

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 712 806**

51 Int. Cl.:

C22C 38/40	(2006.01)	C22C 38/50	(2006.01)
C22C 38/48	(2006.01)	C22C 38/54	(2006.01)
C22C 38/02	(2006.01)	C22C 38/58	(2006.01)
C22C 38/04	(2006.01)	C22C 38/42	(2006.01)
C22C 38/00	(2006.01)	C22C 38/44	(2006.01)
C21D 9/14	(2006.01)		
C21D 6/00	(2006.01)		
C21D 7/06	(2006.01)		
C22C 38/06	(2006.01)		
C22C 38/46	(2006.01)		

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **28.05.2012 PCT/JP2012/063590**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **03.01.2013 WO13001956**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.05.2012 E 12805391 (5)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.11.2018 EP 2728031**

54 Título: **Tubo de acero inoxidable austenítico**

30 Prioridad:

28.06.2011 JP 2011142544

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

14.05.2019

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**NISHIYAMA, YOSHITAKA y
YONEMURA, MITSUHARU**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 712 806 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

Tubo de acero inoxidable austenítico

Campo técnico

5 La presente invención se refiere a un tubo de acero inoxidable austenítico que tiene una excelente resistencia a la corrosión y, más particularmente, a un tubo de acero inoxidable austenítico para plantas de generación de energía, que es adecuado como material de partida para ser utilizado en calderas, tuberías, diferentes tipos de intercambiadores de calor, y similares para equipos de generación de energía y que tiene una excelente resistencia a la corrosión.

Antecedentes de la técnica

10 En los últimos años, en diferentes campos tecnológicos se ha convertido en un motivo de gran preocupación el problema ambiental global, incluido el calentamiento global. Ante esta situación, en la plantas de generación de energía, se ha vuelto urgente reducir las emisiones totales de dióxido de carbono gaseoso, y en las plantas de reciente construcción se ha exigido firmemente que tengan instalaciones capaces de generar energía con una alta eficiencia. Por ejemplo, en una caldera de generación de energía térmica, como medida eficaz para generar energía con una alta
15 eficiencia se ha adoptado la técnica de aumentar la temperatura y la presión del vapor de agua. El aumento de la temperatura y la presión del vapor de agua conduce a una elevación de la temperatura de la pared del tubo en los tubos del sobrerrecalentador y los tubos del recalentador de la caldera, de modo que se requiere que el tubo de acero a utilizar para la caldera no solo tenga resistencia mecánica a alta temperatura sino también resistencia a la oxidación a alta temperatura provocada por el vapor de agua. Como método para evitar la oxidación del tubo de acero debida al
20 vapor de agua se han hecho hasta ahora varias propuestas, las cuales se describen a continuación.

(A) Técnica para la realización de un tratamiento térmico en solución después de la formación de una capa mecanizada.

25 El documento de patente 1 describe una invención relacionada con un método para producir un tubo de acero inoxidable con una superficie de grano fino, método en el que, después de que el tubo de acero inoxidable austenítico se haya sometido a un tratamiento en solución, se realiza un mecanizado en frío en la superficie del tubo, tal como un chorreado con granalla, un rectificado y un pulido, y luego se realiza el tratamiento de redisolución predeterminado. El documento de patente 2 describe una invención relacionada con un método para un tratamiento termo-mecánico, en el que un tubo de acero inoxidable austenítico se somete a un mecanizado en frío con una tasa de mecanizado del 20% o superior, y luego se somete a un tratamiento térmico en solución sólida a una velocidad de elevación de la
30 temperatura de 2,9°C/s o inferior.

35 El documento de patente 3 describe una invención en la que se forma una capa de grano fino con un espesor de 30 µm o mayor en la superficie interior de un tubo de una aleación de hierro austenítico utilizando unos granos más finos que el tamaño de grano del número 7, y posteriormente se realiza un mecanizado en frío con una tasa de mecanizado del 20% o superior y se realiza un tratamiento de recristalización. El documento de patente 4 describe una invención en la que se realiza un mecanizado en frío de modo que la dureza en una posición a 20 µm de profundidad desde la superficie interior del tubo de acero inoxidable austenítico es Hv320 o superior, y se realiza un tratamiento en solución.

(B) Técnica de aumento de los contenidos de C y N para formar microestructuras de grano fino, incluso después del tratamiento térmico en solución.

40 El documento de patente 5 describe una invención relacionada con un tubo de acero inoxidable austenítico que tiene una microestructura de grano fino con un tamaño de grano del número 7 o mayor en el lado de la superficie interior del tubo de acero y cuya parte de la capa de grano fino tiene un contenido de (C + N) de 0,15% o más.

(C) Técnica de chorreado con perdigones para formar una capa mecanizada en frío.

45 El documento de patente 6 describe una invención en la que, después de que el tubo de acero inoxidable austenítico se ha sometido a un tratamiento térmico final, se realiza un chorreado con perdigones proyectando unas partículas en la superficie interior del tubo de acero. El documento de patente 7 describe una invención en la que un tubo de acero inoxidable austenítico se somete a un tratamiento de chorreado con perdigones bajo unas condiciones predeterminadas para formar una capa mecanizada con un espesor de 10 µm o mayor. El documento de patente 8 describe una invención en la que un cuerpo tubular sacado de una caldera existente se somete a una limpieza química para quitar la cascarilla de la superficie interior después de un tratamiento térmico, y posteriormente la superficie
50 interior del cuerpo tubular se somete a un chorreado con granalla para formar una capa mecanizada en frío.

(D) Técnica para mejorar la adhesividad de la cascarilla.

El documento de patente 9 describe una invención relacionada con un tubo de acero para calderas que tiene una excelente resistencia a la oxidación por vapor de agua, la cual se produce sometiendo un tubo de acero inoxidable austenítico que contiene un metal de las tierras raras a un tratamiento en solución, y tiene una capa granallada formada

mediante la proyección de unas partículas en la superficie interior del tubo de acero. El documento de patente 10 describe una invención relacionada con un tubo de acero que contiene 9 a 28% en masa de Cr, y en el que la altura máxima del perfil en la superficie interior después del mecanizado en frío es 15 µm o mayor, y además la diferencia de la dureza Vickers entre la capa superficial interior y la parte central del espesor de la pared del tubo es 100 o más.

5 (E) Técnica para someter un tubo de acero a un mecanizado en frío con una alta tasa de mecanizado.

