



República Federativa do Brasil
Ministério da Economia
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(21) PI 1014949-0 A2



(22) Data do Depósito: 17/05/2010

(43) Data da Publicação Nacional: 25/11/2010

(54) Título: AÇO INOXIDÁVEL PARA POÇO DE PETRÓLEO, TUBO DE AÇO INOXIDÁVEL PARA POÇO DE PETRÓLEO, E MÉTODO DE FABRICAÇÃO DE AÇO INOXIDÁVEL PARA POÇO DE PETRÓLEO.

(51) Int. Cl.: C22C 38/44; C22C 38/50; C21D 8/02; C21D 8/10; C21D 9/08.

(30) Prioridade Unionista: 18/05/2009 JP 2009-119990.

(71) Depositante(es): SUMITOMO METAL INDUSTRIES, LTD.

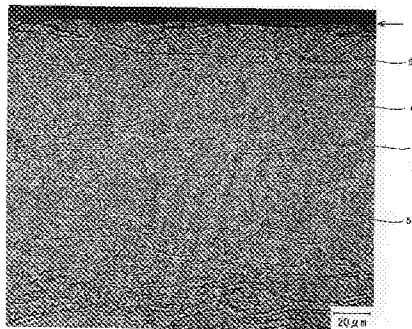
(72) Inventor(es): HIDEKI TAKABE; HISASHI AMAYA; KUNIO KONDO; TARO OHE; YOHEI OTOME.

(86) Pedido PCT: PCT JP2010058304 de 17/05/2010

(87) Publicação PCT: WO 2010/134498 de 25/11/2010

(85) Data da Fase Nacional: 20/10/2011

(57) Resumo: AÇO INOXIDÁVEL PARA POÇO DE PETRÓLEO, TUBO DE AÇO INOXIDÁVEL PARA POÇO DE PETRÓLEO, E MÉTODO DE FABRICAÇÃO DE AÇO INOXIDÁVEL PARA POÇO DE PETRÓLEO Trata-se de composição química de um aço inoxidável de acordo com a presente invenção que consiste em C: não mais do que 0,05%, Si: não mais do que 0,5%, Mn: 0,01 a 0,5%, P: não mais do que 0,04%, S: não mais do que 0,01 %, Cr: mais do que 16,0 e não mais do que 18,0%, Ni: mais do que 4,0 e não mais do que 5,6%, Mo: 1,6 a 4,0%, Cu: 1,5 a 3,0%, Al: 0,001 a 0,10%, e N: não mais do que 0,050%, sendo o equilíbrio Fe e impur~zas, e satisfaz as fórmulas (1) e (2). Além disso, a micro-estrutura do mesmo contém uma fase martensítica e uma fase ferrítica que tem uma razão de volume de 1 O a 40%, e a razão de distribuição da fase ferrítica é mais alta do que 85%. $Cr + Cu + Ni + Mo \sim 25,5 (1) - 8 s 30(C + N) + 0,5Mn + Ni + Cu / 2 + 8,2 - 1,1(Cr + Mo) s - 4 (2)$



“AÇO INOXIDÁVEL PARA POÇO DE PETRÓLEO, TUBO DE AÇO INOXIDÁVEL PARA POÇO DE PETRÓLEO, E MÉTODO DE FABRICAÇÃO DE AÇO INOXIDÁVEL PARA POÇO DE PETRÓLEO”.

Campo técnico

5 A presente invenção trata de um aço inoxidável para poço de petróleo e um tubo de aço inoxidável para poço de petróleo. Mais particularmente, a presente invenção trata de um aço inoxidável para poço de petróleo e um tubo de aço inoxidável para poço de petróleo, que são usados em um ambiente de poço de petróleo e de poço de gás de alta temperatura (doravante, referido como "um ambiente de alta temperatura").

