

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 741 329**

51 Int. Cl.:

C22C 38/58	(2006.01)	C21D 7/13	(2006.01)
C22C 38/44	(2006.01)		
C22C 38/46	(2006.01)		
C22C 38/48	(2006.01)		
C22C 38/02	(2006.01)		
C22C 38/00	(2006.01)		
C21D 8/02	(2006.01)		
C21D 8/00	(2006.01)		
C21D 6/00	(2006.01)		
C21D 9/00	(2006.01)		

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **17.04.2015 PCT/JP2015/002121**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **22.10.2015 WO15159554**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.04.2015 E 15779606 (1)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.06.2019 EP 3133179**

54 Título: **ACERO INOXIDABLE AUSTENÍTICO Y MÉTODO PARA PRODUCIR EL MISMO**

30 Prioridad:

17.04.2014 JP 2014085627

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

10.02.2020

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**DAN, ETSUO;
TERUNUMA, MASAOKI;
OSUKI, TAKAHIRO;
OMURA, TOMOHIKO y
NAKAMURA, JUN**

74 Agente/Representante:

PONS ARIÑO, Ángel

ES 2 741 329 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 y método para producir el mismo

5 **Campo técnico**

La presente invención se refiere a un acero inoxidable y a un método para producir el mismo, más específicamente a un acero inoxidable austenítico y un método para producir el mismo.

10 **Técnica antecedente**

En los últimos años, se han desarrollado vehículos propulsados por pilas de combustible que funcionan con hidrógeno como combustible, y estaciones de hidrógeno donde los vehículos propulsados por pilas de combustible se suministran con hidrógeno. Un acero inoxidable es uno de los candidatos para un material utilizado para pilas de combustible.

15 Cuando se usa un acero inoxidable para pilas de combustible, el acero inoxidable se utiliza en un entorno de gas hidrógeno a alta presión. Por esta razón, un acero inoxidable utilizado para pilas de combustible debe tener una excelente resistencia a la fragilidad por hidrógeno. Actualmente, de acuerdo con las normas de los contenedores de hidrógeno comprimido para automóviles provistos por la Ley de Seguridad de Gas a Alta Presión, SUS316L está acreditado como un acero inoxidable con una excelente resistencia a la fragilidad por hidrógeno.

Sin embargo, en consideración a la reducción de peso de los vehículos propulsados por pilas de combustible, la reducción de tamaño de las estaciones de hidrógeno y operaciones a alta presión en una estación de hidrógeno, es preferible que un acero inoxidable utilizado para las aplicaciones anteriores tenga una alta resistencia.

25 Como se ha descrito anteriormente, un acero inoxidable utilizado para pilas de combustible debe tener una excelente resistencia a la fragilidad por hidrógeno y una alta resistencia. Mientras tanto, cuando se utiliza un acero inoxidable para pilas de combustible, el acero inoxidable se procesa en una forma deseada. Por ejemplo, el mecanizado, tal como el corte, puede realizarse en productos de acero inoxidable de alta resistencia. En este caso, es preferible que el acero inoxidable tenga además una excelente maquinabilidad.

30 Publicación de Solicitud Internacional N.º WO2004/083476 (Bibliografía de patentes 1), Publicación de Solicitud Internacional N.º WO2004/083477 (Bibliografía de patentes 2), Publicación de Solicitud Internacional N.º WO2004/111285 (Bibliografía de patentes 3), y Publicación de Solicitud Internacional N.º WO2012/132992 (Bibliografía de patentes 4) proponen aceros inoxidables que se utilizan en entornos de hidrógeno a alta presión y tienen altas resistencias.

40 El acero inoxidable para gas hidrógeno desvelado en la Bibliografía de Patentes 1 contiene: % en masa, C: 0,02 % o menos; Si: 1,0 % o menos; Mn: 3 a 30 %; Cr: más del 22 % al 30 %; Ni: del 17 al 30 %; V: del 0,001 al 1,0 %; N: del 0,10 al 0,50 %; y Al: 0,10 % o menos, siendo el resto Fe e impurezas. De las impurezas, P es 0,030 % o menos, S es 0,005 % o menos, y Ti, Zr y Hf son cada uno 0,01 % o menos. Los contenidos de Cr, Mn y N satisfacen la siguiente fórmula.

$$5Cr + 3,4Mn \leq 500N$$

45 El acero inoxidable para gas hidrógeno a alta presión desvelado en la Bibliografía de Patentes 2 contiene: % en masa, C: 0,04 % o menos; Si: 1,0 % o menos; Mn: del 7 al 30 %; Cr: del 15 al 22 %; Ni: del 5 al 20 %; V: del 0,001 al 1,0 %; N: del 0,20 al 0,50 %; y Al: 0,10 % o menos, siendo el resto Fe e impurezas. De las impurezas, P es 0,030 % o menos, S es 0,005 % o menos, y Ti, Zr y Hf son cada uno 0,01 % o menos, que satisfacen la siguiente fórmula.

$$2,5Cr + 3,4Mn \leq 300N$$

55 El acero inoxidable austenítico para gas hidrógeno desvelado en la Bibliografía de Patentes 3 tiene una composición química que incluye: % en masa, C: 0,10 % o menos; Si: 1,0 % o menos; Mn: del 0,01 al 30 %; P: 0,040 % o menos; S: 0,01 % o menos; Cr: del 15 al 30 %; Ni: del 5,0 al 30 %; sol. Al: 0,10 % o menos; y N: 0,001 a 0,30 %, siendo el resto Fe e impurezas. El acero inoxidable austenítico incluye una microestructura en la que una intensidad integrada I de rayos X (111) en una sección transversal a lo largo de una dirección perpendicular a una dirección de procesamiento es cinco veces o menos tanto como en una orientación aleatoria, y una intensidad integrada I de rayos X (220) en una sección transversal a lo largo de la dirección de procesamiento satisface $I(220)/I(111) \leq 10$.

60 El acero inoxidable austenítico para gas hidrógeno a alta presión desvelado en la Bibliografía de Patentes 4 contiene: % en masa, C: 0,10 % o menos; Si: 1,0 % o menos; Mn: 3 % o más y menos del 7 %; Cr: del 15 al 30 %; Ni: 10 % o más y menos del 17 %; Al: 0,10 % o menos; N: del 0,10 al 0,50 %; y al menos uno de V: del 0,01 al 1,0 % y Nb: del 0,01 al 0,50 %, siendo el resto Fe e impurezas. De las impurezas, P es 0,0050 % o menos, y S es 0,050 % o menos.

65 El acero inoxidable austenítico contiene una aleación de carbo-nitruro a $0,4 \mu\text{m}^2$ o más en la observación de la sección transversal, teniendo la aleación de carbo-nitruro una resistencia a la tracción de 800 MPa o mayor, un número de

tamaño de grano (ASTM E112) de 8 o mayor, y un diámetro máximo de 50 a 1000 nm.

El documento JPH07316653 desvela una placa gruesa de acero inoxidable con excelentes características a muy baja temperatura. Un lingote de acero o una plancha de acero, que consiste en $\leq 0,03$ % C, ≤ 2 % Si, 0,1-16 % Mn, 14-26 % Cr, 8-20 % Ni, 0,1-0,5 % N, y el resto esencialmente Fe con impurezas inevitables, se usa. Este lingote o plancha se trabaja mediante forjado en caliente o laminación en caliente. En este momento, el trabajado, desde el inicio del trabajado hasta el trabajado correspondiente al 5-15 % de la cantidad total de trabajado, se realiza a 850-1260 °C a ≤ 5 % de reducción progresiva por pasada, y además, el trabajado, desde la finalización del trabajado correspondiente al 40-90 % de la cantidad total de trabajado hasta la finalización del trabajado, se realiza a 750-1150 °C, seguido de tratamiento térmico con solución. Mediante este método, la placa gruesa de acero inoxidable de ≥ 100 mm de espesor, con excelentes características a temperatura muy baja, puede producirse. El material de partida puede contener Mo según sea necesario y, además, puede contener Nb y V.