El documento de patente 11 describe una invención en la que se realiza un tratamiento de impacto ultrasónico en la superficie interior de un tubo de acero ferrítico resistente al calor o de un tubo de acero austenítico resistente al calor, que contienen 5 a 30% en masa de Cr. El documento de patente 12 describe una invención relacionada con un tubo de acero inoxidable austenítico que contiene 16 a 20% en peso de Cr y cuya superficie interior se mecaniza en frío, y más particularmente relacionada con un tubo de acero inoxidable austenítico para calderas, en el que la concentración de Cr en una posición próxima a la superficie interior del tubo de acero es 14% en peso o superior, y la dureza en una posición a 100 µm de profundidad desde la superficie interior del tubo de acero es 1,5 veces o más la dureza media del metal base o Hv300 o superior. El documento de patente 13 describe una invención relacionada con un tubo de acero que tiene una excelente resistencia a la oxidación por vapor de agua, que tiene una capa mecanizada con una alta dureza de un tubo de acero que contiene 8 a 28% en masa de Cr.

15 (F) Técnica para mejorar la resistencia a la oxidación por vapor de agua de un acero ferrítico resistente al calor.

El documento de patente 14 describe una invención relacionada con un método para mecanizar un acero ferrítico resistente al calor, método en el que un acero que contiene 9,5 a 15% de Cr se homogeniza y se temple para hacer que los granos del cristal y la microestructura sean uniformes, y posteriormente se forma una capa mediante chorreado con granalla proyectando unas partículas en la superficie.

El documento de patente 15 describe un método para mejorar la resistencia de una tubería de acero a la oxidación por vapor de agua a alta temperatura, mediante mecanizar en frío la superficie interior de una tubería de acero resistente al calor fabricada con un acero de alto contenido de Cr o un acero inoxidable austenítico a través de la cual se envía vapor de agua a alta temperatura, luego, irradiar la superficie mediante un haz de rayos láser y enfriar rápidamente la superficie.

25

Lista de documentos de la técnica anterior

Documentos de patente:

Documento de patente 1: JP53-114722A

Documento de patente 2: JP54-138814A

30 Documento de patente 3: JP55-58329A

Documento de patente 4: JP58-39733A

Documento de patente 5: JP58-133352A

Documento de patente 6: JP49-135822A

Documento de patente 7: JP52-8930A (la patente US-4086104 A pertenece a la misma familia de patentes)

35 Documento de patente 8: JP63-54598A

Documento de patente 9: JP6-322489A

Documento de patente 10: JP2006-307313A

Documento de patente 11: JP2004-132437A

Documento de patente 12: WO 2008/023410 (la patente EP-2060641 A1 pertenece a la misma familia de patentes)

40 Documento de patente 13: JP2009-68079A

Documento de patente 14: JP2002-285236A

Documento de patente 15: JP S62-224627 A

Descripción de la invención

Problemas a resolver mediante la invención.

45 En la técnica del apartado (A), el tratamiento térmico en solución se realiza a una alta temperatura para evitar la

disminución de la resistencia a la rotura por fluencia y para suprimir la fisuración por corrosión bajo tensión. Sin embargo, el tratamiento térmico en solución, cuando se realiza, elimina la deformación introducida en los granos del cristal por causa del mecanizado y provoca la recristalización. Dependiendo de la composición química del tubo de acero, los granos del cristal generados debido al tratamiento en solución se vuelven demasiado grandes, y se hace difícil mantener de manera estable la capa de grano fino en la superficie del acero. En consecuencia, la resistencia a la oxidación por vapor de agua, que se mejora mediante el tratamiento de mecanizado en frío, se puede degradar.

En la técnica del apartado (B), aunque la resistencia del tubo a la oxidación por vapor de agua se puede mejorar algo, la capa superficial interior del tubo está sumamente sensibilizada durante la utilización de la caldera, de modo que al detenerse el funcionamiento se puede producir fisuración por corrosión bajo tensión. Asimismo, si la microestructura metálica de todo el tubo de acero se hace demasiado fina, la resistencia a la rotura por fluencia disminuye, y surge el problema de que no se consiga la propiedad de resistencia a alta temperatura, lo cual es intrínsecamente importante para un componente de alta temperatura.

Por ello, ambas técnicas de los apartados (A) y (B) implican muchos problemas en su utilización práctica.

La técnica del apartado (C) es una de las técnicas eficaces utilizadas como medidas preventivas de la oxidación por vapor de agua en las calderas de uso comercial actuales, es decir, las calderas en las que la temperatura del vapor de agua es 566°C (1.050°F), y se ha aplicado en algunos de los tubos de acero para calderas fabricados con acero inoxidable austenítico. Sin embargo, a la temperatura del vapor de agua de una caldera de alta eficiencia que es utilizada en las nuevas plantas, de por ejemplo 621°C (1.150°F), la temperatura de la pared del tubo del sobrerrecalentador y del tubo del recalentador es 50 a 100°C superior a la de las calderas que se utilizan corrientemente. Se han estudiado calderas que tienen unas condiciones de funcionamiento tales que la temperatura del vapor de agua se aumenta todavía más hasta 650°C o 700°C. En tal región de alta temperatura, mediante la técnica del apartado (C) es difícil mantener el efecto supresor producido sobre la oxidación por vapor de agua durante un largo periodo de tiempo.

De acuerdo con la técnica del apartado (D), aunque la capacidad de protección de la cascarilla se puede ampliar y mantener, la capacidad de protección de la cascarilla puede no ser suficiente considerando el período de tiempo de servicio del tubo de acero. En la técnica del apartado (E), el tubo de acero se puede someter a un mecanizado en frío con una alta tasa de mecanizado. Sin embargo, aunque es eficaz para la formación de la cascarilla inicial, esta técnica todavía tiene problemas que resolver para mantener la cascarilla durante un largo período de tiempo. Asimismo, en el caso del tratamiento de impacto ultrasónico, esta técnica tiene problemas relacionados con los costes de introducción y funcionamiento de los equipos.

En la técnica del apartado (F), se puede formar una película de protección con una alta adhesividad sobre un acero ferrítico resistente al calor en el que es difícil formar una película de óxido de Cr, de modo que se puede esperar alguna mejora en la resistencia a la oxidación por vapor de agua debida a la película de protección. Sin embargo, esta técnica no consigue una solución fundamental si se considera un uso a largo plazo. Asimismo, esta técnica no se refiere al acero austenítico resistente al calor.