Antecedentes da técnica

Recentemente, o desenvolvimento de poços de petróleo e poços de gás em camadas profundas tem avançado. (doravante, um poço de petróleo e um poço de gás são coletivamente referidos simplesmente como "um poço de petróleo". Também no presente documento, "um aço inoxidável para poço de petróleo" inclui um aço inoxidável para poço de petróleo e um aço inoxidável para poço de gás, e "um tubo de aço inoxidável para poço de petróleo" inclui um tubo de aço inoxidável para poço de petróleo e um tubo de aço inoxidável para poço de gás.) Um poço de petróleo profundo tem um ambiente de alta temperatura. "Um ambiente de alta temperatura" contém gás de dióxido de carbono ou gás de dióxido de carbono e gás de sulfeto de hidrogênio, que são gases corrosivos. O termo "uma alta temperatura" conforme usado no presente documento representa uma temperatura não menor do que 150 graus Celsius. O tubo de poço de petróleo usado em um ambiente de alta temperatura de poço de petróleo profundo é necessário para atender os três requisitos conforme abaixo.

(1) Alta força. Especificamente, o desvio de limite elástico de 0,2% é 758 MPa ou mais alto (110 de classe de ksi ou mais alto). Para o poço de petróleo profundo, já que o poço tem uma profundidade de poço grande, o comprimento e peso do tubo de aço usado aumentam. Portanto, a alta força é necessária.

(2) Excelente força à corrosão. Especificamente, a taxa de corrosão

em um ambiente de alta temperatura é menor do que $0,1 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{hr})$. Além disso, o tubo de poço de petróleo é menos sujeito a rachadura mesmo quando o tubo é tensionado. Isto é, o tubo de poço de petróleo tem excelente resistência a rachaduras de corrosão por tensão. Doravante, "rachadura de corrosão por tensão" é também abreviada como SCC. Quando é feita referência a "excelente resistência à corrosão em ambiente de alta temperatura" no presente documento, significa que a taxa de corrosão é baixa, e a resistência SCC é excelente.

(3) Excelente força de rachadura de corrosão por tensão de sulfeto em temperatura normal. No caso em que o tubo de aço inoxidável para poço de petróleo é usado para um poço de produção, um fluido (petróleo ou gás) produzido a partir do poço de petróleo em ambiente de alta temperatura flui no tubo de aço inoxidável. Quando a produção de fluido a partir do poço de petróleo para por alguma razão, a temperatura do fluido no tubo de aço inoxidável próxima à superfície da Terra diminui para a temperatura normal. Neste momento, rachadura de corrosão por tensão de sulfeto (doravante, também abreviado como SSC) pode ocorrer no tubo de aço inoxidável, isto é, em contato com o fluido em temperatura normal. Portanto, o tubo de aço inoxidável para poço de petróleo é necessário para ter não somente resistência SCC em altas temperaturas, mas também resistência SSC em temperatura normal.

O documento de patente n^{os} JP2005-336595A (doravante, referido como Documento de patente 1), JP2006-16637A (doravante, referido como Documento de patente 2), e JP2007-332442A (doravante, referido como Documento de patente 3) tem proposto aços inoxidáveis para o uso em ambiente de altas temperaturas. Ao aprimorar a força à corrosão em ambientes de alta temperatura, cromo (Cr) é eficaz. Portanto, os aços inoxidáveis apresentados nos Documentos de patente 1 a 3 contém muito Cr.

O tubo de aço inoxidável apresentado em Documento de patente 1 contém 15,5 a 18% de Cr, sendo este teor de Cr mais alto do que aquele de aço inoxidável martensítico convencional (o teor de Cr é 13%). Além disso, a composição química do tubo de aço inoxidável satisfaz a fórmula de $\text{Cr} + \text{Mo} +$

0,3Si – 43,5C – 0,4Mn - Ni – 0,3Cu - 9N \geq 11,5. Como a composição química satisfaz esta fórmula, a micro-estrutura consiste em uma micro-estrutura de duas fases de fase ferrítica e fase martensítica. Como resultado, a elaboração a quente é aprimorada. Além disso, a composição química do tubo de aço inoxidável contém Ni e Mo como elementos essenciais e contém Cu como um elemento seletivo. Portanto, a força à corrosão de tubo de aço inoxidável é aprimorada.

