

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 748 683**

51 Int. Cl.:

| | | |
|-------------------|-----------------------------|-----------|
| C21D 7/06 | (2006.01) B24C 1/08 | (2006.01) |
| B24C 1/10 | (2006.01) C21D 10/00 | (2006.01) |
| C22C 38/00 | (2006.01) | |
| C22C 38/18 | (2006.01) | |
| C22C 38/58 | (2006.01) | |
| B24C 3/32 | (2006.01) | |
| C22C 38/02 | (2006.01) | |
| C22C 38/04 | (2006.01) | |
| C22C 38/42 | (2006.01) | |
| C22C 38/48 | (2006.01) | |

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **27.02.2007 PCT/JP2007/053632**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **07.09.2007 WO07099949**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.02.2007 E 07737434 (6)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.08.2019 EP 1997918**

54 Título: **Método de fabricación de un tubo de acero excelente en lo que se refiere a características de resistencia a la oxidación por vapor**

30 Prioridad:
02.03.2006 JP 2006055778

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
17.03.2020

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

72 Inventor/es:
MATSUO, HIROSHI

74 Agente/Representante:
ISERN JARA, Jorge

ES 2 748 683 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

Método de fabricación de un tubo de acero excelente en lo que se refiere a características de resistencia a la oxidación por vapor

Campo técnico

5 La presente invención se refiere a un método para producir un tubo de acero inoxidable austenítico con excelente resistencia a la oxidación por vapor.

Antecedentes

10 En un tubo intercambiador de calor hecho de acero inoxidable u otras aleaciones, se genera incrustación en la superficie interna del tubo debido a la oxidación por vapor. La incrustación se exfolia parcialmente debido al choque térmico causado por la repetición del proceso de inicio y parada. La incrustación exfoliada a veces deriva en obstrucción, lo que provoca un sobrecalentamiento en el tubo que puede provocar un accidente por explosión.

Prevenir el aumento de la incrustación es eficaz para resolver problemas que acompañan a la exfoliación de la incrustación. Para ese propósito, el aumento del contenido de Cr, Si y Al incluido en el material del tubo, el refinado de granos y la conformación plástica por granallado o similar se adaptan de manera eficaz.

15 La mejora en la resistencia a la oxidación por vapor mediante granallado se propone, por ejemplo, en los documentos de patente 1, 2 y 3. El efecto se basa en el siguiente principio. Cuando un tubo que tiene una superficie interna que ha sido sometida a conformación plástica mediante el uso de bolas de acero o similares, entra en contacto con vapor sobrecalentado a alta temperatura, se genera una incrustación extremadamente delgada de óxidos de Cr en la superficie interna. Esta incrustación tiene una buena propiedad protectora y puede estar presente de forma estable
20 durante mucho tiempo, por lo que se mejora la resistencia a la oxidación por vapor.

El documento de patente 3 da a conocer un método para producir un tubo de acero inoxidable austenítico que tiene las características establecidas en el preámbulo de la reivindicación 1.

25 El documento de patente 4 propone un método para prevenir la oxidación causada por vapor a alta temperatura. Este método incluye granallar la superficie de acero inoxidable austenítico mediante el chorreado de la misma con partículas de acero al carbono, acero aleado o acero inoxidable a una presión de chorreado de 4,0 kg/cm² o más y una corriente de granallado de 0,023 kg/cm²/min o más formando así una capa procesada sobre la superficie.

30 Esta conformación plástica de la superficie interna del tubo se ha utilizado ampliamente ya que se puede realizar a un bajo coste en comparación con otros métodos. Sin embargo, es difícil prevenir perfectamente la exfoliación de incrustación que resulta del choque térmico debido al proceso repetido de parada e inicio, incluso aunque se utilice este método o incluso aunque se tomen las otras medidas mencionadas anteriormente.

Documento de patente 1: JP H06-322489 A

Documento de patente 2: JP 2002-285236 A

Documento de patente 3: US 4 086 104 A

Documento de patente 4: JP S52-008930 A

35 Documento de patente 5: JP H06-226633 A

Descripción de la invención

Problemas para resolver mediante la invención

40 Un objeto de la presente invención es proporcionar un método para producir un tubo de acero inoxidable austenítico que posea una excelente resistencia a la oxidación por vapor y que haya formado en su superficie interna una capa granallada uniforme.

