas razones, se especifica que el contenido de Mn debe ser del 3% o más a menos del 7%. El límite inferior preferible del contenido de Mn es del 4%. Además, el contenido de Mn es eficaz cuando es del 6,5% o menos, especialmente eficaz cuando es del 6,2% o menos.

Cr: 15 al 30%

45 El Cr (cromo) es un componente esencial porque es un elemento que garantiza la resistencia a la corrosión como un acero inoxidable. El contenido de Cr debe ser del 15% o más. Sin embargo, si el contenido de Cr es excesivamente alto, fácilmente se forman carburos gruesos como el $M_{23}C_6$, que disminuyen la ductilidad y la tenacidad. Por lo tanto, el contenido adecuado de Cr es del 15 al 30%. El contenido de Cr es preferiblemente del 18 al 24%, más preferiblemente del 20 al 23,5%.

Ni: 10% al 15%

50 Se agrega Ni (níquel) como un elemento estabilizador de austenita. En el acero de la presente invención, debido a una combinación adecuada con Cr, Mn, N y similares, el Ni contribuye a la mejora de la resistencia y de la ductilidad y la tenacidad. Por lo tanto, el contenido de Ni es del 10% o más. Sin embargo, si el contenido de Ni es mayor al 17%,

el efecto se satura y el costo del material aumenta. El contenido adecuado de Ni es del 10% al 15%. El contenido de Ni es preferiblemente del 11 al 15%, más preferiblemente del 11,5 al 13,5%.

Al: 0,001% al 0,10%

5 El Al (aluminio) es un elemento importante como desoxidante. Sin embargo, si el contenido de Al es superior al 0,10% y el Al permanece en grandes cantidades, se promueve la formación de un compuesto intermetálico tal como la fase sigma. Por lo tanto, para alcanzar tanto la resistencia como la tenacidad pretendidas por la presente invención, el contenido de Al debe limitarse al 0,10% o menos. Para lograr de manera confiable el efecto desoxidante, el contenido de Al es del 0,001% o más. El contenido de Al es preferiblemente del 0,05% o menos, más preferiblemente del 0,03% o menos. En esta descripción, Al significa "Al sol. (Al soluble en ácido)".

10 N: 0,10 al 0,50%

15 El N (nitrógeno) es el elemento de endurecimiento por solución sólida más importante y, al mismo tiempo, en la presente invención, hace que los granos sean finos debido a la formación de carbonitruros de aleación finos, que contribuyen a la mejora de la resistencia. Para utilizar N para la mejora de la resistencia, el contenido de N debe ser del 0,10% o más. Sin embargo, si el contenido de N es de más del 0,50%, se forman nitruros gruesos y, por lo tanto, las propiedades mecánicas, como la tenacidad, disminuyen. Por lo tanto, el contenido de N es del 0,10 al 0,50%. El límite inferior del contenido de N es preferiblemente del 0,20%, aún más preferiblemente del 0,30%.

V: 0,01 al 1,0% y/o Nb: 0,01 al 0,50%

20 El V (vanadio) y el Nb (niobio) son elementos importantes en el acero de la presente invención. Para promover la formación de carbonitruros de aleación y para aportar granos más finos, se debe contener uno o ambos de V y Nb. Para estos fines, se debe contener 0,01% o más de V y/o Nb. Por otro lado, incluso si el contenido es del 1,0% de V y/o más del 0,50% de Nb, el efecto se satura y el costo del material aumenta, de modo que los límites superiores del contenido de V y del contenido de Nb son 1,0 % y 0,50%, respectivamente. El contenido de V es preferiblemente del 0,10 al 0,30%, y el contenido de Nb es preferiblemente del 0,15 al 0,28%. El contenido de ambos V y Nb es más eficaz.

P: 0,050% o menos

25 El P (fósforo), que es una impureza, es un elemento que ejerce una influencia adversa sobre la tenacidad y propiedades similares del acero. El contenido de P es del 0,050% o menos, y es preferiblemente lo más bajo posible. El contenido de P es preferiblemente del 0,025% o menos, más preferiblemente del 0,018% o menos.

S: 0,050% o menos

30 El S (azufre), que es una impureza, es un elemento que, como el P, ejerce una influencia adversa sobre la tenacidad y propiedades similares del acero. El contenido de S es del 0,050% o menos, y es preferiblemente lo más bajo posible. El contenido de S es preferiblemente del 0,010% o menos, más preferiblemente del 0,005% o menos.