O tubo de aço inoxidável apresentado em Documento de patente 2 contém 15,5 a 18,5% de Cr. Além disso, o aço inoxidável apresentado em Documento de patente 2 contém Ni, o que aprimora a força à corrosão, como um elemento essencial. No tubo de aço inoxidável apresentado em Documento de patente 2, Mo e Cu são elementos seletivos.

O tubo de aço inoxidável apresentado em Documento de patente 3 contém 14 a 18% de Cr. O tubo de aço inoxidável apresentado em Documento de patente 3, além disso, contém Ni, Mo e Cu. Portanto, o tubo de aço inoxidável é resistente à corrosão. Além disso, a micro-estrutura do tubo de aço inoxidável apresentada em Documento de patente 3 contém a fase martensítica e uma fase austenítica que tem uma razão de volume de 3 a 15%. Portanto, o tubo de aço inoxidável é resistente.

Conforme descrito acima, os aços inoxidáveis apresentados em Documentos de patente 1 a 3 contêm mais do que 13% de Cr. Além disso, estes aços inoxidáveis contêm elementos de liga metálica de Ni, Mo, Cu, etc. como um elemento essencial ou um elemento seletivo. Portanto, a taxa de corrosão em ambiente de altas temperaturas diminui. Por exemplo, no exemplo de trabalho de Documento de patente 1, uma diminuição na taxa de corrosão em ambiente de altas temperaturas tem sido provado (referência a Tabela 2 no Documento de patente 1).

Descrição da Invenção

Infelizmente, nos tubos de aço inoxidáveis apresentados em Documentos de patente 1 a 3, o craqueamento pode ocorrer quando uma tensão é aplicada em um ambiente de alta temperatura. Isto é, a rachadura de corrosão por

tensão pode ocorrer em um ambiente de alta temperatura. Portanto, os aços inoxidáveis apresentados em Documentos de patente 1 a 3 podem não atender os requisitos descritos acima (1) a (3).

Conseqüentemente, um objetivo da presente invenção é fornecer um aço inoxidável para poço de petróleo que tem as seguintes propriedades:

- alta força, especificamente, um desvio de limite elástico de 0,2% não menor do que 758 MPa;
- excelente força à corrosão em ambiente de altas temperaturas; e
- excelente resistência SSC em temperatura normal.

Os inventores conduziram estudos e descobriram que o aço inoxidável que atende aos itens (A) a (C) abaixo podem satisfazer os requisitos descritos acima (1) a (3).

(A) O teor de Cr é mais alto do que 16,0% por porcentagem em massa. Além disso, Cr, Ni, Cu e Mo são contidos de maneira a satisfazer a seguinte fórmula:

$$\text{Cr} + \text{Cu} + \text{Ni} + \text{Mo} \geq 25,5 \quad (1)$$

em que o teor (% em massa) de elemento é substituído pelo símbolo correspondente de elemento na fórmula.

Se o teor de Cr é aumentado, e a fórmula (1) é satisfeita, um filme de passivação é formado na superfície de aço em ambiente de altas temperaturas. Portanto, a força à corrosão é aprimorada. Mais especificamente, a taxa de corrosão em ambiente de altas temperaturas é decaída, e a resistência SCC é aprimorada.

(B) A micro-estrutura contém uma fase martensítica e uma fase ferrítica que tem uma razão de volume de 10 a 40%. Além disso, a razão de distribuição da fase ferrítica deve ser mais alta do que 85%. A razão de distribuição da fase ferrítica é explicada abaixo.

A figura 1 é uma fotografia de uma seção transversal próxima à superfície de um aço inoxidável de acordo com a presente invenção. Referindo-se a figura 1, uma pluralidade de fases ferríticas 5 estendem-se ao longo de uma

superfície 1 do aço inoxidável. Quase todas as porções além das de fases ferríticas 5 na seção transversal são uma fase martensítica 6.