Medios para resolver los problemas

Si bien la resistencia a la oxidación por vapor se puede mejorar mediante el granallado de la superficie interna del tubo, para aprovechar completamente el efecto de granallado, la capa granallada debe ser significativa y uniforme sobre la superficie interna a lo largo de toda la longitud y circunferencia del tubo.

45 La valoración convencional del granallado se realiza normalmente mediante observación microscópica de una sección transversal longitudinal del tubo y midiendo la dureza de la superficie interna del tubo. Por lo tanto, no se realiza ninguna estimación relacionada con la longitud y la circunferencia del tubo. Esto impide obtener un granallado satisfactorio y uniforme si hay variaciones en la cantidad o tipo de presión de chorreado en las partículas de granallado a lo largo de la longitud o circunferencia del tubo. En partes en las que el granallado es insuficiente, se genera

incrustación anormalmente oxidada en una atmósfera de oxidación por vapor, lo que deriva en una escasa resistencia a la oxidación por vapor.

5 En vista de estas circunstancias, el presente inventor realizó un extenso estudio del área granallada de la superficie interna del tubo utilizando una cobertura visual como índice de valoración. Este estudio confirmó que el granallado en una situación en la que la cobertura visual es del 70 % o más, logró un tubo de acero con excelente resistencia a la oxidación por vapor en la superficie interna.

10 El término incrustación anormalmente oxidada, tal como se usa aquí, se refiere a la incrustación que resulta del daño producido a la incrustación delgada, uniforme y altamente protectora generada en una atmósfera de oxidación por vapor a alta temperatura. Esta incrustación anormalmente oxidada tiene baja protección y puede ser eliminada con el tiempo, dando como resultado un tubo con baja resistencia a la oxidación por vapor.

La presente invención, basada en el conocimiento anterior, se refiere a un método para producir un tubo de acero inoxidable austenítico, como se define en la reivindicación 1.

Efectos de la invención

15 El tubo de acero inoxidable austenítico obtenido según el método de la presente invención posee una excelente resistencia a la oxidación por vapor en su superficie interna. El tubo de acero es adecuado para usar, por ejemplo, en tubos de caldera que son sometidos a oxidación por vapor. Además, la incrustación generada en este tubo no se exfolia fácilmente cuando se somete a tensión térmica por calentamiento y enfriamiento repetidos, lo que minimiza accidentes tales como obstrucciones de tubos.

Breve descripción de los dibujos

20 La figura 1 es un diagrama esquemático que muestra granallado en la superficie interna del tubo de acero.

La figura 2 es un gráfico que muestra la relación entre cobertura visual y la proporción de superficie de la incrustación anormalmente oxidada después de la prueba de oxidación con vapor.

Mejor modo para llevar a cabo la invención

25 El presente inventor confirmó que se puede obtener un tubo de acero que posea una excelente resistencia a la oxidación por vapor en la superficie interna mediante granallado en la situación en la que la cobertura visual es del 70 % o más. La cobertura visual es de preferencia del 85 % o más.

Para obtener un alto porcentaje de cobertura visual, el granallado debe lograr una distribución de granalla uniforme. Esto requiere cumplir las siguientes condiciones. La figura 1 es un diagrama que ilustra las condiciones de procesamiento.

30 (1) Se gira un tubo de acero 1 para evitar una distribución desigual de partículas de granallado debido a la gravedad y también para evitar una cobertura no uniforme consiguiente a lo largo de la circunferencia del tubo. El tubo de acero 1 se puede fijar mientras se gira una boquilla de granallado 2.

(2) La boquilla de granallado 2 se mueve a lo largo del tubo de acero 1 a una velocidad adecuada para garantizar que el granallado cubra uniformemente la superficie interna del tubo de acero 1.

35 (3) La boquilla debe poder chorrear con la granalla una amplia extensión de la superficie interna del tubo. Es decir, la boquilla debe poseer una L grande que se muestra en la figura 1 y se describe más adelante.

(4) Una cantidad insuficiente de chorreado con granalla a través de la boquilla sobre la superficie interna del tubo hace que el granallado no sea uniforme, por lo que no hay granalla sobre algunas partes del tubo. Se requiere una corriente de granallado de 5 kg/minuto o más para evitar estas partes sin granalla.