La presente invención se ha realizado para resolver los problemas descritos anteriormente con las técnicas anteriores, y, por consiguiente, un objetivo de la misma es proporcionar un tubo de acero que tenga una resistencia a la oxidación por vapor de agua notablemente excelente.

Medios para resolver los problemas.

Para la presente invención se realizaron unos estudios en profundidad para resolver los problemas inherentes a los tubos de acero inoxidable austenítico para plantas de generación de energía, y como resultado se obtuvieron los hallazgos descritos a continuación.

(a) Cuando la superficie de un material no sometido a mecanizado después del tratamiento térmico en solución, es decir, un material que permanece tratado térmicamente en solución, se pone en contacto con vapor de agua a alta temperatura, sobre esta superficie se forma una gruesa cascarilla, llamada cascarilla de doble capa, debido a la oxidación por vapor de agua. Por el contrario, generalmente se dice que cuando un material, cuya capa exterior solo se ha sometido a mecanizado después del tratamiento térmico en solución, se pone en contacto con vapor de agua a alta temperatura, en la superficie del acero se forma una cascarilla de óxido de Cr sumamente delgada, tal como de Cr₂O₃, que tiene una baja velocidad de crecimiento.

(b) Sin embargo, se ha encontrado que a consecuencia de la realización de un mecanizado en diferentes tubos de acero y la observación de la cascarilla de óxido después del ensayo de oxidación por vapor de agua a largo plazo, la cascarilla de óxido de Cr deseada puede que no se mantenga en la superficie del tubo de acero incluso para un tubo de acero sometido a mecanizado después del tratamiento térmico en solución. En la posición donde no se mantiene la cascarilla de óxido de Cr se produce una oxidación de ruptura ("breakaway oxidation", en inglés) siendo esta posición el punto de inicio, y la resistencia a la oxidación por vapor de agua se deteriora notablemente.

(c) Para diferentes tubos de acero, se analizó en detalle la microestructura en la proximidad de la capa exterior de la superficie interior de la misma, y a consecuencia de ello se encontró que solo en el tubo de acero que tenía una

microestructura que disponía de una alta densidad de dislocación en la proximidad de la capa exterior, se formaba uniformemente una cascarilla de óxido de Cr, y asimismo se mantenía durante un largo período de tiempo.

5 (d) Cuando la dislocación se introduce más, la dislocación tiende a migrar de tal modo que la energía elástica disminuye. Por lo tanto, cuando la tasa de mecanizado es alta, la microestructura se divide en una parte donde la densidad de dislocación es alta y una parte donde la densidad de dislocación es baja (conversión de dislocación en celdas). La estructura de alta densidad de dislocación se forma realizando un mecanizado adicional sobre ella y repitiendo la introducción y la recuperación de la dislocación.

10 (e) Cuando el tubo de acero se mantiene a una temperatura de 550°C o superior, que es la temperatura de funcionamiento de una planta de generación de energía, especialmente a una temperatura de 600°C o superior, la estructura de alta densidad de dislocación desaparece y se transforma en granos del cristal finos que no tienen deformación interior, es decir, en la llamada estructura de recristalización. Dado que la estructura de recristalización consiste en granos finos de un tamaño submicrométrico a de aproximadamente varios micrómetros, el flujo de Cr, que es necesario para mantener de manera estable la cascarilla de óxido de Cr formada uniformemente, se puede garantizar a través de la difusión de los granos finos recristalizados en el contorno de los granos. Por otra parte, incluso si se realiza un mecanizado en la superficie, en el caso de que la densidad de dislocación sea baja se forma una estructura de recuperación, en la que solo se produce una reordenación de la dislocación a la temperatura de funcionamiento. En este caso, se mantiene el tamaño de grano de la estructura en el momento del tratamiento en solución del tubo de acero, de modo que la cantidad de contornos de los granos es pequeña, y la difusión de Cr en el contorno de los granos es insuficiente. En consecuencia, el flujo de Cr se vuelve insuficiente, la cascarilla de óxido de Cr no se puede mantener y se produce una oxidación de ruptura. Es decir, con el fin de mantener los óxidos de Cr, que son eficaces para la resistencia a la oxidación por vapor de agua durante un largo período de tiempo, es necesario formar uniformemente una microestructura metálica en la que en la capa exterior del tubo de acero exista una alta densidad de dislocación, lo que se denomina una "capa fuertemente mecanizada" o una "capa muy fuertemente mecanizada".

25 (f) Dado que la fuerza motriz de la recristalización está determinada por la densidad de dislocación, se estudió en detalle la relación entre la densidad de dislocación y la recristalización y el comportamiento de la oxidación por vapor de agua. En consecuencia, se encontró que, en la evaluación de la microestructura metálica para mantener los óxidos de Cr durante un largo período de tiempo, era más eficaz utilizar como indicador la densidad de dislocación media (la suma total de las longitudes de dislocación contenidas por unidad de volumen), la cual se obtiene mediante una medición por DRX utilizando un tubo de Co.

30 (g) Especialmente en el caso de que el tubo de acero se utilice en un entorno de alta temperatura en el que la temperatura alcance aproximadamente 700°C, puede ser necesario suministrar Cr desde la parte profunda del metal base, lejos de la estructura de recristalización de la parte próxima a la superficie. También en este caso, con el fin de garantizar el flujo de Cr, se prefiere que los granos del cristal de la microestructura metálica, que no ha sido sometida a mecanizado, se hagan finos de antemano.

35 La presente invención se realizó en base a los hallazgos descritos anteriormente, y se define en las reivindicaciones.

Efectos ventajosos de la invención.

40 De acuerdo con la presente invención, incluso en el caso de que se utilice un tubo de acero en un entorno a alta temperatura en el que la temperatura alcance aproximadamente 750°C, se puede formar uniformemente en la superficie del tubo de acero una cascarilla que tiene una excelente capacidad de protección contra la oxidación por vapor de agua, y además, al mantener establemente la cascarilla protectora, se puede evitar la aparición de la oxidación de ruptura. Por lo tanto, el tubo de acero inoxidable austenítico de acuerdo con la presente invención es adecuado como tubo de acero para ser utilizado en las plantas de generación de energía que tienen una temperatura de funcionamiento de 550°C o superior, especialmente de 600°C o superior.