A razão de distribuição da fase ferrítica é uma mensuração que indica a maneira de fases ferríticas distribuídas em uma porção próxima à superfície. A 5 razão de distribuição da fase ferrítica é definida conforme descrito abaixo. Conforme mostrado na figura 2, uma escala 10 que tem um comprimento de 200 μm é preparada. Na escala 10, uma pluralidade de segmentos de linhas imaginárias 20 em que cada uma tem um comprimento de 50 μm são dispostas em uma coluna em intervalos de 10 μm por uma variação de 200 μm na direção 10 longitudinal da escala 10. A escala 10 é posta de forma que o lado superior da escala 10 coincida com a superfície 1 do aço inoxidável mostrado na figura 1. A figura 3 mostra uma fotografia na qual a escala 10 é aplicada. Cada um dos segmentos de linhas imaginárias 20 tem um comprimento de 50 μm na direção da espessura do aço inoxidável a partir da superfície 1. A pluralidade de segmentos 15 de linhas imaginárias 20 é disposta em uma coluna em intervalos de 10 μm por uma variação de 200 μm ao longo da superfície do aço inoxidável. Quando a escala 10 é posta na seção transversal do aço inoxidável conforme mostrado na figura 3, a razão de distribuição da fase ferrítica (%) é definida através da seguinte fórmula (a):

20 Razão de distribuição da fase ferrítica = número de fases ferríticas cruzando segmentos de linhas imaginárias / número total de segmentos de linhas imaginárias $\times 100$ (a)

Em resumo, a razão do número de fases ferríticas cruzando segmentos de linhas imaginárias para o número total de segmentos de linhas 25 imaginárias é definida como a razão de distribuição da fase ferrítica (%). Conforme descrito acima, a razão de distribuição da fase ferrítica é mais alta do que 85%. Se a razão de distribuição da fase ferrítica é mais alta do que 85%, a resistência SCC em ambiente de altas temperaturas é aprimorada. A figura 4 é uma fotografia de uma seção transversal de um aço inoxidável que tem a razão de distribuição da 30 fase ferrítica de 71,4%. Conforme mostrado na figura 4, a rachadura 7 produzida

na superfície 1 é propagada na direção da espessura do aço inoxidável. Quando a borda frontal da rachadura 7 alcança a fase ferrítica 5, a propagação da rachadura 7 para. Isto é, a fase ferrítica 5 inibe a propagação de rachadura. Na figura 4, como a razão de distribuição da fase ferrítica não é mais alta do que 85%, as fases 5 ferríticas 5 não são distribuídas amplamente na porção próxima à superfície (isto é, uma variação de profundidade de 50 μm a partir da superfície). Portanto, a rachadura 7 é propagada a uma certa profundidade.

Em contrapartida, a razão de distribuição da fase ferrítica do aço inoxidável mostrada na figura 1 é mais alta do que 85%. Isto é, as fases ferríticas 5 são distribuídas amplamente na porção próxima à superfície. Portanto, quando a rachadura é produzida na superfície 1, a rachadura alcança a fase ferrítica em uma posição rasa a partir da superfície 1, e a propagação da mesma para. Portanto, a resistência SCC em ambiente de altas temperaturas é aprimorada.

(C) Cobre (Cu) é contido em grandes quantidades como um elemento essencial. Especificamente, o teor de Cu deve ser de 1,5 a 3,0% por porcentagem em massa. Em um ambiente de alta temperatura, Cu restringe a propagação de rachaduras. Portanto, a resistência SCC em ambiente de altas temperaturas é aprimorada. O mecanismo do mesmo é assumido conforme descrito abaixo. Se o teor de Cu é de 1,5 a 3,0%, um filme de passivação é propenso a formar na superfície da rachadura que para de propagar na fase ferrítica. Portanto, novas rachaduras de corrosão por tensão podem ser restringidas de ocorrerem a partir de uma superfície de rachadura.

Com base no conhecimento descrito acima, os inventores completaram uma invenção descrita abaixo.