40 En el método de esta invención, la superficie interna del tubo de acero se granalla en la condición de una corriente de granallado de no menos de 5 kg/minuto mientras se gira el tubo de acero, y se cumple la fórmula (a) que se muestra a continuación para cumplir las condiciones anteriores (1), (2) y (3).

$$L \times r/v \geq 1,5 \qquad \dots (a)$$

De manera preferible, el valor de $L \times r/v$ es 2,0 o mayor.

45 L, r y v se definen como sigue.

L indica la longitud (mm) sobre la cual se chorrea con partículas de granallado a través de la boquilla sobre la superficie interna del tubo.

r indica la frecuencia de rotación (rpm) del tubo de acero.

v indica la velocidad (mm/minuto) del movimiento de la boquilla a lo largo del tubo de acero.

Se puede confirmar que las partículas de granallado se chorrean uniformemente sobre la superficie interna del tubo, por ejemplo, utilizando las partículas de granallado magnéticas dadas a conocer en el documento de patente 4 y supervisando la corriente de granallado mediante el método de magnetorresistencia.

La cobertura visual de la superficie interna del tubo se puede medir de la siguiente manera.

5 Una fuente de luz se irradia desde un extremo de un tubo granallado y se proyecta sobre su superficie interna, mientras que una cámara de televisión para observar la superficie interna se inserta desde el otro extremo y se mueve dentro del tubo para medir el área granallada. Hay que tener en cuenta que este método de medición es simplemente un ejemplo y que también puede utilizarse otro método o una combinación de otros métodos.

10 El valor de la cobertura visual del área granallada se expresa como un porcentaje relativo al área de la superficie interna del tubo. La superficie granallada tiene un acabado mate debido a pequeñas depresiones y protuberancias, mientras que una parte sin granallado tiene un acabado brillante. Por lo tanto, el grado de brillo se puede usar para diferenciar el área granallada de las partes no granalladas.

15 Los tubos dentro del ámbito de aplicación de la presente invención típicamente incluyen tubos de acero inoxidable austeníticos que contienen, en masa, C: 0,2 % o menos, Si: 2 % o menos, Mn: 0,1 a 3,0 %, Cr: 15 a 28 % y Ni: 6 a 50 %, ya que la incrustación en la superficie interna del tubo debe estar hecha principalmente de un óxido de Cr. Este acero puede contener además opcionalmente uno o más seleccionados del grupo que consiste en Mo: 0,1 a 5 %, W: 0,1 a 10 %, Cu: 0,1 a 5 %, N: 0,005 a 0,3 %, V: 0,01 a 1,0 %, Nb: 0,01 a 1,5 %, Ti: 0,1 a 0,5 %, Ca: 0,0001 a 0,2 %, Mg: 0,0001 a 0,2 %, Al: 0,0001 a 0,2 %, B: 0,0001 a 0,2 % y elementos de tierras raras: 0,0001 a 0,2 %.

20 Ejemplos del material para el tubo de la presente invención incluyen un acero inoxidable austenítico tal como SUS 304H, SUS 309, SUS 310, SUS 316H, SUS 321H y SUS 347H, que se determinan en JIS y sus aceros correspondientes.

25 El granallado se realiza después del tratamiento térmico del tubo de acero para ajustes microestructurales y de resistencia. El granallado puede realizarse después de eliminar la incrustación oxidada generada en la superficie interna del tubo mediante tratamiento térmico o realizarse con la incrustación oxidada todavía en la superficie interna. En el tubo de acero inoxidable austenítico, que generalmente se almacena o utiliza después de eliminar la incrustación oxidada, el granallado se realiza en la mayoría de los casos después de eliminar la incrustación oxidada. Las partículas de granallado para el granallado pueden estar hechas, por ejemplo, de alúmina o acero. Si el material de las partículas de granallado es diferente del material del tubo de acero, tal como cuando se usan bolas de acero martensítico, entonces pueden quedar fragmentos de partícula en la superficie del acero granallado, lo que provoca óxido y corrosión por picaduras. En este caso, los fragmentos de partícula se eliminan preferiblemente mediante decapado después del granallado, etc.