45 Modo para llevar a cabo la invención.

50 Con el fin de obtener un tubo de acero en el que se forme uniformemente en la superficie interior del tubo una cascarilla que tenga una excelente capacidad de protección y se mantenga durante un largo período de tiempo, es necesario formar una alta densidad de dislocación en la superficie interior del tubo de acero. Dado que la dislocación se introduce en los granos interiores, mediante el control de las condiciones de mecanizado se realiza un mecanizado fuerte. En el tubo de acero en donde se ha formado una alta densidad de dislocación en la superficie, la estructura de alta densidad de dislocación se recristaliza durante el funcionamiento de la planta de generación de energía, formando de ese modo una estructura fina, y en la superficie se forman muchas trayectorias de difusión en el contorno de los granos, garantizando de ese modo el flujo de Cr. En consecuencia, la cascarilla de óxido a base de Cr que tiene una excelente capacidad de protección se mantiene durante un largo período de tiempo.

55 Normalmente, la densidad de dislocación de la microestructura metálica después del tratamiento térmico en solución es aproximadamente $10^{12} / \text{m}^2$, mientras que la densidad de dislocación de la microestructura metálica en la parte próxima a la superficie se eleva mediante la realización de un mecanizado. El tubo de acero de la presente invención tiene una microestructura metálica en la que la densidad de dislocación media en la superficie interior, determinada

5 mediante una medición por DRX utilizando un tubo de Co, es $3,0 \times 10^{14} /m^2$ o superior. En particular, con el fin de mantener la resistencia a la oxidación por vapor de agua en un entorno de alta temperatura durante un largo período de tiempo, se prefiere que el tubo de acero tenga una microestructura metálica que tenga una densidad de dislocación media de $3,5 \times 10^{14} /m^2$ o superior, y es más preferido que el tubo de acero tenga una microestructura metálica que tenga una densidad de dislocación media de $4,0 \times 10^{14} /m^2$ o superior. Aunque una mayor densidad de dislocación media es eficaz, con el aumento en la densidad de dislocación se eleva la dureza. Si la dureza es demasiado alta, se genera el punto de inicio de una fisura y las propiedades mecánicas del material se pueden degradar. Por lo tanto, el límite superior de la densidad de dislocación media, determinada mediante una medición por DRX utilizando un tubo de Co, es $1,0 \times 10^{16} /m^2$.

10 A continuación se explica la razón por la que el tubo de acero de la presente invención se define como se ha descrito anteriormente.

En primer lugar, se explica el método para medir en la presente invención la densidad de dislocación mediante una medición por DRX utilizando un tubo de Co.

15 La medición de θ - 2θ se realiza desde la superficie de la probeta. A partir de los datos de difracción de rayos X obtenidos, se determina el ángulo y el semi-ancho de pico de difracción y el semi-ancho de la intensidad de difracción mediante la aproximación de la función de Lorentz de los planos {111}, {200}, {220} y {311}, y se calcula la densidad de dislocación a partir de la ecuación de Williams-Hall modificada y la ecuación de Warren-Averbach modificada. En la actualidad, como constantes elásticas anisotrópicas necesarias para el factor de contraste, se utilizan los valores ya conocidos ($C_{11} = 1,98$, $C_{12} = 1,25$ y $C_{44} = 1,22$) del acero de Fe-18%Cr-14%Ni, y se calcula el factor de contraste medio ($C_{h00} = 0,345$). El vector de Burgers en la actualidad es 0,249 nm de la constante de la red.

20 Para el coeficiente de absorción de masa y una densidad de $7,94 \text{ g/cm}^3$ del acero de Fe-18%Cr-9%Ni-3%Cu, se introducen los rayos X del tubo de Co en una posición a aproximadamente $11 \mu\text{m}$ como máximo desde la superficie, de modo que se puede obtener la densidad de dislocación media hasta aproximadamente $11 \mu\text{m}$ de profundidad desde la superficie.

25 Cuando en la capa exterior se realiza el mecanizado, la densidad de dislocación más alta se da en la superficie. Dado que los rayos X del tubo de Co se introducen en una posición a aproximadamente $11 \mu\text{m}$ como máximo desde la superficie del tubo de acero, como se describió anteriormente, la densidad de dislocación media determinada mediante el tubo de Co es el valor medio de las densidades de dislocación hasta $11 \mu\text{m}$ desde la superficie del tubo de acero. Dado que generalmente la densidad de dislocación disminuye de manera gradual con la profundidad, en base a la suposición de que la densidad de dislocación disminuya linealmente, si la densidad de dislocación media, determinada mediante una medición por DRX utilizando un tubo de Co, es $3,0 \times 10^{14} /m^2$ o superior, la densidad de dislocación en la región hasta una profundidad de aproximadamente $5 \mu\text{m}$ desde la superficie es $3,0 \times 10^{14} /m^2$ o superior. Si la región que tiene una alta densidad de dislocación, es decir, la capa fuertemente mecanizada se forma hasta una profundidad de aproximadamente $5 \mu\text{m}$ desde la superficie interior del tubo de acero, como se describió anteriormente, la cascarilla de óxido de Cr se forma uniformemente y se puede conseguir debidamente la resistencia a la oxidación por vapor de agua.

30 En el caso de que el entorno de utilización del tubo de acero alcance un entorno de alta temperatura que supere los 700°C , es importante mantener de manera estable la cascarilla de óxido de Cr. Con el fin de mantener de manera estable la cascarilla de óxido de Cr, es necesario que el tamaño de grano del cristal del metal base se encuentre en un intervalo adecuado para garantizar el flujo de Cr desde el metal base. Por esta razón, se prefiere que el tamaño de grano del metal base sea $50 \mu\text{m}$ o menor en promedio. Con la disminución del tamaño del grano, aumenta el número de trayectorias de difusión a través del contorno de los granos. Por lo tanto, el tamaño de grano del cristal del metal base es más preferiblemente $30 \mu\text{m}$ o menor en promedio. Sin embargo, si el tamaño de grano del cristal disminuye excesivamente, las propiedades de fluencia del tubo de acero disminuyen. Por esta razón, el tamaño de grano del cristal es preferiblemente $10 \mu\text{m}$ o mayor en promedio. Dado que el tamaño de grano del cristal del metal base es aproximadamente uniforme en la región que no está sometida al mecanizado, el tamaño de grano se debe medir en la parte central del espesor de la pared del tubo de acero. El tamaño de grano del cristal se puede medir utilizando un microscopio óptico o similar.