35 Según la presente invención el acero tiene la composición química descrita anteriormente, y en el acero, el resto consiste en Fe e impurezas. Las "impurezas" en "Fe e impurezas" son componentes que se mezclaron debido a diversos factores en el proceso de producción, incluidas las materias primas como el mineral o la chatarra, cuando se produce un acero a escala industrial, permitiéndose que los componentes existan en un intervalo tal que no tengan una influencia adversa sobre la presente invención.

El acero según la presente invención puede contener, según sea necesario, uno o más tipos de componentes seleccionados de al menos un grupo del primer grupo al cuarto grupo descrito más adelante. A continuación, se describen los componentes que pertenecen a estos grupos.

40 Los elementos que pertenecen al primer grupo son Mo y W. Estos elementos tienen la ventaja operativa común de estimular la formación y estabilización de los carbonitruros y contribuir al endurecimiento por solución sólida. Las razones para restringir el contenido de estos elementos son las que se describen a continuación.

Mo: 0,3 al 3,0%, W: 0,3 al 6,0%

45 El Mo (molibdeno) y el W (tungsteno) tienen el efecto de formar carbonitruros y por lo tanto hacen que los granos sean finos, y también contribuyen al endurecimiento por solución sólida. Cualquiera de estos elementos logra el efecto cuando el contenido de cada uno de estos elementos es del 0,3% o más, de modo que el contenido de estos elementos puede añadirse según sea necesario. Sin embargo, incluso si el contenido de estos elementos fuera excesivo, el efecto se satura. Por lo tanto, cuando estuvieran presentes, el contenido de estos elementos debe ser el siguiente: Mo: 0,3 al 3,0%, y W: 0,3 al 6,0%.

50 Los elementos que pertenecen al segundo grupo son Ti, Zr, Hf y Ta. Estos elementos tienen la ventaja operativa común de estimular la formación de carbonitruros.

Ti: 0,001 al 0,5%, Zr: 0,001 al 0,5%, Hf: 0,001 al 0,3%, Ta: 0,001 al 0,6%

5 El Ti (titanio), el Zr (circonio), el Hf (hafnio) y el Ta (tantalio), como el V y el Nb, tienen el efecto de formar carbonitruros de aleación y, por lo tanto, hacer que los granos sean finos, y su contenido puede ser según sea necesario. Este efecto se puede lograr con un contenido del 0,001% o más de cada uno de estos elementos. Sin embargo, incluso si el contenido de estos elementos es excesivo, el efecto se satura. Por lo tanto, los límites superiores del contenido de estos elementos son, respectivamente, los siguientes: Ti: 0,5%, Zr: 0,5%, Hf: 0,3% y Ta: 0,6%. El límite superior del contenido de Ti y Zr es preferiblemente del 0,1%, aún más preferiblemente 0,03%. El límite superior del contenido de Hf es preferiblemente del 0,08%, más preferiblemente del 0,02%. El límite superior del contenido de Ta es preferiblemente del 0,4%, más preferiblemente del 0,3%.

10 Los elementos que pertenecen al tercer grupo son B, Cu y Co. Estos elementos contribuyen a mejorar la resistencia. Las razones para restringir el contenido de estos elementos son las que se describen a continuación.

B: 0,0001 al 0,020%

15 El contenido de B (boro), que hace que los precipitados sean finos y disminuye el diámetro del grano de austenita, con lo que aumenta la resistencia, puede ser según sea necesario. Dicho efecto se logra cuando el contenido de B es del 0,0001% o más. Por otro lado, si el contenido de B es excesivo, se forma un compuesto de bajo punto de fusión y puede disminuir la capacidad de trabajo en caliente. Por lo tanto, el límite superior del contenido de B es del 0,020%.

Cu: 0,3 al 5,0%, Co: 0,3 al 10,0%

20 El Cu (cobre) y el Co (cobalto) son elementos estabilizadores de la austenita, y contribuyen a mejorar la resistencia debido al endurecimiento por solución sólida. Por lo tanto, el contenido de uno o ambos de estos elementos puede ser del 0,3% o más, según sea necesario. Sin embargo, debido al equilibrio entre el efecto y el costo del material, los límites superiores de los contenidos de Cu y Co son 5,0% y 10,0%, respectivamente.

Los elementos que pertenecen al cuarto grupo son Mg, Ca, La, Ce, Y, Sm, Pr y Nd. Estos elementos tienen una acción común para prevenir el agrietamiento por solidificación en el momento del moldeo.