El documento JPH07310144 desvela un acero inoxidable austenítico que se utiliza como miembro estructural de soporte y un material de refuerzo de descarga para un material superconductor, y consiste en un acero inoxidable austenítico que tiene una composición que contiene, en peso, $<0,03$ % C, <2 % Si, del 0,1 al 15 % Mn, del 14 al 24 % Cr, del 8 al 20 % de Ni y del 0,1 al 0,4 % de N o, que contiene además <4 % de Mo y una o dos clases del 0,01 al 0,2 % de Nb y del 0,01 al 0,5 % de V, y el resto Fe, y en el que el tamaño de grano se regula a ≤ 3 en el número de tamaño. En el caso, después de que un material superconductor se someta a un tratamiento térmico de 600 a 1000 °C que confiere superconductividad junto con el miembro estructural de soporte, se ejecuta el enfriamiento a una temperatura muy baja para mostrar la superconductividad, el elemento de soporte hecho del acero inoxidable austenítico para enfriarse simultáneamente a una temperatura muy baja está exento de deterioro en la resistencia criogénica y tenacidad.

25 Lista De Citas

Bibliografía de patentes

Bibliografía de patentes 1: Publicación de Solicitud Internacional N.º WO2004/083476

Bibliografía de patentes 2: Publicación de Solicitud Internacional N.º WO2004/083477

Bibliografía de patentes 3: Publicación de Solicitud Internacional N.º WO2004/111285

Bibliografía de patentes 4: Publicación de Solicitud Internacional N.º WO2012/132992

Los aceros inoxidables desvelados en las Bibliografías de Patentes 1 y 2 tienen resistencias de 700 MPa o mayores, incluso después de realizar el tratamiento con la solución sobre los mismos. Sin embargo, el acero inoxidable de la Bibliografía de Patentes 1 se produce a un alto coste porque tiene un alto contenido de Ni. El acero inoxidable de la Bibliografía de Patentes 2 puede no proporcionar una excelente trabajabilidad porque tiene un alto contenido de Mn. En cuanto a los aceros inoxidables de la Bibliografía de Patentes 3 y 4, se realizan tratamiento con solución y trabajado en frío para lograr altas resistencias. Sin embargo, el trabajado en frío puede llevar a una disminución de la resistencia a la fragilidad por hidrógeno. Además, en cuanto al acero inoxidable desvelado en las Bibliografías de Patentes 1 a 4 descritas anteriormente, no hay estudios realizados sobre maquinabilidad. Por lo tanto, incluso con los aceros inoxidables descritos en la Bibliografía de Patentes 1 a 4 mencionadas anteriormente, no se proporciona una excelente resistencia a la fragilidad por hidrógeno, una alta resistencia ni una excelente maquinabilidad en algunos casos.

45 Sumario de la invención

Un objetivo de la presente invención es proporcionar un acero inoxidable austenítico que tiene una excelente resistencia a la fragilidad por hidrógeno y una alta resistencia, y que además tiene una excelente maquinabilidad.

El acero inoxidable austenítico de la presente realización tiene una composición química que comprende: % en masa, C: 0,10 % o menos; Si: 1,0 % o menos; Mn: del 2,1 al 6,0 %; P: 0,045 % o menos; S: 0,1 % o menos; Ni: del 8,0 al 16,0 %; Cr: del 18,0 al 30,0 %; Mo: del 1,0 al 5,0 %; N: del 0,05 al 0,45 %; Nb: del 0 al 0,50 %; y V: del 0 al 0,50 %, siendo el resto Fe e impurezas, y que satisface la Fórmula (1). El acero inoxidable austenítico de la presente realización tiene un número de tamaño de grano especificado en J15 G0551 (2005) de 3,0 a menos de 8,0 y una resistencia a la tracción a 25 °C de 690 MPa o mayor.

$$15 \leq 12,6C + 1,05Mn + Ni + 15N \quad (1)$$

Los símbolos de los elementos en la Fórmula (1) deben ser sustituidos por el contenido de los elementos correspondientes (% en masa).

Un método para producir el acero inoxidable austenítico mencionado anteriormente incluye una etapa para preparar un material de partida que tiene la composición química mencionada anteriormente y una etapa para realizar un trabajado en caliente sobre el material de partida una o varias veces. En la etapa de realización del trabajado en caliente, la temperatura de calentamiento del último calentamiento es de 1000 °C a 1250 °C, y una reducción de área en el trabajado en caliente después del último calentamiento es del 20 % o mayor y del 70 % o menor; y se omiten el

tratamiento térmico con solución y el trabajado en frío después de la etapa de trabajado en caliente.

El acero inoxidable austenítico de acuerdo con la presente realización tiene una excelente resistencia a la fragilidad por hidrógeno y una alta resistencia y además tiene una excelente maquinabilidad.

5

Breve descripción de los dibujos

La FIG. 1 es un diagrama que ilustra la relación entre el número de tamaño de grano de un acero y una proporción de la cantidad relativa de desgaste que es un índice de maquinabilidad.

10 La FIG. 2 es un diagrama que ilustra la relación entre la fórmula definida con $F1 = 12,6C + 1,05Mn + Ni + 15N$, y un alargamiento a rotura relativo, que es un índice de resistencia a la fragilidad por hidrógeno.

La FIG. 3 es un diagrama que ilustra la relación entre una reducción de área y una resistencia a la tracción en el acero inoxidable austenítico de la presente realización.

15 Descripción de las realizaciones

Los presentes inventores realizaron investigaciones y estudios sobre la maquinabilidad, resistencia a la fragilidad por hidrógeno, y resistencia de un acero inoxidable austenítico, y obtuvieron los siguientes hallazgos.

20 (A) La maquinabilidad está relacionada con la resistencia al corte y la eliminación de virutas (lo que indica la facilidad con que se pueden separar las virutas de una herramienta de corte) durante el corte. Si la resistencia al corte es baja y la capacidad de eliminación de virutas es alta, se suprime el desgaste en una herramienta de corte. Esto es, se aumenta la maquinabilidad de un acero.

25 Una resistencia al corte depende de la resistencia a la tracción de un material de trabajo en condiciones de corte específicas. La eliminación de virutas se puede determinar en función de la longitud de una viruta en el momento en que la viruta se desprende durante el corte. Cuanto más quebradiza sea una viruta, mayor será la eliminación de virutas. La fragilidad de una viruta depende del alargamiento y de la resistencia a la tracción de un material de trabajo. Por lo tanto, la supresión de la resistencia a la tracción y el alargamiento de un acero inoxidable austenítico, que es un material de trabajo, disminuye la resistencia al corte y aumenta la eliminación de virutas. Como resultado, su maquinabilidad se incrementa.

30 Si los diámetros de los granos de cristal en un acero son grandes, es posible suprimir la resistencia a la tracción y el alargamiento del acero. La FIG. 1 es un diagrama que ilustra la relación entre el número de tamaño de grano de un acero y una proporción de la cantidad relativa de desgaste que es un índice de maquinabilidad. La FIG. 1 es una representación gráfica de los resultados del ejemplo, que se describirá más adelante. Una proporción de la cantidad relativa de desgaste es una relación de la cantidad de desgaste de una herramienta de corte en el caso de que un acero que tiene una composición química equivalente a la de SUS316 en la norma JIS se someta a un tratamiento de descascarillado (una cantidad de referencia de desgaste) con respecto a la cantidad de desgaste de la herramienta de corte en el caso de que un acero inoxidable austenítico se someta a un tratamiento de descascarillado, en las mismas condiciones. Una proporción de la cantidad relativa de desgaste más alta significa menos desgaste en una herramienta de corte en comparación con la cantidad de desgaste de referencia, concretamente, una mayor maquinabilidad de un acero.

35 En referencia a la FIG. 1, si un número de tamaño de grano es mayor que 8,0, una maquinabilidad no varía significativamente. Por otro lado, si un número de tamaño de grano es 8,0 o menos, la proporción de la cantidad relativa de desgaste aumenta significativamente a medida que el número de tamaño de grano se hace pequeño. Por lo tanto, en el caso de un acero inoxidable austenítico que tiene la composición química de acuerdo con la presente realización, se puede obtener una excelente maquinabilidad haciendo que el tamaño de grano sea 8,0 o menos.