35 El tubo que es objeto de la presente invención es un tubo de acero austenítico resistente al calor. Dado que la cascarilla formada en la superficie interior del tubo debe consistir principalmente en óxidos de Cr, el material del tubo es un acero inoxidable austenítico que contiene 14 a 28% en masa de Cr y 6 a 30% en masa de Ni.

40 Como ejemplos de materiales del tubo que es objeto de la presente invención, se pueden citar los aceros inoxidables austeníticos tales como los SUS304, SUS309, SUS310, SUS316, SUS321 y SUS347 especificados en la norma JIS, y los aceros equivalentes a estos aceros. La composición química del tipo de acero aplicable es la que se describe a continuación. En la siguiente descripción, el símbolo "%" relativo al contenido de cada elemento indica "porcentaje en masa".

45 Un acero inoxidable austenítico que consiste, en % en masa, en C: 0,01 a 0,2%, Si: 0,1 a 2,0%, Mn: 0,1 a 3,0%, Cr: 14 a 28% y Ni: 6 a 30%, opcionalmente al menos un elemento seleccionado de al menos un grupo del primer grupo

al cuarto grupo descritos a continuación, y siendo el resto Fe e impurezas.

Primer grupo: Mo: 5% o menos, W: 10% o menos, Cu: 5% o menos y Ta: 5% o menos.

Segundo grupo: N: 0,3% o menos.

Tercer grupo: V: 1,0% o menos, Nb: 1,5% o menos y Ti: 0,5% o menos.

- 5 Cuarto grupo: Ca: 0,02% o menos, Mg: 0,02% o menos, Al: 0,3% o menos, Zr: 0,5% o menos, B: 0,02% o menos y REM: 0,1% o menos.

10 En esta descripción, las "impurezas" indican los componentes que se incorporan en mezcla a causa de diferentes factores en el procedimiento de producción, incluidas las materias primas, tales como el mineral o la chatarra, cuando se produce un acero inoxidable a escala industrial, estando permitido que los componentes existan en un intervalo tal que no ejerzan una influencia adversa sobre la presente invención.

A continuación se describen los efectos ventajosos de cada componente de los tipos de acero y las razones para limitar el contenido de cada componente.

C: 0,01 a 0,2%

15 El C (carbono) es un elemento eficaz para garantizar la resistencia mecánica y la resistencia a la fluencia. Sin embargo, si el contenido de C supera 0,2%, los carburos no disueltos permanecen en el estado de tratados en solución y, en algunos casos, el C no contribuye a la mejora de la resistencia mecánica a alta temperatura. Asimismo, el C puede ejercer una influencia adversa sobre las propiedades mecánicas, tales como la tenacidad. Por lo tanto, el contenido de C es 0,2% o menos. Desde el punto de vista del deterioro de la trabajabilidad en caliente y la tenacidad, el contenido de C es preferiblemente 0,12% o menos. Con el fin de conseguir el efecto descrito anteriormente, el contenido de C es 0,01% o más.

20 Si: 0,1 a 2,0%

El Si (silicio) es un elemento utilizado como desoxidante, y además es un elemento eficaz para mejorar la resistencia a la oxidación por vapor de agua. Sin embargo, si el contenido de Si se vuelve alto, la soldabilidad o la trabajabilidad en caliente se deterioran. Por lo tanto, el contenido de Si es 2,0% o menos, y preferiblemente es 0,8% o menos. Los efectos descritos anteriormente se vuelven notables si el contenido de Si es 0,1% o más.

Mn: 0,1 a 3,0%

30 El Mn (manganeso), como el Si, es eficaz como desoxidante. Asimismo, el Mn tiene la acción de suprimir el deterioro de la trabajabilidad en caliente provocado por el S contenido como impureza. Con el fin de conseguir el efecto desoxidante y mejorar la trabajabilidad en caliente, el contenido de Mn es 0,1% o más. Sin embargo, dado que un contenido excesivo de Mn provoca fragilidad, el límite superior del contenido de Mn es 3,0%, y preferiblemente es 2,0%.

Cr: 14 a 28%

35 El Cr (cromo) es un elemento eficaz en contribuir a la resistencia mecánica a alta temperatura, y en mejorar la resistencia a la oxidación y la resistencia a la corrosión mediante la formación en la superficie interior del tubo de acero de una cascarilla que consiste principalmente en óxidos de Cr. Con el fin de conseguir estos efectos, el contenido de Cr debe ser 14% o más. Sin embargo, si el contenido de Cr es excesivo, la tenacidad y la trabajabilidad en caliente se pueden deteriorar. Por lo tanto, el límite superior del contenido de Cr es 28%. El límite inferior preferido del contenido de Cr es 15%, y el límite más alto preferido del mismo es 26%. Asimismo, en el caso de que se mejore la resistencia a los ácidos, el límite inferior del contenido de Cr es más preferiblemente 16%.

40 Ni: 6 a 30%

El Ni (níquel) es un elemento necesario para estabilizar la estructura austenítica y mejorar la resistencia a la fluencia. Por lo tanto, el contenido de Ni debe ser 6% o más. Sin embargo, si el Ni está contenido en grandes cantidades, los efectos se saturan, y solamente aumenta el coste. Por lo tanto, el límite superior del contenido de Ni es 30%. El límite inferior preferido del mismo es 7%. El límite más alto del mismo es preferiblemente 25%, más preferiblemente 21%.

45 Primer grupo:

Mo: 5% o menos,

W: 10% o menos,

Cu: 5% o menos,

Ta: 5% o menos.

5 El Mo (molibdeno), el W (wolframio), el Cu (cobre) y el Ta (tantalio) pueden estar contenidos porque mejoran la resistencia mecánica a alta temperatura del acero. Sin embargo, si estos elementos están contenidos en grandes cantidades, la soldabilidad y la trabajabilidad se degradan. Si estos elementos están contenidos, los límites superiores del contenido de Mo, del contenido de Cu y del contenido de Ta son 5%, respectivamente, y el límite más alto del contenido de W es 10%. Los efectos descritos anteriormente se vuelven notables si el contenido de al menos un tipo cualquiera de estos elementos es 0,1% o más.

Segundo grupo:

N: 0,3% o menos.