25 Mg: 0,0001 al 0,0050%, Ca: 0,0001 al 0,0050%, La: 0,0001 al 0,20%, Ce: 0,0001 al 0,20%, Y: 0,0001 al 0,40%, Sm: 0,0001 al 0,40%, Pr: 0,0001 al 0,40% y Nd: 0,0001 al 0,50%

30 El Mg (magnesio) y el Ca (calcio), y el La (lantano), el Ce (cerio), el Y (itrio), el Sm (samario), el Pr (praseodimio) y el Nd (neodimio) entre los metales de transición actúan para prevenir el agrietamiento por solidificación en el momento del moldeo. Por lo tanto, el contenido de uno o más tipos de estos elementos pueden ser según sea necesario. El efecto se puede lograr con un contenido del 0,0001% o más de cada uno de estos elementos. Por otro lado, si el contenido de estos elementos es excesivo, la capacidad de trabajo en caliente disminuye. Por lo tanto, los límites superiores del contenido de estos elementos son los siguientes: Mg y Ca: 0,0050%, La y Ce: 0,20%, Y, Sm y Pr: 0,40% y Nd: 0,50%.

(B) Microestructura del acero.

35 El nitrógeno utilizado en la presente invención es eficaz para realizar el endurecimiento por solución sólida, pero tiene una acción tal que la distorsión en el momento de la deformación se localiza al disminuir la energía de falla de apilamiento, y disminuye la durabilidad frente a la fragilización en el entorno de hidrógeno. Sin embargo, al disminuir el diámetro del grano, se hace posible tanto mejorar la resistencia a 800 MPa o más como prevenir la fragilización en el entorno de hidrógeno. Con el fin de evitar la fragilización en el entorno de hidrógeno, el número de tamaño de grano (ASTM E112) es N° 8 o mayor, preferiblemente N° 9 o mayor, y aún más preferiblemente N° 10 o mayor.

40 Para hacer los granos finos, es eficaz la fijación que utiliza los carbonitruros de aleación. Para lograr este efecto, los carbonitruros de aleación que tienen un tamaño de 50 a 1000 nm deben estar contenidos en el número de $0,4/\mu\text{m}^2$ o mayor en la observación en sección transversal. Estos carbonitruros de aleación son aquellos que contienen Cr, V, Nb, Mo, W, Ta y similares como componentes principales, y tienen una estructura cristalina de fase Z, es decir, Cr (Nb, V) (C, N) o de tipo MX (M: Cr, V, Nb, Mo, W, Ta y similares, X: C, N). Los carbonitruros de aleación en la presente invención son carbonitruros que apenas contienen Fe. Incluso si hay contenido de Fe, la cantidad de Fe es del 1% atómico o menor. Además, los carbonitruros en la presente invención incluyen aquellos en los que el contenido de C (carbono) es extremadamente bajo, es decir, aquellos que consisten en nitruros.

(C) Método de producción.

50 Para obtener granos finos como se describe en (B) y para precipitar carbonitruros de aleación finos que tienen una densidad numérica deseada, no se puede usar el método ordinario. Sin embargo, el acero de la presente invención se puede producir realizando sucesivamente el tratamiento térmico por solución sólida, la laminación en frío y el tratamiento térmico secundario descritos a continuación.

El primer tratamiento térmico por solución sólida debe realizarse a una temperatura de 1000°C o más, preferiblemente de 1100°C o más, para disolver los elementos de aleación de manera suficiente. Sin embargo, si la temperatura del

tratamiento térmico por solución sólida es superior a 1200°C, los granos se vuelven extremadamente gruesos. Por lo tanto, el límite superior de la temperatura del tratamiento térmico por solución sólida es de 1200°C. A continuación, por conveniencia, la temperatura del tratamiento térmico en el tratamiento térmico por solución sólida se denomina "temperatura T1".

- 5 En el tratamiento térmico por solución sólida según la presente invención, solo debe realizarse el tratamiento por solución de un grado necesario para precipitar carbonitruros en el tratamiento térmico secundario posterior, y no es necesario que todos los elementos formadores de carbonitruros se disuelvan. El material de acero que se ha sometido al tratamiento térmico por solución sólida rápidamente se enfría preferiblemente a partir de la temperatura del tratamiento térmico por solución sólida. En este caso, es preferible el enfriamiento por agua (enfriamiento por ducha de agua o inmersión).