40 (B) Mientras tanto, el engrosamiento de los granos de cristal puede conllevar el riesgo de disminuir la resistencia a la fragilidad por hidrógeno. Por tanto, la presente realización pretende aumentar la estabilización de una austenita para aumentar la resistencia a la fragilidad por hidrógeno incluso si los granos de cristal son gruesos. El coeficiente de difusión del hidrógeno en una austenita es bajo. La estabilización de una austenita hace que el hidrógeno sea difícil de difundir en el acero. Además, se suprime la generación de una martensita que tiene una alta susceptibilidad a la fragilidad por hidrógeno. Como resultado, la resistencia a la fragilidad por hidrógeno aumenta. Carbono (C), nitrógeno (N), manganeso (Mn) y níquel (Ni) son elementos que estabilizan una austenita. Por tanto, al hacer que estos elementos estén contenidos en las cantidades apropiadas, la resistencia a la fragilidad por hidrógeno aumenta.

45 Sea $F1 = 12,6C + 1,05Mn + Ni + 15N$. La FIG. 2 es un diagrama que ilustra la relación entre $F1$ y la resistencia a la fragilidad por hidrógeno. La FIG. 2 es una representación gráfica de los resultados del ejemplo, que se describirá más adelante. El término "alargamiento a rotura relativo" (%) en la FIG. 2 es una relación de un alargamiento a rotura en un entorno de hidrógeno a alta presión con respecto a un alargamiento a rotura en la atmósfera. Un mayor alargamiento a rotura relativo significa una resistencia a la fragilidad por hidrógeno más excelente.

50 En referencia a la FIG. 2, si $F1$ es menor que 15, el alargamiento a rotura relativo aumenta rápidamente con un aumento en $F1$. Entonces, si $F1$ llega a ser 15 o mayor, el alargamiento a rotura relativo no aumenta significativamente ni siquiera con un aumento en $F1$ pero es sustancialmente constante. Esto es, en la gráfica de la FIG. 2, hay un punto de inflexión en torno a $F1 = 15$. Por lo tanto, cuando $F1$ es 15 o mayor, se puede obtener una excelente resistencia a la fragilidad por hidrógeno.

65

(C) El engrosamiento de los granos de cristal aumenta la maquinabilidad, pero conlleva el riesgo de disminuir la resistencia. Por tanto, en la presente realización, está contenido el 1,0 % o más de Mo. Esto proporciona una alta resistencia a la tracción incluso si el número de tamaño de grano es inferior a 8,0.

- 5 El acero inoxidable austenítico de la presente realización completado en base a los hallazgos descritos anteriormente tiene una composición química que contiene, % en masa, C: 0,10 % o menos, Si: 1,0 % o menos, Mn: del 2,1 al 6,0 %, P: 0,045 % o menos, S: 0,1 % o menos, Ni: del 8,0 al 16,0 %, Cr: del 18,0 al 30,0 %, Mo: del 1,0 al 5,0 %, N: del 0,05 al 0,45 %, Nb: del 0 al 0,50 %, y V: del 0 al 0,50 %, siendo el resto Fe e impurezas, y satisface la Fórmula (1). El acero inoxidable austenítico de la presente realización tiene un número de tamaño de grano de 3,0 a menos de 8,0 y una resistencia a la tracción a 25 °C de 690 MPa o mayor.

$$15 \leq 12,6C + 1,05Mn + Ni + 15N \quad (1)$$

- 15 Los símbolos de los elementos en la Fórmula (1) deben ser sustituidos por el contenido de los elementos correspondientes (% en masa).

El acero inoxidable austenítico descrito anteriormente puede contener uno o más elementos seleccionados del grupo que consiste en Nb: del 0,01 al 0,50 % y V: del 0,01 al 0,50 %.

- 20 El número de tamaño de grano del acero inoxidable austenítico descrito anteriormente es preferiblemente de 4,0 o mayor.

En este caso, el acero inoxidable austenítico descrito anteriormente tiene una resistencia a la tracción aún más excelente.

- 25 La proporción de grano mixto de la microestructura del grano de cristal del acero inoxidable austenítico descrito anteriormente es preferiblemente del 20 % o menos. En este caso, es posible suprimir las variaciones en la resistencia del acero inoxidable austenítico descrito anteriormente.

- 30 Un material de partida que tiene la composición química descrita anteriormente se somete a trabajado en caliente una o más veces y, después del último calentamiento, se somete a trabajado en caliente a una reducción de área del 20 % o mayor y del 70 % o menor, de acuerdo con la reivindicación 5, con lo que se produce el acero inoxidable austenítico descrito anteriormente.

- 35 En este caso, puede fabricarse un acero inoxidable austenítico que tiene la composición química descrita anteriormente para que tenga un tamaño de grano de 3,0 a menos de 8,0.

En lo sucesivo en el presente documento, los aceros inoxidables austeníticos de la presente invención se describirán en detalle.

- 40 [Composición química]

El acero inoxidable austenítico de la presente realización tiene una composición química que incluye los siguientes elementos.

- 45 C: 0,10 % o menos

El carbono (C) estabiliza una austenita que tiene una estructura fcc, donde apenas se produce fragilidad por hidrógeno. Sin embargo, un contenido excesivamente alto de C da como resultado la precipitación de carburo en los límites de grano, disminuyendo la tenacidad de un acero. Por lo tanto, el contenido de C debería ser del 0,10 % o menos. El límite superior del contenido de C es preferiblemente menor que 0,10 %, más preferiblemente 0,08 %, aún más preferiblemente 0,06 %.

- 55 Si: 1,0 % o menos

El Si se une a Ni y Cr para formar compuestos intermetálicos. Además, el Si facilita el crecimiento de compuestos intermetálicos, tal como una fase sigma. Estos compuestos intermetálicos disminuyen la trabajabilidad en caliente del acero. Por lo tanto, el contenido de Si debería ser del 1,0 % o menos. El límite superior del contenido de Si es preferiblemente del 0,8 %. El contenido de Si es preferiblemente lo más bajo posible.

- 60 Mn: del 2,1 al 6,0 %

El manganeso (Mn) estabiliza una austenita y suprime la generación de una martensita, que tiene una alta susceptibilidad a la fragilidad por hidrógeno. Además, el Mn se une a S para formar MnS, incrementando la maquinabilidad de un acero. Un contenido excesivamente bajo de Mn da como resultado un fallo a la hora de proporcionar los efectos descritos anteriormente. Por otro lado, un contenido excesivamente alto de Mn da como

- 65

resultado una disminución de la ductilidad y la trabajabilidad en caliente de un acero. Por lo tanto, el contenido de Mn debería ser del 2,1 al 6,0 %. El límite inferior del contenido de Mn es preferiblemente mayor que 2,1 %, más preferiblemente 2,5 %, aún más preferiblemente 3,0 %. El límite superior del contenido de Mn es preferiblemente menor que 6,0 %.

5 P: 0,045 % o menos

El fósforo (P) es una impureza. El P disminuye la trabajabilidad en caliente y la tenacidad de un acero. Por lo tanto, el contenido de P debería ser del 0,045 % o menos. El límite superior del contenido de P es preferiblemente menor que 0,045 %, más preferiblemente 0,035 %, aún más preferiblemente 0,020 %. El contenido de P es preferiblemente lo más bajo posible.

10

S: 0,1 % o menos

El azufre (S) se une a Mn para formar MnS, incrementando la maquinabilidad de un acero. Sin embargo, un contenido excesivamente alto de S da como resultado una disminución en la tenacidad de un acero. Por lo tanto, el contenido de S debería ser del 0,1 % o menos. El límite superior del contenido de S es preferiblemente menor que 0,1 %, más preferiblemente 0,09 %, aún más preferiblemente 0,07 %. El contenido de S es preferiblemente lo más bajo posible.

15

20 Ni: del 8,0 al 16,0 %

El níquel (Ni) estabiliza una austenita. Además, el Ni aumenta la ductilidad y tenacidad de un acero. Un contenido excesivamente bajo de Ni da como resultado un fallo a la hora de proporcionar los efectos descritos anteriormente. Por otro lado, un contenido excesivamente alto de Ni da como resultado la saturación de los efectos descritos anteriormente, aumento de los costes de fabricación. Por lo tanto, el contenido de Ni debería ser del 8,0 al 16,0 %. El límite inferior del contenido de Ni es preferiblemente mayor que 8,0 %, más preferiblemente 9,0 %, aún más preferiblemente 10,5 %. El límite superior del contenido de Ni es preferiblemente menor que 16,0 %, más preferiblemente 15,0 %.