10 El N (nitrógeno) contribuye al reforzamiento de la solución sólida del acero y tiene el efecto de reforzar el acero mediante la acción del reforzamiento de la precipitación en combinación con otros elementos. Sin embargo, si el contenido de N es excesivo, la ductilidad y la soldabilidad se pueden deteriorar. Por lo tanto, si el N está contenido, el contenido del mismo es 0,3% o menos. En el caso de que se desee conseguir los efectos descritos anteriormente, el contenido de N debe ser 0,005% o más.

Tercer grupo:

15 V: 1,0% o menos,

Nb: 1,5% o menos,

Ti: 0,5% o menos.

20 Cualquiera de los elementos V (vanadio), Nb (niobio) y Ti (titanio) es un elemento que se combina con el carbono y el nitrógeno para formar carbonitruros, contribuyendo por esa razón al reforzamiento de la precipitación, de modo que estos elementos pueden estar contenidos según sea necesario. Sin embargo, si el contenido de estos elementos es excesivo, la trabajabilidad del acero se puede degradar. Por lo tanto, el contenido de V es 1,0% o menos, el contenido de Nb es 1,5% o menos y el contenido de Ti es 0,5% o menos. En el caso en que se desee conseguir el efecto descrito anteriormente, preferiblemente el contenido de uno o más tipos seleccionados entre estos elementos es 0,01% o más.

Cuarto grupo:

25 Ca: 0,02% o menos,

Mg: 0,02% o menos,

Al: 0,3% o menos,

Zr: 0,5% o menos,

B: 0,02% o menos,

30 REM: 0,1% o menos.

35 Cualquiera de los elementos Ca (calcio), Mg (magnesio), Al (aluminio), Zr (circonio), B (boro) y REM (metales de las tierras raras, La, Ce, Y, Pr, Nd, etc.) tiene el efecto de mejorar la resistencia mecánica, la trabajabilidad y la resistencia a la oxidación por vapor de agua, de modo que estos elementos pueden estar contenidos según sea necesario. Sin embargo, si el contenido de estos elementos es excesivo, la trabajabilidad o la soldabilidad se pueden degradar. Por lo tanto, el contenido de Ca es 0,02% o menos, el contenido de Mg es 0,02% o menos, el contenido de Al es 0,3% o menos, el contenido de Zr es 0,5% o menos, el contenido de B es 0,02% o menos y el contenido de REM es 0,1% o menos, y asimismo se prefiere que el contenido total de estos elementos sea 0,8% o menos. En el caso en que se desee conseguir los efectos descritos anteriormente, preferiblemente el contenido de uno o más tipos seleccionados entre estos elementos es 0,0001% o más

40 REM es el término general de un total de 17 elementos que consiste en Sc (escandio), Y (itrio) y lantanoides, y el contenido de REM indica el contenido total de estos 17 elementos.

45 El método para producir el tubo de acero de acuerdo con la presente invención no está especialmente limitado, y se pueden emplear procedimientos de fusión, procedimientos de colada y procedimientos de fabricación de tubos habituales. Es decir, por ejemplo, un acero que tiene la composición química descrita anteriormente se funde y se moldea, siendo transformado posteriormente en un tubo elemental mediante diferentes procedimientos de laminación en caliente (procedimiento de fabricación de tubos por extrusión, procedimiento de fabricación de tubos por estirado, procedimiento de fabricación de tubos Mannesmann, etc.), y este tubo elemental se somete a un tratamiento térmico de ablandamiento según sea necesario. El tubo elemental caliente se transforma en un tubo que tiene la forma deseada mediante uno de los diferentes procedimientos de mecanizado en frío, tal como un procedimiento de laminación en frío o un procedimiento de estirado en frío, y posteriormente en la superficie interior del tubo de acero se forma una capa mecanizada. Asimismo, después de que el tubo se ha elaborado mediante mecanizado en frío para

homogeneizar los granos del cristal, en la superficie interior del tubo de acero se puede formar una capa fuertemente mecanizada después de que el tubo se haya sometido a un tratamiento térmico en solución.

5 El método para formar la capa fuertemente mecanizada en la superficie interior del tubo de acero no está especialmente limitado, en tanto que a la superficie interior del tubo de acero se le proporcionen golpes o impactos controlados. Por ejemplo, se pueden emplear procedimientos de conocimiento público, tales como el chorreado con perdigones, el chorreado con granalla, el mecanizado con chorreado, el chorreado con arena, el mecanizado con arena, el chorro de aire, el agua a presión y las ondas ultrasónicas, controlando la energía de los golpes o impactos. La formación de la capa fuertemente mecanizada se puede realizar controlando la presión del aire comprimido en el momento de la inyección, la cantidad de partículas inyectadas y la forma de la boquilla de inyección.

10 La calidad del material, la forma, el tamaño y similares de las partículas sopladas no están limitados. Como calidad del material se puede utilizar, por ejemplo, el acero, el acero colado, el acero inoxidable, el vidrio, la arena de cuarzo, la alúmina, la aleación amorfa, la circonita o similares. Asimismo, como forma se puede utilizar, por ejemplo, la forma esférica, el alambre cortado, el alambre cortado redondo, la rejilla, o similares. En cuanto al tamaño, se debe adoptar el tamaño óptimo para mejorar la energía de los golpes o impactos, ya que el tamaño influye en la energía. Las partículas se pueden proyectar utilizando aire comprimido, la fuerza centrífuga creada por un rodete, agua a alta presión, ondas ultrasónicas o similares. Cuando no se utilizan partículas, el componente fabricado a base de metal puede ser golpeado directamente con ondas ultrasónicas o similares.

20 En el caso de un mecanizado con chorreado, el mecanizado con chorreado solo necesita ser realizado seleccionando las condiciones del chorreado y la forma de la boquilla según sea adecuado, de tal modo que la superficie interior experimente un mecanizado más fuerte que antes. Las condiciones del chorreado no están especialmente limitadas, pero, por ejemplo, la velocidad de inyección de las partículas de chorreado es preferiblemente 50 m/s o superior. Asimismo, con la disminución en el tamaño de las partículas de chorreado se puede aumentar la velocidad de inyección, y la región próxima a la superficie interior puede experimentar un fuerte mecanizado. En particular, si se proyectan bajo control unas partículas que tienen un tamaño de grano de 0,5 mm o menor en promedio, se puede formar uniformemente en toda la longitud una estructura de densidad de dislocación superior en la dirección longitudinal de la superficie interior del tubo de acero.

Con la utilización de estos métodos, solo se necesita que mediante el control de diferentes condiciones se forme en la superficie interior del tubo de acero una microestructura metálica que satisfaga las condiciones descritas anteriormente.