Además, con respecto al tratamiento térmico por solución sólida, no es necesario proporcionar una etapa independiente de tratamiento térmico por solución sólida. Al realizar un enfriamiento rápido después de un proceso de trabajo en caliente como la extrusión en caliente, se puede lograr el efecto equivalente. Por ejemplo, el enfriamiento rápido solo se debe realizar después de la extrusión en caliente a aproximadamente 1150°C.

- 15 A continuación, con el fin de aumentar la cantidad de núcleo de precipitado de carbonitruros, la laminación en frío se realiza en una proporción de laminación en frío tal que la reducción del área es del 20% o más. El límite superior de la relación de laminación en frío no está restringido especialmente. Sin embargo, considerando la relación de capacidad de trabajo en el momento en que un elemento ordinario es sometido a laminación en frío, es preferible una relación de laminación en frío del 90% o menos. Finalmente, para eliminar la distorsión causada por el laminado en frío y para hacer finos los granos mediante la precipitación de carbonitruros finos, se realiza un tratamiento térmico secundario a una temperatura inferior a la temperatura T1. A continuación, por conveniencia, la temperatura del tratamiento térmico en el tratamiento térmico secundario se denomina "temperatura T2".

- 25 La temperatura T2 es menor que la temperatura T1. Con el fin de hacer que los granos sean más finos, el límite superior de la temperatura T2 es preferiblemente [temperatura de tratamiento T1 - 20°C], y más preferiblemente [temperatura de tratamiento T1 - 50°C]. Específicamente, el límite superior de la temperatura T2 es preferiblemente de 1150°C, y más preferiblemente es de 1080°C. Por otro lado, el límite inferior de la temperatura T2 es de 900°C porque si la temperatura T2 es inferior a 900°C, se forman carburos de Cr gruesos y, por lo tanto, la microestructura no se mantiene uniforme.

Ejemplos

- 30 A continuación, se explican los efectos de la presente invención en base a ejemplos.

Cincuenta kilogramos de cada uno de los aceros inoxidables que tienen las composiciones químicas que figuran en la Tabla 1 se fundieron al vacío y se forjaron en caliente para formar un bloque con un espesor de 40 a 60 mm.