El efecto de cada componente de los aceros anteriores y la razón para limitar el contenido se describen a continuación.

C: no más del 0,2 %

35 El C es un elemento eficaz para garantizar resistencia a la tensión y resistencia a la deformación, y preferiblemente está contenido en una cantidad del 0,01 % o más para obtener este efecto. Sin embargo, un contenido superior al 0,2 % no contribuye a mejorar la resistencia a altas temperaturas, sino que afecta gravemente a propiedades mecánicas, tales como la dureza, ya que el carburo que no puede disolverse se queda en el acero después del tratamiento de la solución. En consecuencia, el contenido de C se establece en 0,2 % o menos. El contenido es de manera deseable del 0,12 % o menos para evitar el deterioro de la trabajabilidad y la dureza en caliente.

40 Si: no más del 2 %

El Si es un elemento utilizado como desoxidante y es efectivo para mejorar la resistencia a la oxidación por vapor, y preferiblemente está contenido en una cantidad del 0,1 % o más. Por otro lado, dado que una cantidad excesiva de Si provoca el deterioro de la soldabilidad y la trabajabilidad en caliente, el contenido se establece en 2 % o menos, de manera deseable, en 0,8 % o menos.

45 Mn: 0,1 a 3,0 %

El Mn es efectivo como desoxidante, al igual que el Si, y tiene el efecto de prevenir el deterioro de la trabajabilidad en caliente causada por el S incluido como impureza. Para mejorar el efecto desoxidante y la trabajabilidad en caliente, el Mn está contenido en una cantidad del 0,1 % o más. Dado que un contenido excesivamente grande causa fragilidad del acero, el límite superior del contenido se establece en 3,0 %, más preferiblemente en 2,0 %.

50 Cr: 15 a 28 %

El acero debe incluir Cr en una cantidad de 15 a 28 %, ya que el Cr genera una incrustación compuesta principalmente de óxidos de Cr en la superficie interna del tubo. El Cr es un elemento necesario para garantizar la resistencia a la temperatura, la resistencia a la oxidación y la resistencia a la corrosión. En el acero inoxidable austenítico, se requiere

un contenido del 15 % o más para una exposición suficiente del efecto. Sin embargo, dado que un contenido excesivo provoca el deterioro de la dureza y la trabajabilidad en caliente del acero, el límite superior se establece en 28 %.

Ni: 6 a 50 %

5 En el acero inoxidable austenítico, el Ni es un elemento necesario para estabilizar una microestructura de austenita y mejorar la resistencia a la deformación, y se requiere un contenido del 6 % o más. Además, para asegurar la estabilidad de la microestructura a temperaturas elevadas durante mucho tiempo, es preferible un contenido del 15 % o más. Sin embargo, dado que el efecto satura si se añade una gran cantidad de Ni y un contenido del 50 % o más solo deriva en un aumento en el coste, el límite superior del contenido se establece en 50 %. Un límite superior preferible es del 35 %, más preferiblemente del 25 %.

10 Mo: 0,1 a 5 %, W: 0,1 a 10 %, Cu: 0,1 a 5 %

Mo, W y Cu se incluyen preferiblemente ya que mejoran la resistencia a altas temperaturas del acero. El efecto puede mostrarse incluyendo al menos uno de ellos en una cantidad del 0,1 % o más. Como demasiado contenido perjudica la soldabilidad y la trabajabilidad, el límite superior se establece en 5 % para Mo y Cu, y en 10 % para W.

N: 0,005 a 0,3 %

15 El N contribuye al fortalecimiento en solución sólida del acero. Además, el N se fija con otro elemento y fortalece de manera eficaz el acero mediante un efecto de fortalecimiento de la precipitación. Para obtener los efectos, se requiere un contenido de 0,005 % o más. Sin embargo, un contenido superior al 0.3 % puede causar deterioro de la ductilidad y soldabilidad del acero.

V: 0,01 a 1,0 %, Nb: 0,01 a 1,5 %, Ti: 0,01 a 0,5 %

20 Cada uno de V, Nb y Ti se combina con carbono y nitrógeno para formar carbonitruros y contribuye al fortalecimiento de la precipitación. Por consiguiente, uno o más de ellos están contenidos preferiblemente en una cantidad del 0,01 % o más. Dado que un contenido excesivamente grande perjudica la trabajabilidad del acero, el límite superior del contenido se establece en 1,0 % para V, 1,5 % para Nb y 0,5 % para Ti.