O aço inoxidável para poço de petróleo de acordo com a presente invenção tem uma micro-estrutura e composição química descrita abaixo, e tem um desvio de limite elástico de 0,2% não menor do que 758 MPa. A composição química do mesmo consiste em, por porcentagem em massa, C: 0,05% ou menos, Si: 0,5% ou menos, Mn: 0,01 a 0,5%, P: 0,04% ou menos, S: 0,01% ou menos, Cr: mais do que 16,0 e não mais do que 18,0%, Ni: mais do que 4,0 e não mais do que

5,6%, Mo: 1,6 a 4,0%, Cu: 1,5 a 3,0%, Al: 0,001 a 0,10%, e N: 0,050% ou menos, sendo o equilíbrio Fe e impurezas, e satisfaz as fórmulas (1) e (2). A micro-estrutura do mesmo contém uma fase martensítica e uma fase ferrítica que tem uma razão de volume de 10 a 40%. Quando uma pluralidade de segmentos de linhas imaginárias, em que cada uma tem um comprimento de 50 µm na direção da espessura a partir da superfície do aço inoxidável e são dispostas em uma coluna em intervalos de 10 µm por uma variação de 200 µm, são postas na seção transversal do aço inoxidável, a razão do número de fases ferríticas cruzando segmentos de linhas imaginárias para o número total de segmentos de linhas imaginárias é mais alto do que 85%.

$$\text{Cr} + \text{Cu} + \text{Ni} + \text{Mo} \geq 25,5 \quad (1)$$

$$-8 \leq 30(\text{C} + \text{N}) + 0,5\text{Mn} + \text{Ni} + \text{Cu} / 2 + 8,2 - 1,1(\text{Cr} + \text{Mo}) \leq -4$$

(2)

onde o teor (% em massa) de elemento é substituído pelo símbolo de elemento nas fórmulas (1) e (2).

O desvio de limite elástico de 0,2% é definido conforme descrito abaixo. Em um gráfico de curva de tensão-alongamento na qual as ordenadas representam a tensão e as abscissas representam alongamento, sendo que a tensão corresponde à interseção da curva de tensão-alongamento e uma linha reta imaginária em paralelo com uma porção de linha reta (zona elástica) da curva é referida como um desvio de limite elástico. A distância entre o ponto de partida da curva de tensão-alongamento e o ponto no qual a linha reta imaginária a linha reta imaginária intersecciona com a abscissa é referida como uma quantidade de desvio. Um desvio de limite elástico que tem uma quantidade de desvio de 0,2% é referido como um desvio de limite elástico de 0,2%.

Preferencialmente, a composição química previamente mencionada contém, no lugar de uma certa quantidade de Fe, um ou mais tipos selecionados a partir do grupo que consiste em V: 0,25% ou menos, Nb: 0,25% ou menos, Ti: 0,25% ou menos, e Zr: 0,25% ou menos

Preferencialmente, a composição química descrita acima contém, no

lugar de certa quantidade de Fe, um ou mais tipos selecionados a partir do grupo que consiste em Ca: 0,005% ou menos, Mg: 0,005% ou menos, La: 0,005% ou menos, e Ce: 0,005% ou menos

5 Preferencialmente, a micro-estrutura previamente mencionada contém uma fase austenítica retida que tem uma razão de volume de não mais do que 10%.

Um tubo de aço inoxidável para poço de petróleo de acordo com a presente invenção é fabricado através do uso do aço inoxidável descrito acima.

10 Um método de fabricação de um aço inoxidável para poço de petróleo de acordo com a presente invenção inclui as seguintes etapas de S1 a S4:

(S1) Uma etapa para aquecer um estoque de aço que tem uma composição química que consiste em, por porcentagem em massa, C: 0,05% ou menos, Si: 0,5% ou menos, Mn: 0,01 a 0,5%, P: 0,04% ou menos, S: 0,01% ou menos, Cr: mais do que 16,0 e não mais do que 18,0%, Ni: mais do que 4,0 e não
15 mais do que 5,6%, Mo: 1,6 a 4,0%, Cu: 1,5 a 3,0%, Al: 0,001 a 0,10%, e N: 0,050% ou menos, sendo o equilíbrio Fe e impurezas, e satisfazendo as fórmulas (1) e (2).

(S2) Uma etapa de elaboração a quente do estoque de aço de forma que a redução de área do estoque de aço em uma temperatura de estoque de aço de 850 a 1.250°C não é menos do que 50%.

20 (S3) Uma etapa de aquecimento do estoque de aço para uma temperatura não menor do que o ponto de transformação Ac3 e arrefecimento do mesmo após a elaboração a quente.