ES 2 735 299 T3

Tabla 1

Acero	Composición química (% en masa, siendo el resto Fe)												
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	V	Nb	Al sol.	N		Otros
A	0,020	0,40	4,55	0,010	0,001	12,25	22,50	0,20	0,20	0,020	0,32		El acero de la invención
B	0,010	0,42	5,50	0,015	0,001	13,45	20,58	0,28	0,15	0,015	0,35		
C	0,0008	0,43	4,60	0,009	<0,001	12,55	22,10	0,12	0,28	0,017	0,30		
D	0,005	0,48	4,12	0,015	0,001	12,19	18,31	0,08	0,05	0,016	0,20		
E	0,015	0,45	5,80	0,018	<0,001	11,22	18,53	-	0,21	0,018	0,25		
F	0,005	0,40	5,10	0,008	0,002	14,85	23,75	0,48	-	0,025	0,45		
G	0,050	0,35	6,85	0,020	<0,001	10,25	15,15	-	0,23	0,018	0,10		
H	0,055	0,36	4,51	0,009	0,001	10,85	17,85	0,05	0,22	0,022	0,12		
I	0,033	0,65	3,10	0,015	0,003	16,82	28,85	0,65	-	0,045	0,42		
J	0,025	0,45	4,75	0,008	0,001	12,20	22,10	0,21	0,10	0,018	0,31	Mo: 2,10	El acero de la invención
K	0,021	0,43	4,55	0,010	0,001	12,55	22,95	0,18	0,20	0,020	0,30	Ti:0,022	
L	0,009	0,43	5,10	0,012	<0,001	11,80	20,22	0,10	0,15	0,028	0,31	B:0,0030	
M	0,019	0,46	5,01	0,009	0,001	12,05	23,15	0,19	0,21	0,019	0,32	Cu:3,5	
N	0,021	0,48	4,85	0,008	0,001	13,20	21,84	0,28	0,09	0,021	0,30	Ca:0,0015	
O	0,015	0,36	4,95	0,014	<0,001	12,96	22,01	0,22	0,20	0,020	0,30	Nd:0,32	
P	0,019	0,44	5,05	0,015	0,001	11,85	22,55	0,18	0,19	0,022	0,31	Mo:1,95, Zr:0,025	
Q	0,035	0,49	5,52	0,008	0,002	13,20	23,01	0,12	0,20	0,028	0,30	W:4,01, B:0,0055	
R	0,022	0,44	4,88	0,009	0,001	12,05	22,20	0,20	0,15	0,017	0,33	Mo:2,05 Mg:0,0025	
S	0,021	0,43	4,55	0,010	0,001	12,55	22,95	0,18	0,10	0,020	0,30	Ta:0,20, Cu: 4,5	
T	0,015	0,45	4,89	0,009	0,002	12,09	21,06	0,19	0,20	0,025	0,30	Ti:0,015, Ca:0,0025	
U	0,011	0,44	4,86	0,010	0,001	12,08	20,85	0,15	0,19	0,020	0,38	B:0,0015, Mg:0,0041	
V	0,015	0,45	5,09	0,012	0,001	12,04	21,06	0,19	0,20	0,021	0,39	Cu:4,8 Ca:0,0035	
W	0,009	0,48	4,86	0,008	<0,001	12,07	20,96	0,26	0,09	0,019	0,36	Mo:2,15, Ti:0,010, B:0,0025	
X	0,010	0,47	4,99	0,011	0,001	12,51	21,48	0,21	0,15	0,015	0,32	Mo:1,95, Ti:0,015, Cu:3,7	
Y	0,016	0,47	5,21	0,011	0,001	12,25	21,59	0,24	0,18	0,018	0,30	Mo:2,15, Zr:0,045 Ca:0,0020	
Z	0,020	0,49	5,56	0,012	0,002	13,16	23,08	0,27	0,20	0,018	0,33	Ta:0,21, Cu:4,2, Mg:0,0035	
1	0,015	0,46	4,95	0,015	<0,001	12,95	22,98	0,23	0,14	0,016	0,30	Mo:2,85, Ti:0,010, Cu:3,5, La:0,10	
2	0,010	0,41	5,25	0,009	0,001	13,01	21,91	0,21	0,15	0,021	0,31	Mo:3,01, Ti:0,009, Cu:3,0, Y:0,11	
3	0,011	0,45	4,91	0,008	<0,001	13,25	22,05	0,20	0,13	0,020	0,30	Mo:2,95, Ti:0,012, Cu:3,4, Pr:0,11	
4	0,035	0,44	2,05*	0,008	0,001	12,51	21,95	0,23		0,019	0,06*		Acero compar
5	0,009	0,46	5,01	0,007	0,001	9,02*	22,10	0,25		0,018	0,31		
6	0,012	0,49	5,22	0,012	0,001	12,35	30,55**	0,23		0,019	0,30		
7	0,009	0,42	5,01	0,009	0,002	12,14	21,96	0,16		0,023	0,05*		

*Muestra acero fuera del alcance de la invención. **Muestra acero de referencia útil para entender la presente invención.

5 Posteriormente, el bloque se laminó en caliente a un espesor predeterminado y se sometió a un tratamiento térmico por solución sólida de una hora, una laminación en frío y un tratamiento térmico secundario de una hora, por lo que se formó un material de placa de 8 mm de espesor. En la Tabla 2, la temperatura del tratamiento térmico por solución sólida (temperatura T1) de cada número de ensayo se expresa mediante T1 (°C), y la temperatura del tratamiento térmico secundario (temperatura T2) se expresa mediante T2 (°C). La relación de laminación en frío de cada número de ensayo también se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2