25 Ca: 0,0001 a 0,2 %, Mg: 0,0001 a 0,2 %, Al: 0,0001 a 0,2 %, B: 0,0001 a 0,2 %, Elementos de tierras raras: 0,0001 a 0,2 %

Cada uno de Ca, Mg, Al, B y elementos de tierras raras, a saber, La, Ce, Y, Pd, Nd, etc. es efectivo para mejorar el fortalecimiento, la trabajabilidad y la resistencia a la oxidación por vapor. Para obtener estos efectos, uno o más de ellos pueden estar contenidos en una cantidad del 0,0001 % o más, respectivamente. Cuando cada contenido de estos elementos sobrepasa el 0,2 %, se deteriora la trabajabilidad o soldabilidad.

30 [Ejemplo útil para entender la invención]

Se prepararon tubos de acero inoxidable, cada uno con un diámetro externo de 50,8 mm y un espesor de 8,0 mm (equivalente al Código ASME 2328-1 con una composición típica de: 0,10 % C; 0,2 % Si; 0,8 % Mn; 18,0 % Cr; 9,0 % Ni; 0,5 % Nb; 3 % Cu; y 0,1 % N). Cada uno de los tubos de acero se sometió a decapado para eliminar escamas de óxido de hierro de la superficie interna del tubo de acero y luego se granalló en las condiciones que se describen a continuación. Luego, cada tubo de acero se sometió a decapado para eliminar las partículas de granallado restantes y sus fragmentos de la superficie interna. Se llevó a cabo una prueba de oxidación por vapor en los tubos de acero para verificar la aparición de incrustación anormalmente oxidada. Las condiciones de la prueba se describen a continuación.

(1) Granalla: bolas de acero martensítico (con un diámetro medio de 600 μm)

40 (2) Condiciones de granallado: como se enumera en la Tabla 1, la frecuencia (r) de la rotación del tubo de acero, la velocidad (v) del movimiento de la boquilla a lo largo del tubo de acero, una longitud (L) sobre la cual se chorrea con partículas de granallado a través de la boquilla sobre la superficie interna del tubo, la presión de chorreado, la cantidad de corriente de granallado y la cantidad de chorreado se variaron para obtener diferentes valores de cobertura visual.

45 (3) Medición del área granallada (cobertura visual) en la superficie interna del tubo: se irradió una fuente de luz desde un extremo del tubo granallado y se proyectó sobre su superficie interna, mientras que se insertó una cámara de TV interna desde el otro extremo y se movió dentro del tubo para medir el área granallada. La Tabla 1 también muestra los valores de cobertura visual. Para verificar la medición, se cortó una longitud de 300 mm del tubo y se cortó longitudinalmente por la mitad para observar el área granallada sobre la superficie interna del tubo. El valor obtenido fue aproximadamente el mismo que el valor del área medida con la cámara de TV interna.