30 Ejemplo 1

Bajo diferentes condiciones, se prepararon unos tubos de acero que tenían la composición química proporcionada en la Tabla 1, y mediante los métodos descritos a continuación se midió el tamaño de grano del cristal de los propios tubos de acero y la densidad de dislocación media, determinada mediante DRX utilizando un tubo de Co, en el lado de la superficie interior de los tubos de acero. Adicionalmente, se realizó un ensayo de oxidación por vapor de agua.

35 [Tabla 1]

Tabla 1

Acero N°	Composición química (en % en masa, resto: Fe e impurezas)						
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Nb	
1	0,09	0,4	1,5	18,3	11,4	0,9	-
2	0,08	0,2	0,8	18,6	9,0	0,5	Cu: 2,9, N: 0,1
3	0,07	0,4	1,2	25,0	20,0	0,5	N: 0,24
4	0,02	0,3	1,5	18,5	12,8	-	V: 0,3, Mo: 2,1, B: 0,002, N: 0,25
6	0,04	0,2	1,1	19,1	9,2	-	-
7	0,05	0,5	0,2	19,8	11,6	-	W: 1,5, Ca: 0,002
8	0,07	1,2	1,5	18,1	8,7	-	Ti: 0,12, Mg: 0,003, Nd: 0,021
9	0,04	0,5	0,6	18,3	9,5	-	Al: 0,05, B: 0,002, Zr: 0,02
10	0,07	0,1	1,0	20,5	25,6	-	Ta: 0,56, La: 0,008, Ce: 0,024

40 Para los aceros N° 1 a 4 y 6 a 10, se preparó en un laboratorio un lingote de 180 kg mediante fusión al vacío, y se produjo un tubo elemental (diámetro exterior: 110 mm, espesor de pared: 12 mm) mediante forjado en caliente y extrusión en caliente. Para el acero N° 1, se eliminó la cascarilla de la superficie después de la extrusión en caliente,

5 y posteriormente se realizó un tratamiento térmico en solución. Para los aceros N° 2 a 4 y 6 a 10, mediante laminación en frío se produjo un tubo de acero (diámetro exterior: 50,8 mm, espesor de pared: 8 mm), y posteriormente se realizó un tratamiento térmico en solución. Para el acero N° 2, se prepararon unos tubos de acero, que tenían cuatro tipos de tamaño de grano del cristal mediante el control de la temperatura y el tiempo del tratamiento térmico en solución. En las superficies interiores de estos tubos de acero se realizó un tratamiento de superficie bajo las condiciones que se indican en la Tabla 2 para preparar unas probetas. En el caso del mecanizado con chorreado, se reguló la profundidad de la capa fuertemente mecanizada cambiando la presión de inyección, la cuantía de la inyección, el ángulo de inyección, la forma de la boquilla y similares.

[Tabla 2]

Tabla 2

Ensayo Nº	Acero Nº	Condiciones del tratamiento térmico en solución		Tratamiento de la superficie	Condición del mecanizado con chorreado: Velocidad de inyección de las partículas (m/s)	Densidad de dislocación (m ⁻²)	Tamaño medio de granos del metal base ^{#1} (µm)	Cobertura de la oxidación anormal a 650°C ^{#2} (%)	Cobertura de la oxidación anormal a 750°C ^{#2} (%)
		Temperatura (°C)	Tiempo (min.)						
1	1	1.220	10	Chorreado con perdigones	70	4,1x10 ¹⁴	27,5	2,9	4,8
2	1	1.220	10	Chorreado con perdigones	60	3,6x10 ¹⁴	27,5	3,9	7,4
3	2	1.160	10	Chorreado con perdigones	80	4,6x10 ¹⁴	17,3	1,5	3,0
4	2	1.160	10	Chorreado con perdigones	40	2,6x10 ¹⁴ *	17,3	19,7	62,5
5	2	1.250	10	Chorreado con perdigones	100	9,1x10 ¹⁴	44,0	0,8	2,4
6	2	1.240	20	Chorreado con perdigones	80	5,6x10 ¹⁴	54,2 **	1,5	7,8
7	2	1.250	30	Chorreado con perdigones	80	4,0x10 ¹⁴	94,1 **	2,2	8,9
8	3	1.220	20	Chorreado con alúmina	50	3,1x10 ¹⁴	25,6	2,6	12,8
9	3	1.220	20	Chorreado con perdigones	100	7,5x10 ¹⁴	25,6	0,6	1,5
10	4	1.160	10	Ondas ultrasónicas	-	3,4x10 ¹⁴	20,3	5,8	13,2
11	4	1.160	10	Chorreado con perdigones	80	4,7x10 ¹⁴	20,3	0,4	2,2
13	6	1.180	5	Chorreado con perdigones	80	5,3x10 ¹⁴	23,1	0,6	1,6
14	7	1.220	10	Chorreado con perdigones	80	6,7x10 ¹⁴	18,7	1,5	1,9
15	8	1.220	10	Chorreado con perdigones	80	6,2x10 ¹⁴	17,7	1,0	1,5
16	9	1.200	10	Chorreado con perdigones	80	5,7x10 ¹⁴	22,5	0,9	1,4
17	10	1.230	8	Chorreado con perdigones	80	5,2x10 ¹⁴	24,5	0,8	1,5

* indica que las condiciones no satisfacen las definidas por la reivindicación 1 de la presente invención.

** indica que las condiciones no satisfacen las definidas por la reivindicación 2 de la presente invención.

#1 indica el tamaño de grano del cristal de la tubería de acero.

#2 indica el resultado del ensayo de oxidación por vapor de agua a cada temperatura durante 1.000 horas.

[Tamaño de grano del cristal del tubo de acero]

5 Se cortó una probeta de ensayo de una pequeña porción de cada probeta, la parte central del espesor de la pared del tubo de acero de la superficie correspondiente a la sección transversal del tubo de acero de cada probeta se observó utilizando un micrómetro óptico en cuatro campos visuales, y se midió el tamaño de grano del cristal del propio tubo de acero (metal base). En la Tabla 2 se proporciona el valor medio de los tamaños de grano del cristal medidos.

[Densidad de dislocación]

Se cortó una probeta de ensayo de una pequeña porción de cada probeta, y se realizó una medición por DRX, utilizando un tubo de Co, del lado de la superficie interior de cada probeta de ensayo. En base a la intensidad de difracción obtenida, se determinó la densidad de dislocación media. En la Tabla 2 se proporciona el valor determinado.