25

30 Cr: del 18,0 al 30,0 %

El cromo (Cr) aumenta la resistencia a la corrosión de un acero. Un contenido excesivamente bajo de Cr da como resultado un fallo a la hora de proporcionar este efecto. Por otro lado, un contenido excesivamente alto de Cr da como resultado la generación de carburo $M_{23}C_6$, disminuyendo la ductilidad y la tenacidad de un acero. Por lo tanto, el contenido de Cr debería ser del 18,0 al 30,0 %. El límite inferior del contenido de Cr es 18,0 %. El límite superior del contenido de Cr es preferiblemente menor que 30,0 %, más preferiblemente 25,0 %.

35

Mo: del 1,0 al 5,0 %

El molibdeno (Mo) somete una austenita a un fortalecimiento de solución sólida. Además, el Mo aumenta la resistencia a la corrosión de un acero. Un contenido excesivamente bajo de Mo da como resultado un fallo a la hora de proporcionar el efecto descrito anteriormente. Por otro lado, un contenido excesivamente alto de Mo puede dar como resultado la precipitación de compuestos intermetálicos, disminuyendo la ductilidad y la tenacidad de un acero. Por lo tanto, el contenido de Mo debería ser del 1,0 al 5,0 %. El límite inferior del contenido de Mo es preferiblemente mayor que 1,0 %, más preferiblemente 1,2 %. El límite superior del contenido de Mo es preferiblemente menor que 5,0 %, más preferiblemente 4,0 %, aún más preferiblemente 3,5 %.

40

45

N: del 0,05 al 0,45 %

El nitrógeno (N) estabiliza una austenita. Además, el N aumenta la resistencia de un acero a través del fortalecimiento de la solución sólida. Un contenido excesivamente bajo de N da como resultado un fallo a la hora de proporcionar los efectos descritos anteriormente. Por otro lado, un contenido excesivamente alto de N provoca la generación de nitruros gruesos, disminuyendo las propiedades mecánicas de un acero tal como la tenacidad. Por lo tanto, el contenido de N debería ser del 0,05 al 0,45 %. El límite inferior del contenido de N es preferiblemente mayor que 0,05 %, más preferiblemente 0,10 %, aún más preferiblemente 0,15 %, aún más preferiblemente 0,21 %. El límite superior del contenido de N es preferiblemente menor que 0,45 %, más preferiblemente 0,40 %.

50

55

El resto de la composición química del acero inoxidable austenítico de acuerdo con la presente realización es Fe e impurezas. El término "impurezas" en el presente documento significa elementos que se mezclan a partir de minerales y desperdicios utilizados como materia prima de un acero, o a partir del entorno de una etapa de producción.

60

El acero inoxidable austenítico de la presente realización puede contener, además, en lugar de una parte de Fe, uno o más elementos seleccionados del grupo que consiste en Nb y V.

65 Nb: del 0 al 0,50 %

Nb es un elemento opcional y no puede estar contenido. Si está contenido, el Nb provoca la generación de carburos de aleación, incrementando la resistencia de un acero. Sin embargo, un contenido excesivamente alto de Nb da como resultado la saturación del efecto, aumento de los costes de fabricación. Por lo tanto, el contenido de Nb debería ser del 0 al 0,50 %. El límite inferior del contenido de Nb es preferiblemente de 0,01 %, más preferiblemente 0,05 %. El límite superior del contenido de Nb es preferiblemente menor que 0,50 %, más preferiblemente 0,40 %, aún más preferiblemente 0,30 %.

V: del 0 al 0,50 %

El V es un elemento opcional y no puede estar contenido. Si está contenido, el V provoca la generación de carburos de aleación, incrementando la resistencia de un acero. Sin embargo, un contenido excesivamente alto de V da como resultado la saturación del efecto, aumento de los costes de fabricación. Por lo tanto, el contenido de V debería ser del 0 al 0,50 %. El límite inferior del contenido de V es preferiblemente de 0,01 %, más preferiblemente 0,05 %. El límite superior del contenido de V es preferiblemente menor que 0,50 %, más preferiblemente 0,35 %, aún más preferiblemente 0,30 %.

[Fórmula (1)]

La composición química descrita anteriormente satisface además la Fórmula (1).

$$15 \leq 12,6C + 1,05Mn + Ni + 15N \quad (1)$$

Los símbolos de los elementos en la Fórmula (1) deben ser sustituidos por el contenido de los elementos correspondientes (% en masa).

Como se ha mencionado anteriormente, C, Mn, Ni, y N estabilizan una austenita. El coeficiente de difusión del hidrógeno en una austenita es bajo. Por esta razón, los hidrógenos son difíciles de difundir en una austenita.

Sea $F1 = 12,6C + 1,05Mn + Ni + 15N$. Como se ilustra en la FIG. 2, cuando F1 es menor que 15, una austenita es difícil de estabilizar y, por lo tanto, la resistencia a la fragilidad por hidrógeno es baja. Por otro lado, cuando F1 es 15 o mayor, la resistencia a la fragilidad por hidrógeno se vuelve significativamente alta. Por lo tanto, F1 es 15 o mayor. F1 es preferiblemente 16 o mayor, más preferiblemente 17 o mayor.

[Tamaño de grano]

Además, el número de tamaño de grano especificado en JIS G0551 (2005) del acero inoxidable austenítico de la presente realización es menor que 8,0. Por esta razón, el acero inoxidable austenítico de la presente realización tiene una baja resistencia al corte. Cuando la resistencia al corte es baja, es posible suprimir el desgaste de una herramienta de corte, incrementando la productividad. Además, cuando el número de tamaño de grano es menor que 8, es fácil separar las virutas de un material de trabajo y una herramienta de corte durante el corte, lo que aumenta la eliminación de virutas. Como puede verse de lo anterior, cuando el número de tamaño de grano es menor que 8,0, la maquinabilidad del acero se incrementa. Por otro lado, cuando el número de tamaño de grano es excesivamente bajo, la resistencia a la tracción de un acero puede disminuir. Por esta razón, el número de tamaño de grano es 3,0 o mayor, más preferiblemente 4,0 o mayor.

El número de tamaño de grano se determina mediante el siguiente método. Se toma una muestra de ensayo para microscopía de un acero inoxidable austenítico. Sobre la muestra de ensayo tomada, se realiza el método de ensayo microscópico sobre el tamaño de grano especificado en JIS G0551 (2005) para evaluar el número de tamaño de grano. Específicamente, el ataque químico se realiza sobre una superficie de la muestra de ensayo utilizando un reactivo de ataque químico bien conocido (por ejemplo, glicerogalio, reactivo de Kalling, o reactivo de Marble) para hacer que aparezca un límite de grano de cristal en la superficie. En diez campos visuales sobre la superficie atacada químicamente, se determina un número de tamaño de grano para cada campo visual. El área de cada campo visual es de aproximadamente 40 mm². Al realizar una comparación con la tabla de consulta del número de tamaño de grano especificada en la sección 7.1.2 de JIS G0551 (2005), se evalúa el número de tamaño de grano en cada campo visual. El promedio de los números de tamaño de grano de los campos visuales respectivos se define como un número de tamaño de grano del acero inoxidable austenítico de la presente realización.

[Resistencia a la tracción]

La resistencia a la tracción del acero inoxidable austenítico de la presente realización es de 690 MPa o mayor. Es posible hacer que la resistencia a la tracción sea de 690 MPa o mayor al hacer que el acero inoxidable austenítico contenga Mo al contenido mencionado anteriormente y ajustar aún más las condiciones de trabajo en la operación final del trabajado en caliente, que se describirá más adelante. Es preferible que la resistencia a la tracción sea de 720 MPa o mayor. Para aumentar la maquinabilidad de un acero, es preferible que la resistencia a la tracción sea de 880 MPa o menor.