Tabla 1

| Número de prueba | Condiciones de granallado | | | | | | L x r/v | L (mm) | V (mm/min) | r (rpm) | Cantidad de chorreado (kg/cm ² /min) | Cantidad de corriente de granallado (kg/min) | Cantidad de chorreado (kg/cm ² /min) | r (rpm) | V (mm/min) | L (mm) | L x r/v | Cobertura visual (%) | Clasificación |
|------------------|----------------------------|--|---|---------|------------|--------|---------|--------|------------|---------|---|--|---|---------|------------|--------|---------|--------------------------|---------------|
| | Presión de chorreado (MPa) | Cantidad de corriente de granallado (kg/min) | Cantidad de chorreado (kg/cm ² /min) | r (rpm) | V (mm/min) | L (mm) | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 0,5 | 4 | 0,20 | 20 | 330 | 5 | 0,3 | 20 | 20 | 0,20 | 4 | 0,20 | 20 | 330 | 5 | 0,3 | 20 | Ejemplos comparativos | |
| 2 | 0,5 | 4 | 0,20 | 20 | 250 | 5 | 0,6 | 40 | 20 | 0,20 | 4 | 0,20 | 20 | 250 | 5 | 0,6 | 40 | | |
| 3 | 0,5 | 4 | 0,40 | 40 | 200 | 5 | 1,0 | 50 | 40 | 0,40 | 4 | 0,40 | 40 | 200 | 5 | 1,0 | 50 | Ejemplos de la invención | |
| 4 | 0,5 | 5* | 0,63 | 40 | 160 | 5 | 1,3 | 65 | 40 | 0,63 | 4 | 0,63 | 40 | 160 | 5 | 1,3 | 65 | | |
| 5 | 0,5 | 4 | 0,62 | 40 | 130 | 5 | 1,5* | 68 | 40 | 0,62 | 4 | 0,62 | 40 | 130 | 5 | 1,5* | 68 | Ejemplos comparativos | |
| 6 | 0,7 | 7* | 1,17 | 40 | 120 | 5 | 1,7* | 79* | 40 | 1,17 | 7* | 1,17 | 40 | 120 | 5 | 1,7* | 79* | | |
| 7 | 0,7 | 7* | 1,40 | 50 | 100 | 5 | 2,5* | 90* | 50 | 1,40 | 7* | 1,40 | 50 | 100 | 5 | 2,5* | 90* | Ejemplos de la invención | |
| 8 | 0,9 | 15* | 1,50 | 20 | 100 | 10 | 2,0* | 88* | 20 | 1,50 | 15* | 1,50 | 20 | 100 | 10 | 2,0* | 88* | | |
| 9 | 0,7 | 15* | 0,75 | 40 | 200 | 10 | 2,0* | 85* | 40 | 0,75 | 15* | 0,75 | 40 | 200 | 10 | 2,0* | 85* | Ejemplos comparativos | |
| 10 | 0,8 | 7* | 0,09 | 60 | 500 | 15 | 1,8* | 72* | 60 | 0,09 | 7* | 0,09 | 60 | 500 | 15 | 1,8* | 72* | | |
| 11 | 0,7 | 10* | 0,33 | 30 | 150 | 20 | 4,0* | 95* | 30 | 0,33 | 10* | 0,33 | 30 | 150 | 20 | 4,0* | 95* | Ejemplos de la invención | |
| 12 | 0,7 | 7* | 0,12 | 50 | 300 | 20 | 3,3* | 92* | 50 | 0,12 | 7* | 0,12 | 50 | 300 | 20 | 3,3* | 92* | | |
| 13 | 0,7 | 5* | 0,06 | 30 | 400 | 20 | 1,5* | 70* | 30 | 0,06 | 5* | 0,06 | 30 | 400 | 20 | 1,5* | 70* | Ejemplos comparativos | |
| 14 | 0,6 | 5* | 0,25 | 0 | 100 | 20 | 0,0 | 60 | 0 | 0,25 | 5* | 0,25 | 0 | 100 | 20 | 0,0 | 60 | | |

Nota: Los valores con asterisco están dentro de los rangos de la invención

La Tabla 1 muestra que se obtiene una cobertura visual del 70 % o más cuando se ajustan la frecuencia (r) de rotación del tubo de acero, la velocidad (v) del movimiento de la boquilla y una longitud (L) sobre la cual se chorrea con partículas de granallado a través de la boquilla sobre la superficie interna del tubo para cumplir " $L \times r/v \geq 1,5$ (fórmula (a)).

5 (4) Prueba de oxidación por vapor

Se granallaron tubos de acero en condiciones variadas para obtener diferentes valores de cobertura visual. Se cortó una pieza de prueba de 25 mm de largo y 20 mm de ancho de cada tubo de acero y se expusieron a una atmósfera de oxidación por vapor de 650 °C durante 10.000 horas para generar una incrustación. Se midió la proporción de superficie de la incrustación anormalmente oxidada y los resultados se muestran en la figura 2.

10 La figura 2 muestra que cuando la cobertura visual es del 70 % o más, la proporción de superficie de la incrustación anormalmente oxidada es del 20 % o menos, lo que indica que la incrustación en la superficie interna del tubo posee una excelente resistencia a la oxidación por vapor. La figura 2 también revela que cuando la cobertura visual es del 85 % o más, la proporción de superficie de la incrustación anormalmente oxidada se reduce significativamente al 5 % o menos, lo que indica que la resistencia a la oxidación por vapor se mejora aún más.