10 [Ensayo de oxidación por vapor de agua]

15 Se cortó de cada probeta una probeta de ensayo con forma de tira con un espesor de 2 mm, un ancho de 10 mm y una longitud de 25 mm, de modo que la superficie interior del tubo formaba parte de la superficie de la probeta de ensayo. Esta probeta de ensayo se mantuvo de forma que, al estar suspendida de un posicionador, se insertara en un horno horizontal de calentamiento de tubos, y se realizó el ensayo de oxidación en una atmósfera de vapor de agua con una cantidad de oxígeno disuelto de 100 ppb a las temperaturas de 650°C y 750°C durante 1.000 horas. La probeta de ensayo, que se sacó después de enfriarse en el horno, se incrustó en una resina y la sección transversal de la misma se cortó y se pulió a espejo. Posteriormente, la sección transversal de la cascarilla de óxido formada en la superficie interior del tubo de acero se observó bajo un microscopio óptico en toda la longitud de 8 mm de la probeta de ensayo de 10 mm de ancho, excluyendo 1 mm en cada extremo. La posición en la que el espesor de la cascarilla superaba 10 µm se definió como la de oxidación de ruptura, se determinó la suma total de las longitudes en que apareció la oxidación de ruptura y este valor dividido por la longitud de medición de 8 mm se estableció como la cobertura de la oxidación de ruptura (%). En la Tabla 2 se proporciona este valor. La probeta de ensayo con una cobertura de oxidación de ruptura del 15% o menos aprobó la inspección.

25 Con referencia a la Tabla 2, para los aceros de los ensayos N° 1 a 3, 5 a 11 y 13 a 17, dado que se cumplían las exigencias de la invención de acuerdo con la reivindicación 1, esos aceros tenían una película de oxidación de ruptura con una cobertura del 15% o menos y mostraron una propiedad de excelente resistencia a la oxidación por vapor de agua en el ensayo de oxidación por vapor de agua a ambas temperaturas de 650°C y 750°C. En estos números de ensayo, los aceros de los ensayos N° 6 y 7, en los cuales el tamaño de grano del cristal del metal base era 50 µm o mayor, lo que se encontraba fuera del intervalo definido por la invención de acuerdo con la reivindicación 2, tenían una película de oxidación de ruptura con una cobertura relativamente alta en comparación con la del ensayo N° 3 que utilizó el mismo acero N° 2 y cumplía con la exigencia de la invención de acuerdo con la reivindicación 2, aunque la cobertura estaba dentro del intervalo aceptable. Por otra parte, el acero del ensayo N° 4 en el que la densidad de dislocación era $3,0 \times 10^{14} /m^2$ o inferior, lo que se encontraba fuera del intervalo definido por la presente invención, tenía una película de oxidación de ruptura con una cobertura de más del 15%, lo cual es inaceptable.

35 **Aplicabilidad industrial**

40 De acuerdo con la presente invención, incluso en el caso de que se utilice un tubo de acero en un entorno de alta temperatura en el que la temperatura alcance aproximadamente 750°C, en la superficie del tubo de acero se puede formar uniformemente una cascarilla que tiene una excelente capacidad de protección contra la oxidación por vapor de agua y, además, al mantener establemente la cascarilla protectora, se puede evitar la aparición de la oxidación de ruptura. Por lo tanto, el tubo de acero inoxidable austenítico de acuerdo con la presente invención es adecuado como tubo de acero para ser utilizado en las plantas de generación de energía que tienen una temperatura de funcionamiento de 550°C o superior, especialmente de 600°C o superior.

REIVINDICACIONES

- 5 1.- Un tubo de acero inoxidable austenítico, que consiste, en porcentaje en masa, en 0,01 a 0,2% de C, 0,1 a 2,0% de Si, 0,1 a 3,0% de Mn, 14 a 28% de Cr y 6 a 30% de Ni, opcionalmente, en % en masa, al menos un elemento seleccionado de al menos un grupo del primer grupo al cuarto grupo descritos a continuación, y siendo el resto Fe e impurezas, en donde el tubo de acero tiene una microestructura metálica en la que la densidad de dislocación media, que se determina mediante medición por DRX utilizando un tubo de Co, es $3,0 \times 10^{14} /m^2$ a $1,0 \times 10^{16} /m^2$ en la región hasta una profundidad de aproximadamente 5 μm desde la superficie del tubo de acero:
- Primer grupo: Mo: 5% o menos, W: 10% o menos, Cu: 5% o menos y Ta: 5% o menos.
- Segundo grupo: N: 0,3% o menos.
- 10 Tercer grupo: V: 1,0% o menos, Nb: 1,5% o menos y Ti: 0,5% o menos.
- Cuarto grupo: Ca: 0,02% o menos, Mg: 0,02% o menos, Al: 0,3% o menos, Zr: 0,5% o menos, B: 0,02% o menos y REM: 0,1% o menos.
- 2.- El tubo de acero inoxidable austenítico de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el tamaño de grano del tubo de acero es 50 μm o menor.
- 15 3.- El tubo de acero inoxidable austenítico de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que contiene al menos uno de los siguientes:
- 0,1% o más de al menos uno de los elementos del primer grupo;
- 0,005% o más de N;
- 0,01% o más de uno o más de los elementos del tercer grupo; y
- 20 0,0001% o más de uno o más de los elementos del cuarto grupo.
- 4.- El tubo de acero inoxidable austenítico de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde la densidad de dislocación se obtiene dando golpes o impactos controlados a la superficie interior del tubo de acero inoxidable austenítico mediante el empleo de al menos uno de chorreado con perdigones, chorreado con granalla, mecanizado con chorreado, chorreado con arena, mecanizado con arena, chorro de aire, agua a presión y ondas ultrasónicas.
- 25 5.- El uso del tubo de acero inoxidable austenítico de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes como componente de una planta de generación de energía.
- 6.- El uso del tubo de acero inoxidable austenítico de acuerdo con la reivindicación 5, en donde la planta de generación de energía tiene una temperatura de funcionamiento de 550°C o superior.
- 30 7.- El uso del tubo de acero inoxidable austenítico de acuerdo con la reivindicación 5 ó 6 en un entorno de alta temperatura en el que la temperatura alcanza aproximadamente 750°C.