Ensayo N°	Acero	T1 (°C)	Relación de laminación en frío	T2 (°C)	Tamaño de grano N°	Número de carbonitruros	TS (MPa)	Alargamiento relativo hasta la rotura (%)	
1	A	1100	25	900	10,2	35	826	96	La invención
2	A	1100	40	1000	10,6	42	814	98	
3	A	1100	50	950	11,0	49	822	103	
4	A	1150	50	1050	10,5	55	828	101	
5	A	1150	25	1050	9,1	33	819	92	
6	A	1100	40	1050	9,6	41	821	93	
7	A	1200	25	1150	8,2	28	815	82	
8	B	1100	25	1000	10,3	29	808	96	
9	C	1100	25	1000	10,5	27	805	98	
10	D	1100	25	1000	10,3	20	812	92	
11	E	1100	25	1000	10,4	23	809	93	
12	F	1100	25	1000	10,3	82	865	92	
13	G	1100	25	1000	10,1	12	805	85	
14	H	1100	25	1000	10,5	15	812	86	
15	I	1100	25	1000	10,3	65	854	89	***
16	J	1100	25	1000	10,2	31	812	100	La invención
17	K	1100	25	1000	10,3	25	811	101	
18	L	1100	25	1000	10,3	29	808	98	
19	M	1100	25	1000	10,2	27	809	99	
20	N	1100	25	1000	10,2	28	814	100	
21	O	1100	25	1000	10,3	28	830	99	
22	P	1100	25	1000	10,3	25	815	104	
23	Q	1100	25	1000	10,2	24	806	99	
24	R	1100	25	1000	10,4	27	803	99	
25	S	1100	25	1000	10,3	34	830	98	
26	T	1100	25	1000	10,2	31	809	96	
27	U	1100	25	1000	10,2	58	825	95	
28	V	1100	25	1000	10,2	65	842	95	
29	W	1100	25	1000	10,3	52	815	96	
30	X	1100	25	1000	10,4	25	805	105	
31	Y	1100	25	1000	10,4	24	808	101	
32	Z	1100	25	1000	10,3	31	831	98	
33	1	1100	25	1000	10,3	33	812	99	
34	2	1000	25	950	10,9	25	813	101	
35	3	1000	25	950	10,9	24	822	102	
36	A	1250**	40	1000	7,5*	38	802	65	Comparativo
37	A	950**	40	1000	7,2*	0,3*	666*	63	
38	A	1100	0**	1000	6,7*	0,2*	654*	53	
39	A	1100	15**	1000	7,2*	0,5*	704*	58	
40	A	1100	25	1100**	7,8*	31	805	75	
41	A	1100	40	850	7,5*	0,3*	688*	73	
42	4	1100	25	1000	7,3*	0,1*	581*	74	
43	5	1100	25	1000	10,5	22	813	55	
44	6	1100	25	1000	10,6	28	802	45	
45	7	1100	25	1000	7,7*	0,2*	560*	73	

*muestra el acero fuera del alcance de la invención

**muestra el método fuera del alcance de la invención

***muestra el ejemplo de referencia útil para comprender la presente invención.

5 Se tomó una muestra y se embebió con una resina de modo que se pueda observar la sección transversal perpendicular a la dirección de laminación del material de la placa, y después del ataque electrolítico, se midió el número de tamaño de grano (de conformidad con ASTM E112). Asimismo, de manera similar, al usar un material de embebido en resina en la dirección de la sección transversal, se midió el número de precipitados mediante observación bajo un microscopio electrónico utilizando el método de réplica de extracción. Se observó una región de 25 μm^2 a una magnificación de $\times 10000$ en diez campos visuales, y se midieron los precipitados que tenían un tamaño de 50 a 1000 nm. Los precipitados medidos en los ejemplos fueron carbonitruros de la fase Z de estructura rómbica que contienen Cr, V, Nb, C, N y similares, o de tipo MX de estructura tetragonal que contienen Cr, Nb, V, C, N y similares.

10 Se tomó una muestra de barra redonda para ensayo de tracción con un diámetro de 3 mm en su parte paralela en la dirección longitudinal del material de la placa, y se realizó un ensayo de tracción a una tasa de deformación de 3×10^{-6} /s en la atmósfera a temperatura normal o en gas hidrógeno a alta presión de 85 MPa a temperatura normal para medir la resistencia a la tracción (TS) y el alargamiento hasta la rotura. Dado que el hidrógeno tiene una influencia notable en la disminución de la ductilidad, la relación entre el alargamiento hasta la rotura en el hidrógeno y el alargamiento hasta la rotura en la atmósfera se convirtió en un alargamiento relativo hasta la ruptura, y se interpretó que si el alargamiento relativo hasta la ruptura es del 80% o más, preferiblemente 90% o más, la disminución en la ductilidad causada por el hidrógeno es leve, y la resistencia a la fragilización en el entorno de hidrógeno es excelente.

20 La velocidad de deformación de 3×10^{-6} /s en el ensayo de tracción descrito anteriormente es considerablemente menor que la velocidad de deformación de 10^{-4} /s en el ensayo de tracción en el entorno de gas hidrógeno a alta presión, que se ha utilizado en los documentos convencionales. La razón de esto es que en los estándares de evaluación recientes en la evaluación de la durabilidad frente a la fragilización en el entorno de hidrógeno, se recomienda el ensayo de evaluación a una tasa de deformación muy baja, en la cual la susceptibilidad a la fragilización en el entorno de hidrógeno del acero inoxidable austenítico es más alta.