[Proporción de grano mixto]

Si la microestructura del grano de cristal es de tamaño de grano mixto, existe el riesgo de causar variaciones en la resistencia o la maquinabilidad. Por lo tanto, el límite superior de una proporción de grano mixto es preferiblemente del 25 %, más preferiblemente 20 %. Cuanto menor sea la proporción de grano mixto, más preferible será. El tamaño de grano mixto se refiere a un estado en el que, en la microscopía mencionada anteriormente, hay granos distribuidos de manera desigual que tienen un número de tamaño de grano que es mayor o menor, en tres o más, que el número de tamaño de grano de los granos con una frecuencia máxima en un campo visual y los granos distribuidos de manera desigual ocupan el 20 % o más del área del campo visual, o un estado en el que, entre los campos visuales, hay un campo visual que tiene un número de tamaño de grano mayor o menor, en tres o más, que el del otro campo visual.

La proporción de grano mixto se puede medir, por ejemplo, por el siguiente método. Se toma una muestra de ensayo para microscopía de un acero inoxidable austenítico, y se realiza el método de ensayo microscópico mencionado anteriormente. La proporción de grano mixto se puede determinar sustituyendo, en la Fórmula (2), el número de todos los campos visuales observados en el método de ensayo microscópico, que se denota por N, y el número de campos visuales que se determina son de tamaño de grano mixto, que se denota por n.

$$\text{Proporción de grano mixto (\%)} = (n/N) \times 100 \quad (2)$$

Realizando la etapa de producción que se describirá más adelante, es posible hacer que un número de tamaño de grano sea inferior a 8,0 y hacer que la resistencia a la tracción sea de 690 MPa o mayor.

[Método de producción]

El método para producir el acero inoxidable austenítico de la presente realización incluye una etapa de preparación del material de partida y una etapa de someter el material de partida a trabajado en caliente. El método de producción se describirá a continuación.

[Etapa de preparación del material de partida]

Se produce acero fundido que tiene la composición química mencionada anteriormente. Según sea necesario, se realiza una desgasificación bien conocida en el acero fundido producido. A partir del acero fundido desgasificado, se produce material de partida. Un método para producir el material de partida es, por ejemplo, un proceso de colada continua. Por el proceso de colada continua, se produce material de colada continua (material de partida). El material de colada continua es, por ejemplo, una plancha, velo, palanquilla, y similares. El acero fundido puede someterse a un proceso de fabricación de lingotes para convertirse en un lingote.

[Etapa de trabajado en caliente]

El material de partida (material de colada continua o un lingote) se somete a un trabajado en caliente mediante un método bien conocido para convertirlo en un producto de acero inoxidable austenítico. El producto de acero inoxidable austenítico es, por ejemplo, un tubo de acero, una placa de acero, una barra de acero, una varilla de alambre, un acero forjado, o similares. El producto de acero inoxidable austenítico puede fabricarse, por ejemplo, mediante trabajado por extrusión en caliente de acuerdo con el proceso Ugine-Sejournet.

El producto de acero inoxidable austenítico puede producirse mediante una sola operación de trabajado en caliente, o mediante una pluralidad de operaciones de trabajado en caliente. Cuando el trabajado en caliente se realiza mediante la pluralidad de operaciones, el recalentamiento se realiza antes de cada operación de trabajado en caliente después de la segunda operación, para realizar el trabajado en todo el acero de manera uniforme. Esto hace que la proporción de grano mixto de la microestructura de grano de cristal del acero sea baja.

En la operación final de trabajado en caliente (el trabajado en caliente si el trabajado en caliente se realiza solo una vez, de lo contrario la operación final del trabajado en caliente), las condiciones de calentamiento y la reducción de área por el trabajado en caliente son las siguientes.

Temperatura de calentamiento: de 1000 a 1250 °C

Una temperatura de calentamiento excesivamente baja puede dar lugar a una grieta atribuible a elementos de impureza tales como P. Por otro lado, una temperatura de calentamiento excesivamente alta puede dar lugar a una grieta en el interior de un producto de acero debido a la existencia de fusión del límite del grano. Por lo tanto, una temperatura de calentamiento oscila entre 1000 y 1250 °C.

Reducción de área: 20 % o mayor y 70 % o menor

Cuando el área de la sección transversal del material de partida antes de la operación final del trabajado en caliente se denota por A0 (mm²), y el área de la sección transversal del material de partida después de la operación final del

ES 2 741 329 T3

trabajado en caliente se denota por A1 (mm²), una reducción de área RA (%) se define con la Fórmula (3).

$$RA = (A0 - A1) / A0 \times 100 \quad (3)$$

- 5 Cuando la reducción de área descrita anteriormente es excesivamente alta, se hace que los granos de cristal sean finos mediante el trabajado en caliente, y el número de tamaño de grano resulta ser de 8,0 o mayor. Por lo tanto, la reducción de área debería ser del 70 % o menos.

10 Mientras tanto, como se ilustra en la FIG. 3, en un producto de acero que satisface la composición química descrita anteriormente y la Fórmula (1), la reducción de área RA en la operación final del trabajado en caliente tiene una relación proporcional con una resistencia a la tracción TS. Por esta razón, una reducción excesivamente baja del área RA puede llevar a una resistencia a la tracción baja, aunque el producto de acero sea un producto de acero inoxidable austenítico que satisface la composición química descrita anteriormente y la Fórmula (1). Por lo tanto, con el fin de aumentar la resistencia, la reducción de área se establece según corresponda.

15 La reducción de área RA debería ser del 20 % o mayor para un producto de acero inoxidable austenítico que satisface la composición química descrita anteriormente y la Fórmula (1). En este caso, la resistencia a la tracción TS del producto de acero inoxidable austenítico después de la operación final del trabajado en caliente es de 690 MPa o mayor. Más preferiblemente, la reducción de área RA debería ser del 30 % o mayor. En este caso, puede hacerse que la proporción de grano mixto del acero inoxidable austenítico sea aún más baja. Esto permite la supresión de variaciones en resistencia y maquinabilidad. Todavía más preferiblemente, la reducción de área RA debería ser mayor del 35 %. En este caso, la resistencia a la tracción del acero inoxidable austenítico se puede aumentar aún más.

20 En la etapa de producción de la presente realización, se omiten el tratamiento con solución y el trabajado en frío después del trabajado en caliente. Esto es, el acero inoxidable austenítico de la presente realización es un material sometido al trabajado en caliente.

25 El acero inoxidable austenítico producido por las etapas de producción anteriores es excelente en cuanto a la resistencia a la fragilidad por hidrógeno y maquinabilidad, y tiene una alta resistencia.

30

Ejemplo

[Método de ensayo]

- 35 Los aceros fundidos que tienen las composiciones químicas de los números de ensayo A1 a A20 y B1 a B9 mostrados en la Tabla 1 se produjeron con un horno de vacío.

[Tabla 1]