15 Aplicación industrial

El tubo de acero de la presente invención proporciona una excelente resistencia a la oxidación por vapor en su superficie interna. Este tubo de acero se aplica eficazmente, por ejemplo, en tubos de caldera sometidos a oxidación por vapor. El uso del tubo de acero previene accidentes derivados de la obstrucción del tubo que de otro modo podrían ocurrir debido a la generación y exfoliación de la incrustación oxidada. El tubo de acero según la presente invención, también se puede producir a un coste relativamente bajo usando el método de producción de esta invención.

20

Números de referencia

1) Tubo de acero

2) Boquilla de granallado

REIVINDICACIONES

1. Método para producir un tubo de acero inoxidable austenítico (1) que tiene una excelente resistencia a la oxidación por vapor, que contiene, en masa, C: 0,2 % o menos, Si: 2 % o menos, Mn: 0,1 a 3,0 %, Cr: 15 a 28 %, Ni: 6 a 50 %, opcionalmente al menos uno seleccionado de Mo: 0,1 a 5 %, W: 0,1 a 10 %, Cu: 0,1 a 5 %, N: 0,005 a 0,3 %, V: 0,01 a 1,0 %, Nb: 0,01 a 1,5 %, Ti: 0,1 a 0,5 %, Ca: 0,0001 a 0,2 %, Mg: 0,0001 a 0,2 %, Al: 0,0001 a 0,2 %, B: 0,0001 a 0,2 % y elementos de tierras raras: 0,0001 a 0,2 %, siendo el resto Fe e impurezas, comprendiendo dicho método granallar la superficie interna del tubo de acero inoxidable austenítico (1) mientras se gira el tubo de acero inoxidable austenítico (1) y mover una boquilla de granallado (2) a lo largo de la longitud del tubo de acero inoxidable austenítico (1),
- 5
- 10 caracterizado por que
- la superficie interna del tubo de acero inoxidable austenítico (1) se granalla en la condición de una corriente de granallado de no menos de 5 kg/minuto y cumpliendo la fórmula (a) que se muestra a continuación, para que la cobertura visual de la zona granallada de la superficie interna del tubo de acero (1) sea del 70 % o más,
- $$L \times r/v \geq 1,5 \qquad \dots (a)$$
- 15 donde L indica una longitud (mm) sobre la cual las partículas de granallado procedentes de la boquilla (2) se lanzan sobre la superficie interna del tubo de acero inoxidable austenítico (1), r indica la frecuencia de rotación (rpm) del tubo de acero inoxidable austenítico (1) y v indica la velocidad (mm/minuto) del movimiento de la boquilla a lo largo de la longitud del tubo de acero inoxidable austenítico (1).
2. Método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el valor de $L \times r/v$ es 2,0 o mayor.
- 20 3. Método de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en el que las partículas de granallado para el granallado están hechas de alúmina o acero.

FIG.1

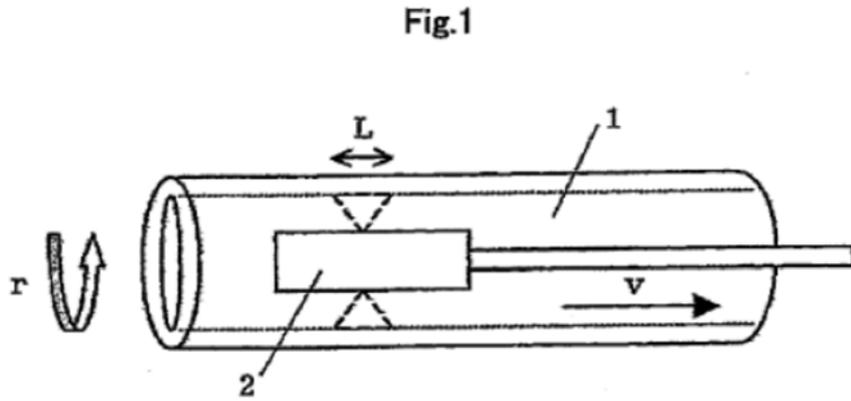


FIG.2