25 La Tabla 2 resumió el número de tamaño de grano, el número de carbonitruros, la resistencia a la tracción (TS) y el alargamiento relativo hasta la rotura del acero que se somete a ensayo. Los ensayos Nos. 1 a 14 y 16 a 35 son realizaciones ejemplares de la presente invención, en las que el número de grano fue N° 8 o mayor, se precipitó un número suficiente de carbonitruros, la TS fue de 800 MPa o mayor, y el alargamiento relativo hasta la rotura fue también del 80% o más, logrando una resistencia suficiente a la fragilización en el entorno de hidrógeno. El ensayo N° 15 es un ejemplo de referencia útil para comprender la presente invención.

30 Los ensayos Nos. 36 a 41 son ejemplos comparativos. En el ensayo N° 36, la temperatura del tratamiento térmico por solución sólida T1 era demasiado alta, los granos se volvieron más gruesos y la resistencia a la fragilización en el entorno de hidrógeno fue baja. En el ensayo N° 37, la temperatura del tratamiento térmico por solución sólida T1 fue demasiado baja, la densidad numérica de carbonitruros fue baja, los granos se volvieron más gruesos y la resistencia a la fragilización en el entorno de hidrógeno fue baja. En los ensayos Nos. 38 y 39, la relación de laminación en frío fue baja, el número de precipitación de carbonitruros fue insuficiente, los granos se hicieron más gruesos y la resistencia a la fragilización en el entorno de hidrógeno fue baja. En el ensayo N° 40, la temperatura del tratamiento térmico secundario T2 fue demasiado alta, los granos se volvieron más gruesos y la resistencia a la fragilización en el entorno de hidrógeno fue baja. En el ensayo N° 41, la temperatura final del tratamiento térmico por solución sólida T2 fue demasiado baja, la densidad numérica de carbonitruros fue baja, los granos se volvieron más gruesos y la resistencia a la fragilización en el entorno de hidrógeno fue baja.

40 Los ensayos Nos. 42 a 45 son ejemplos comparativos, en los que la composición química del material de acero estaba fuera del alcance de la presente invención. En el ensayo N° 42, el contenido de Mn fue demasiado bajo y, como resultado, no se pudo tener suficiente contenido de N (nitrógeno), los granos se hicieron más gruesos, la resistencia fue baja y la resistencia a la fragilización en el entorno de hidrógeno fue baja. En el ensayo N° 43, el contenido de Ni fue bajo, se formaron 8 ferritas y la resistencia a la fragilización en el entorno de hidrógeno fue baja. En el ensayo N° 44, el contenido de Cr fue alto, se formaron carburos de Cr gruesos y la resistencia a la fragilización en el entorno de hidrógeno fue baja. En el ensayo N° 45, el contenido de N (nitrógeno) fue bajo, los granos se volvieron gruesos, la resistencia fue baja y la resistencia a la fragilización en el entorno de hidrógeno fue pobre.

Aplicabilidad industrial

50 Como se describió anteriormente, según la presente invención, incluso un acero inoxidable austenítico que contenga menos del 7% de Mn puede convertirse en un acero de alta resistencia con excelente propiedad de resistencia a la fragilización en el entorno de hidrógeno al interponer una etapa de laminación en frío entre dos tratamientos térmicos, y por lo tanto puede utilizarse para tuberías y recipientes para gas hidrógeno a alta presión.