Número de ensayo	Composición química (% en masa, el resto es Fe e impurezas)											F1
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	N	Nb	V	
A1	0,030	0,70	4,59	0,013	0,0002	11,70	22,05	2,00	0,32	0,18	0,22	21,7
A2	0,030	0,36	4,44	0,015	0,0002	11,80	21,70	1,20	0,31	0,21	0,21	21,5
A3	0,033	0,39	4,51	0,016	0,0003	12,21	22,07	2,22	0,33	0,20	0,21	22,3
A4	0,031	0,44	4,00	0,017	0,0005	10,17	21,57	1,98	0,21	0,18	0,23	17,9
A5	0,030	0,43	4,49	0,014	0,0003	12,04	21,80	1,99	0,32	0,20	0,22	21,9
A6	0,010	0,34	5,70	0,016	0,0002	12,35	24,34	2,23	0,32	0,21	0,20	23,3
A7	0,027	0,33	4,23	0,012	0,0006	11,98	22,06	2,12	0,31	0,20	0,20	21,4
A8	0,055	0,36	3,10	0,015	0,0002	14,50	23,40	1,75	0,18	-	0,30	21,1
A9	0,029	0,38	4,46	0,016	0,0003	12,11	22,41	1,98	0,32	0,20	0,19	22,0
A10	0,035	0,39	4,44	0,017	0,0650	11,98	22,16	2,07	0,31	0,20	0,20	21,7
A11	0,055	0,41	4,55	0,016	0,0050	12,13	20,11	2,10	0,33	0,19	0,20	22,6
A12	0,032	0,41	4,50	0,017	0,0030	12,24	22,08	2,07	0,32	0,32	-	22,2
A13	0,029	0,39	4,68	0,015	0,0002	12,10	22,04	2,07	0,32	0,21	0,24	22,2
A14	0,034	0,42	4,40	0,004	0,0025	12,08	18,10	3,40	0,31	0,09	0,23	21,8
A15	0,042	0,39	4,35	0,014	0,0008	13,00	21,91	2,55	0,32	0,19	0,18	22,9
A16	0,060	0,40	5,91	0,014	0,0004	10,55	21,83	2,10	0,38	0,45	0,07	23,2
A17	0,028	0,35	4,11	0,016	0,0006	10,30	21,34	2,04	0,26	-	-	18,9
A18	0,040	0,30	2,10	0,028	0,0008	13,50	21,40	1,30	0,10	-	-	17,7
A19	0,035	0,35	4,69	0,011	0,0002	13,52	21,99	2,23	0,31	0,18	0,19	23,5
A20	0,031	0,48	4,33	0,013	0,0005	12,79	20,28	2,21	0,38	0,41	0,32	23,4

ES 2 741 329 T3

(continuación)

Número de ensayo	Composición química (% en masa, el resto es Fe e impurezas)											F1
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	N	Nb	V	
B1	0,033	0,35	5,50	0,016	0,0011	12,36	22,06	2,05	0,38	0,30	0,22	24,3
B2	0,031	0,36	5,65	0,015	0,0009	12,45	21,80	2,49	0,32	0,28	0,21	23,6
B3	0,034	0,35	5,70	0,015	0,0010	11,75	21,90	2,04	0,31	0,28	0,03	22,8
B4	0,050	0,48	0,86	0,020	0,0008	10,23	16,07	2,07	0,04	-	-	12,4
B5	0,041	0,31	3,15	0,015	0,0002	8,15	17,50	1,15	0,12	0,11	-	13,8
B6	0,030	0,30	1,95	0,028	0,0008	9,50	18,63	0,61	0,09	-	-	13,3
B7	0,023	0,42	3,32	0,017	0,0006	5,02	17,61	1,81	0,25	0,19	0,21	12,5
B8	0,025	0,41	3,35	0,017	0,0004	5,12	17,80	2,05	0,29	-	-	13,3
B9	0,027	0,33	4,23	0,012	0,0006	11,98	22,06	2,12	0,31	0,20	0,20	21,4

F1 en la Tabla 1 es el valor de F1 según la definición mencionada anteriormente. A partir del acero fundido de cada número de ensayo, se produjo un lingote de 50 kg. El lingote se sometió a forjado en caliente para producir un bloque con un espesor de 70 mm.

5

El bloque producido se sometió a la operación final de trabajado en caliente (laminación en caliente) para producir una placa de acero inoxidable austenítico. La temperatura de calentamiento (°C) y la reducción de área RA (%) en la operación final del trabajado en caliente se configuraron como se muestra en la Tabla 2. Solo en el número de ensayo B9, se realizó tratamiento térmico con solución. En el tratamiento térmico en solución, la temperatura fue de 1060 °C y el periodo de calentamiento fue de 30 minutos.

10

[Tabla 2]

Número de ensayo	Temperatura de calentamiento (°C)	Reducción de área (%)	Tratamiento térmico en solución	Número de tamaño de grano	TS (MPa)	Alargamiento a rotura relativo (%)	Proporción de la cantidad relativa de desgaste	Proporción de grano mixto (%)
A1	1200	66	No	7,5	825,3	90	0,44	0
A2	1250	63	No	7,3	787,9	89	0,48	5
A3	1250	58	No	6,8	809,3	94	0,47	0
A4	1200	51	No	6,4	779,3	91	0,48	5
A5	1200	61	No	6,8	774,3	93	0,49	5
A6	1200	45	No	5,4	764,2	97	0,49	5
A7	1200	45	No	5,7	761,7	92	0,50	5
A8	1200	38	No	5,1	730,1	86	0,52	10
A9	1200	56	No	6,8	761,3	90	0,50	5
A10	1250	47	No	5,7	736,5	88	0,55	10
A11	1250	40	No	5,2	772,4	86	0,51	5
A12	1250	42	No	5,0	756,1	87	0,52	5
A13	1200	54	No	6,5	779,3	91	0,49	0
A14	1250	55	No	6,1	815,6	92	0,52	0
A15	1200	57	No	7,3	824,0	90	0,43	0
A16	1250	68	No	7,8	875,4	91	0,42	0
A17	1200	44	No	5,0	751,1	86	0,49	10
A18	1250	30	No	5,0	706,0	85	0,53	10
A19	1250	35	No	2,7	692,6	90	0,58	5
A20	1200	20	No	3,1	713,2	81	0,53	25
B1	1200	88	No	10,1	891,2	90	0,35	0
B2	1200	83	No	9,5	872,5	91	0,33	0
B3	1200	75	No	9,1	851,2	92	0,36	0
B4	1200	32	No	4,7	556,7	46	0,78	15
B5	1250	45	No	5,2	655,1	53	0,62	15
B6	1200	38	No	4,8	586,1	58	0,70	15
B7	1250	55	No	6,6	791,3	39	0,49	10
B8	1200	60	No	6,5	772,1	43	0,49	10
B9	1250	34	Sí	2,2	687,3	90	0,60	0

[Ensayo de medición del tamaño de grano]

La placa de acero de cada número de ensayo se cortó en una dirección perpendicular a una dirección de laminado. A partir de la sección resultante, una parte cuya superficie es el centro de la sección en las direcciones de anchura y espesor (en lo sucesivo en el presente documento, denominada superficie observada) se tomó como una muestra. La superficie observada de cada muestra se sometió a electropulido bien conocido. Para la superficie observada después del electropulido, se determinó un número de tamaño de grano basado en el método mencionado anteriormente.

[Ensayo de medición de la proporción de grano mixto]

La placa de acero de cada número de ensayo se sometió a la microscopía mencionada anteriormente, y su proporción de grano mixto se determinó por el método mencionado anteriormente. Para cada número de ensayo, la observación se realizó sobre diez campos visuales.

[Ensayo de tracción]

Para cada número de ensayo, se tomó una muestra de ensayo de tracción de barra redonda de la porción central de la placa de acero. La muestra de ensayo de tracción de barra redonda incluye el eje central de la placa de acero, y la porción paralela de la muestra de ensayo de barra redonda era paralela a la dirección de laminado de la placa de acero. El diámetro de la porción paralela era de 5 mm. Sobre la muestra de ensayo de la barra redonda, se realizó un ensayo de tracción a una temperatura normal (25 °C) en la atmósfera, y se determinó una resistencia a la tracción TS (MPa) de la placa de acero para cada número de ensayo.

[Ensayo de evaluación de resistencia a la fragilidad por hidrógeno]

Para cada número de ensayo, se tomaron dos muestras de ensayo de tracción de barra redonda (muestras de ensayo primera y segunda) de la porción central de la placa de acero. Cada una de las muestras de ensayo de tracción de barra redonda incluye el eje central de la placa de acero, y la porción paralela de la muestra de ensayo de barra redonda era paralela a la dirección de laminado de la placa de acero. El diámetro de la porción paralela era de 3 mm.

En la primera muestra de ensayo, se realizó un ensayo de tracción a una temperatura normal (25 °C) en la atmósfera (denominado ensayo de tracción atmosférico) para medir el alargamiento a rotura BE_0 . Además, en la segunda muestra de ensayo, se realizó un ensayo de tracción a una temperatura normal (25 °C) en una atmósfera de hidrógeno a alta presión a 45 MPa (denominado ensayo de tracción con hidrógeno) para medir el alargamiento a rotura BE_H . Tanto en el ensayo de tracción atmosférico como en el ensayo de tracción con hidrógeno, se estableció una tasa de deformación a 3×10^{-6} /S. El efecto de la fragilidad por hidrógeno se manifiesta en forma de alargamiento a rotura. Por tanto, el alargamiento a rotura relativo (%) se definió con la Fórmula (4).

$$\text{Alargamiento a rotura relativo} = BE_H / BE_0 \times 100 \quad (4)$$

Cuando una muestra de ensayo tenía un alargamiento a rotura relativo del 80 % o mayor, se determinó que la muestra de ensayo tenía una excelente resistencia a la fragilidad por hidrógeno.

[Ensayo de evaluación de maquinabilidad]

Para cada número de ensayo, se tomó una muestra de ensayo de barra de la porción central de la placa de acero. Cada una de las muestras de ensayo de barra incluye el eje central de la placa de acero, y la porción paralela de la muestra de ensayo de barra era paralela a la dirección de laminado de la placa de acero. El muestra de ensayo de barra tenía una sección transversal redonda, y el diámetro de la misma era de 8 mm.

En la muestra de ensayo de barra, se realizó un tratamiento de descascarillado. La muestra de ensayo de barra que tenía un diámetro de 8 mm se sometió al tratamiento de descascarillado durante cinco minutos. En el tratamiento de descascarillado, se utilizó una herramienta de carburo cementado equivalente a P20 especificada en la norma JIS, no estando sujeta la herramienta de carburo cementado a tratamiento de revestimiento. La velocidad de corte fue de 100 m/min, y la alimentación fue de 0,2 mm/rev, y la profundidad de corte fue de 1,0 mm. No se usó lubricante en el descascarillado. El tratamiento de descascarillado se realizó con las condiciones anteriores y se midió la cantidad de desgaste del flanco W1 (mm) de la herramienta de carburo cementado después del ensayo.

Además, se preparó una muestra de ensayo de barra que tiene una composición química equivalente a SUS316 especificada en la Norma JIS (denominada muestra de ensayo de referencia). La muestra de ensayo de referencia tenía la misma forma que la muestra de ensayo de barra de cada número de ensayo. En la muestra de ensayo de referencia, el tratamiento de descascarillado se realizó en las mismas condiciones que las anteriores y se midió el desgaste del flanco W0 (mm) de la herramienta de carburo cementado después del ensayo. Basándose en los resultados de la medición, se determinó una proporción de la cantidad relativa de desgaste, que se define con la siguiente fórmula (5).

$$\text{Proporción de la cantidad relativa de desgaste} = W0 / W1 \quad (5)$$

Cuando un muestra de ensayo tenía una proporción de la cantidad relativa de desgaste de 0,40 o mayor, se determinó que la muestra de ensayo tenía una excelente maquinabilidad.

5 [Resultados del ensayo]

10 Con referencia a la Tabla 2, las composiciones químicas de los aceros de los ensayos de la invención números A1 a A18, A20 eran apropiadas, satisfaciendo la Fórmula (1). Además, los aceros de los números de ensayo A1 a A18, A20 se produjeron en condiciones apropiadas y tenían números de tamaño de grano de 3,0 a menos de 8,0. Por esta razón, los alargamientos a rotura relativos de los aceros de estos números de ensayo fueron del 80 % o mayores, exhibiendo excelentes resistencias a la fragilidad por hidrógeno. Además, la relación de la cantidad relativa de desgaste de los aceros de estos números de ensayo fue de 0,40 o mayor, exhibiendo excelentes maquinabilidades. Además, las resistencias a la tracción de los aceros de estos números de ensayo fueron 690 MPa o mayores, exhibiendo altas fuerzas.

15 En cuanto a los números de ensayo A1 a A19, las reducciones de área en la operación final de trabajado en caliente fueron del 30 % o mayores. Por esta razón, los números de ensayo A1 a A19 tenían una baja proporción de grano mixto del tamaño de grano en comparación con el número de ensayo A20 con una reducción de área del 20 %.

20 En cuanto a los números de ensayo A1 a A17, las reducciones de área en la operación final de trabajado en caliente fueron mayores del 35 %. Por esta razón, los números de ensayo A1 a A17 tenían una alta resistencia a la tracción, de 720 MPa o mayor, en comparación con A18 a A20, que tienen reducciones de área del 35 % o menor.

25 En cuanto a los números de ensayo A1 a A18 y el número de ensayo A20, los números de tamaño de grano fueron 3,0 o mayor. Por esta razón, los números de ensayo A1 a A18 y el número de ensayo A20 tenían una alta resistencia a la tracción TS en comparación con el número de ensayo A19, que tiene un número de tamaño de grano inferior a 3,0.

30 En cambio, los números de ensayo B1 a B3 tenían composiciones químicas apropiadas pero una reducción de área demasiado alta en la en la operación final del trabajado en caliente. Como resultado, los números de tamaño de grano de los mismos fueron mayores de 8,0. Por esta razón, los números de ensayo B1 a B3 tuvieron relaciones de cantidad relativa de desgaste de menos de 0,40, lo que significa una baja en maquinabilidad.

35 La composición química del número de ensayo B4 incluía contenidos excesivamente bajos de Mn N y Cr y no satisfacía la Fórmula (1). Por esta razón, el número de ensayo B4 tuvo un alargamiento a rotura relativo de menos del 80 %, que es una baja resistencia a la fragilidad por hidrógeno.

40 El número de ensayo B5 incluía un contenido excesivamente bajo de Cr y no satisfacía la Fórmula (1). Por esta razón, el número de ensayo B5 tenía un alargamiento a rotura relativo de menos del 80 %, que es una baja resistencia a la fragilidad por hidrógeno.

45 La composición química del número de ensayo B6 incluía contenidos excesivamente bajos de Mn y Mo y no satisfacía la Fórmula (1). Por esta razón, el número de ensayo B6 tenía un alargamiento a rotura relativo de menos del 80 %, que es una baja resistencia a la fragilidad por hidrógeno.

Las composiciones químicas de los números de ensayo B7 y B8 incluían un contenido excesivamente bajo de Ni y Cr y no satisfacían la Fórmula (1). Por esta razón, los números de ensayo B7 y B8 tenían los alargamientos a rotura relativos de menos del 80 %, que es una baja resistencia a la fragilidad por hidrógeno.

50 El número de ensayo B9 tenía un contenido apropiado para cada elemento, satisfaciendo la Fórmula (1), pero se sometió al tratamiento térmico en solución después del trabajado en caliente. Por esta razón, la resistencia a la tracción del número de ensayo B9 fue inferior a 690 MPa.

55 Como puede verse de lo anterior, se ha descrito la realización de acuerdo con la presente invención. Sin embargo, la realización mencionada anteriormente es simplemente un ejemplo para practicar la presente invención. Por lo tanto, la presente invención no se limita a la realización anteriormente mencionada.

REIVINDICACIONES

1. Un acero inoxidable austenítico que comprende una composición química que comprende, % en masa:

- 5 C: 0,10 % o menos;
Si: 1,0 % o menos;
Mn: del 2,1 al 6,0 %;
P: 0,045 % o menos;
S: 0,1 % o menos;
10 Ni: del 8,0 al 16,0 %;
Cr: del 18,0 al 30,0 %;
Mo: del 1,0 al 5,0 %;
N: del 0,05 al 0,45 %;
Nb: del 0 al 0,50 %; y
15 V: del 0 al 0,50 %, siendo el resto Fe e impurezas, y satisface la Fórmula (1), teniendo el acero inoxidable austenítico un número de tamaño de grano especificado en JIS G0551 (2005) de 3,0 a menos de 8,0 y una resistencia a la tracción a 25 °C de 690 MPa o mayor:

$$20 \quad 15 \leq 12,6C + 1,05 \text{ Mn} + \text{Ni} + 15N \quad (1)$$

donde los símbolos de los elementos en la Fórmula (1) deben ser sustituidos por el contenido de los elementos correspondientes (% en masa).

- 25 2. El acero inoxidable austenítico de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende uno o más elementos seleccionados del grupo que consiste en
Nb: del 0,01 al 0,50 % y
V: del 0,01 al 0,50 %.

- 30 3. El acero inoxidable austenítico de acuerdo con la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en donde el número de tamaño de grano es 4,0 o mayor.