REIVINDICACIONES

1. Un acero inoxidable austenítico para gas hidrógeno a alta presión caracterizado por consistir, en porcentaje en masa, de C: 0,10% o menos, Si: 1,0% o menos, Mn: 3% o más a menos del 7%, Cr: 15 al 30 %, Ni: 10% al 15%, Al: 0,001% al 0,10%, N: 0,10 al 0,50% y al menos un tipo de V: 0,01 al 1,0% y Nb: 0,01 al 0,50%, conteniendo
5 opcionalmente uno o más elementos de al menos un grupo seleccionado de los grupos de elementos de un primer grupo a un cuarto grupo definidos a continuación, siendo el resto Fe e impurezas,
- en donde en las impurezas, el contenido de P es del 0,050% o menos y el contenido de S es del 0,050% o menos, la resistencia a la tracción es de 800 MPa o más, el número de tamaño de grano (ASTM E112) es N° 8 o mayor, y los
10 carbonitruros de aleación con un diámetro de 50 a 1000 nm están contenidos en el número de 0,4/μm² o mayor en la observación en sección transversal,
- en donde los grupos de elementos se definen como sigue:
- Elementos del primer grupo ... Mo: 0,3 al 3,0% y W: 0,3 al 6,0%,
- Elementos del segundo grupo ... Ti: 0,001 al 0,5%, Zr: 0,001 al 0,5%, Hf: 0,001 al 0,3%, y Ta: 0,001 al 0,6%,
- Elementos del tercer grupo ... B: 0,0001 al 0,020%, Cu: 0,3 al 5,0%, y Co: 0,3 al 10,0%, y
- 15 Elementos del cuarto grupo ... Mg: 0,0001 al 0,0050%, Ca: 0,0001 al 0,0050%, La: 0,0001 al 0,20%, Ce: 0,0001 al 0,20%, Y: 0,0001 al 0,40%, Sm: 0,0001 al 0,40%, Pr: 0,0001 al 0,40%, y Nd: 0,0001 al 0,50%.
2. El acero inoxidable austenítico para gas hidrógeno a alta presión según la reivindicación 1, en donde el acero inoxidable austenítico se ha sometido a un tratamiento térmico por solución sólida a una temperatura de 1000 a 1200°C, después habiendo sido sometido a laminación en frío, en la que la reducción del área es del 20% o más, y
20 posteriormente se ha sometido nuevamente a un tratamiento térmico en el intervalo de temperatura de 900°C o mayor y menor que la temperatura de tratamiento de la solución.
3. Recipiente o tubería para gas hidrógeno a alta presión que comprende el acero inoxidable austenítico según una cualquiera de las reivindicaciones 1 y 2.
4. Uso del acero inoxidable austenítico según una cualquiera de las reivindicaciones 1 y 2 para un recipiente y/o
25 una tubería para gas hidrógeno a alta presión.
5. Un método para producir acero inoxidable austenítico para gas hidrógeno a alta presión que consiste, en porcentaje en masa, de C: 0,10% o menos, Si: 1,0% o menos, Mn: 3% o más a menos del 7%, Cr: 15 al 30%, Ni: 10% al 15%, Al: 0,001% al 0,10%, N: 0,10 al 0,50% y al menos un tipo de V: 0,01 al 1,0% y Nb: 0,01 al 0,50%, conteniendo
30 opcionalmente uno o más elementos de al menos un grupo seleccionado de los grupos de elementos de un primer grupo a un cuarto grupo definidos a continuación, siendo el resto Fe e impurezas,
- en donde en las impurezas, el contenido de P es del 0,050% o menos y el contenido de S es del 0,050% o menos, la resistencia a la tracción es de 800 MPa o mayor, el número de tamaño de grano (ASTM E112) es N° 8 o mayor, y los
carbonitruros de aleación con un diámetro de 50 a 1000 nm están contenidos en el número de 0,4/μm² o mayor en la observación en sección transversal, comprendiendo dicho método:
- 35 realizar un tratamiento térmico por solución sólida a una temperatura de 1000 a 1200°C,
- luego enfriar rápidamente usando enfriamiento por agua,
- realizar la laminación en frío a una relación de laminación en frío tal que la reducción del área sea del 20% o más, seguido de
- realizar un tratamiento térmico a una temperatura entre 900°C y la temperatura de tratamiento por solución,
- 40 en donde los grupos de elementos se definen como sigue:
- Elementos del primer grupo ... Mo: 0,3 al 3,0% y W: 0,3 al 6,0%,
- Elementos del segundo grupo ... Ti: 0,001 al 0,5%, Zr: 0,001 al 0,5%, Hf: 0,001 al 0,3%, y Ta: 0,001 al 0,6%,
- Elementos del tercer grupo ... B: 0,0001 al 0,020%, Cu: 0,3 al 5,0%, y Co: 0,3 al 10,0%, y
- 45 Elementos del cuarto grupo ... Mg: 0,0001 al 0,0050%, Ca: 0,0001 al 0,0050%, La: 0,0001 a 0,20%, Ce: 0,0001 al 0,20%, Y: 0,0001 al 0,40%, Sm: 0,0001 al 0,40%, Pr: 0,0001 al 0,40%, y Nd: 0,0001 al 0,50%.
6. El método para producir acero inoxidable austenítico para gas hidrógeno a alta presión según la reivindicación 5, en donde el tratamiento térmico se realiza a una temperatura cuyo límite superior está definido por la temperatura de tratamiento por solución reducida en 20°C.

7. El método para producir acero inoxidable austenítico para gas hidrógeno a alta presión según una cualquiera de las reivindicaciones 5 y 6, en donde el tratamiento térmico se realiza a una temperatura cuyo límite superior es de 1150°C.