- 35 4. El acero inoxidable austenítico de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en donde una proporción de grano mixto de una microestructura de grano de cristal es 20 % o menos; en donde un estado en el cual, en una observación microscópica, hay granos distribuidos de manera desigual que tienen un número de tamaño de grano que es mayor o menor, en tres o más, el número de granos de grano que se observan con una frecuencia máxima en un campo visual y los granos distribuidos de manera desigual ocupan el 20 % o más del área del campo visual, o un estado en el que hay una diferencia de tres o más en el número de tamaño de grano entre los campos visuales observados en la observación microscópica se conoce como un estado de tamaño de grano mixto; y
40 la proporción de grano mixto se mide por la Fórmula (2):

$$45 \quad \text{Proporción de grano mixto (\%)} = (n/N) \times 100 \quad (2)$$

donde N denota el número de campos visuales observados en la observación microscópica, y n denota el número de campos visuales que se determina que están en un estado de tamaño de grano mixto.

- 50 5. Un método para producir el acero inoxidable austenítico de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, que comprende:

- una etapa de preparación de un material de partida que tiene la composición química; y
una etapa para realizar un trabajado en caliente en el material de partida una o varias veces, en donde;
55 en la etapa de realización del trabajado en caliente, la temperatura de calentamiento del último calentamiento es de 1000 a 1250 °C, y la reducción de área de trabajado en caliente después del último calentamiento es del 20 % o mayor y del 70 % o menor; y
se omiten el tratamiento térmico en solución y el trabajado en frío después de la etapa de trabajado en caliente.

FIG. 1

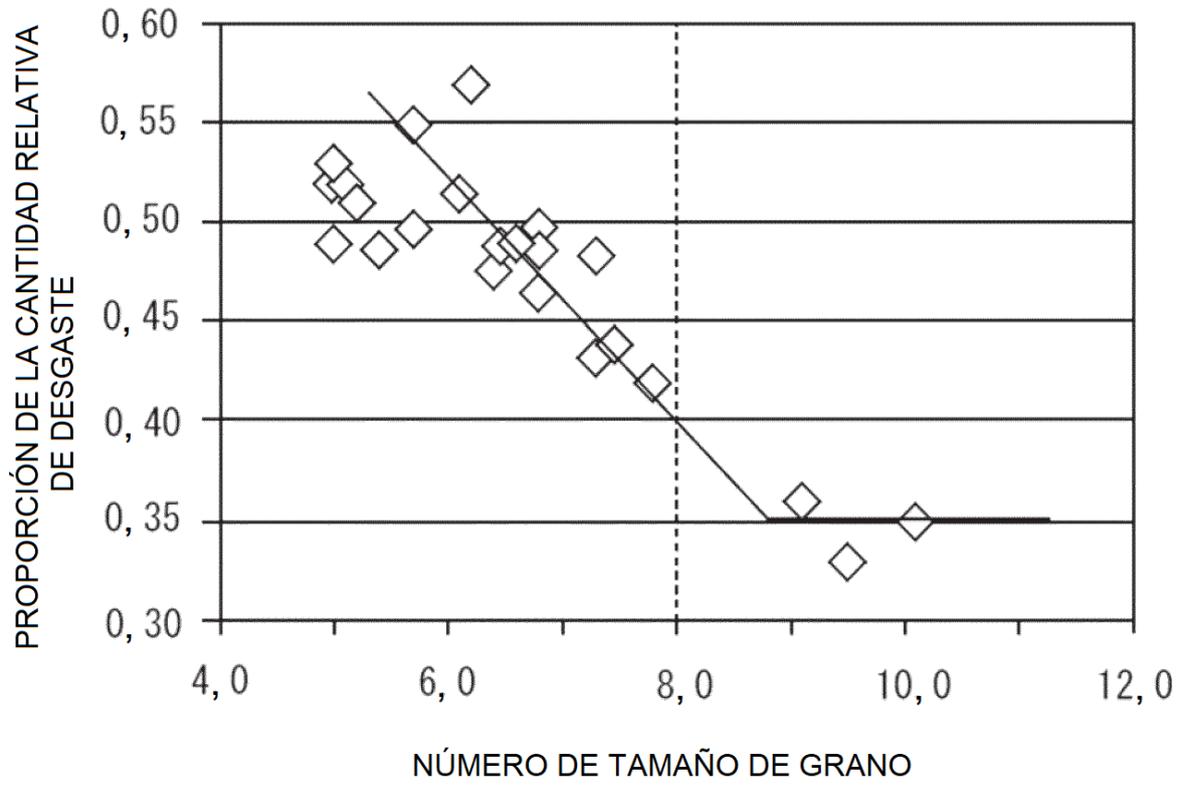


FIG. 2

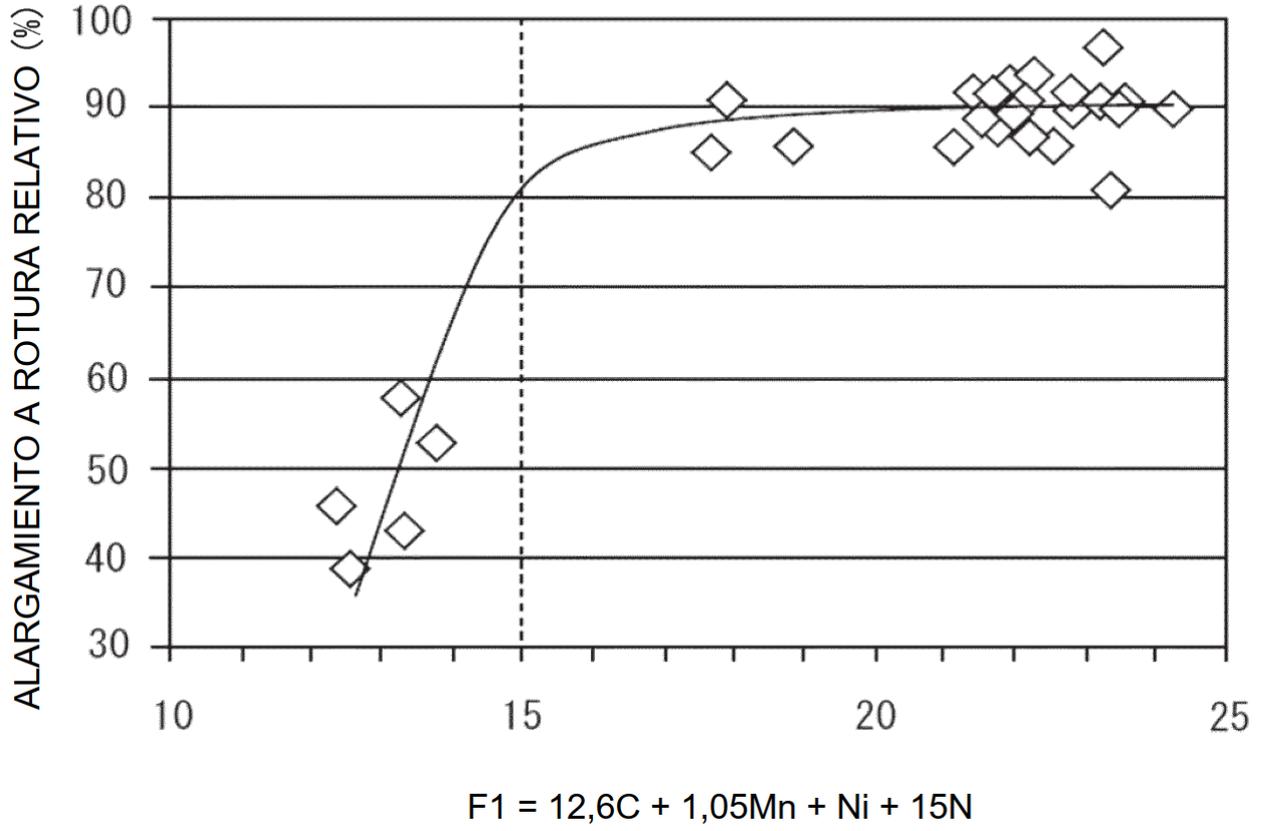


FIG. 3