25 (S4) Uma etapa de revenimento do estoque de aço em uma temperatura não mais alta do que o ponto de transformação Ac1 após o arrefecimento.

A redução de área (%) é definida através da seguinte fórmula (3):

Redução de área = $(1 - \text{área de seção transversal de estoque de aço perpendicular à direção longitudinal do estoque de aço após a elaboração a quente} / \text{área de seção transversal de estoque de aço perpendicular à direção longitudinal do estoque de aço antes da elaboração a quente}) \times 100$ (3)

30

Através das etapas descritas acima, um aço inoxidável para poço de petróleo, que tem a composição química, micro-estrutura, e limite elástico descritos acima, é fabricado.

Breve Descrição dos Desenhos

5 A figura 1 é uma fotografia de uma seção transversal de um aço inoxidável para poço de petróleo de acordo com a presente invenção;

A figura 2 é uma vista que mostra uma escala para mensurar a razão de distribuição da fase ferrítica;

10 A figura 3 é uma vista para explicar um método para mensurar a razão de distribuição da fase ferrítica através do uso da escala mostrada na figura 2; e

A figura 4 é uma fotografia de uma seção transversal de um aço inoxidável que tem a razão de distribuição da fase ferrítica de 85% ou menor.

Melhor Modo para Executar a Invenção

15 Uma modalidade da presente invenção será agora descrita em detalhes.

1. Composição química

20 O aço inoxidável para poço de petróleo de acordo com a presente invenção tem uma composição química descrita abaixo. Doravante, a porcentagem em relação ao elemento significa porcentagem em massa.

C: 0,05% ou menos

25 Carbono (C) aprimora a força do aço. Entretanto, se o teor de C é muito alto, a dureza após revenimento torna-se excessivamente alta, e a resistência SSC é deteriorada. Além disso, em uma composição química da presente invenção, conforme o teor de C aumenta, o ponto Ms diminui. Portanto, conforme o teor de C aumenta, a austenita retida é propensa a aumentar, e o desvio de limite elástico de 0,2% é propenso a diminuir. Portanto, o teor de C deve ser 0,05% ou menos O teor de C preferencial é 0,03% ou menos O menor limite de teor de C não é sujeito a qualquer restrição em especial. Entretanto, considerando-

30 se os custos de descarburização no processo de fabricação de aço, o teor de C

preferencial é 0,003% ou mais, além disso preferencialmente 0,007% ou mais.

Si: 0,5% ou menos

Silício (Si) desoxigena o aço. Se o teor de Si é muito alto, a robustez e elaboração a quente de aço são deterioradas. Portanto, o teor de Si deve ser

5 0,5% ou menos

Mn: 0,01 a 0,5%

Manganês (Mn) desoxigena e dessulfuriza o aço, e aprimora a elaboração a quente. Se o teor de Mn é muito baixo, os efeitos descritos acima não podem ser alcançados. Se o teor de Mn é muito alto, a força à corrosão em

10 ambiente de altas temperaturas é deteriorada. Portanto, o teor de Mn deve ser de 0,01 a 0,5%. O teor de Mn preferencial é 0,05% ou mais e menos do que 0,2%.

P: 0,04% ou menos

Fósforo (P) é uma impureza. O fósforo deteriora a resistência SSC. Portanto, o teor de P deve ser 0,04% ou menos O teor de P preferencial não é

15 mais do que 0,025%.

S: 0,01% ou menos

Enxofre (S) é uma impureza. Enxofre deteriora a elaboração a quente. Portanto, o teor de S deve ser 0,01% ou menos O teor de S preferencial não é mais do que 0,005%, além disso preferencialmente não mais do que

20 0,002%.

Cr: mais do que 16,0 e não mais do que 18,0%

Cromo (Cr) aprimora a força à corrosão em ambiente de altas temperaturas. Especificamente, Cr diminui a taxa de corrosão em ambiente de altas temperaturas e aprimora a resistência SCC. Se o teor de Cr é muito baixo, os

25 efeitos descritos acima não podem ser alcançados. Se o teor de Cr é muito alto, a fase ferrítica no aço aumenta, e a força do aço é deteriorada. Portanto, o teor de Cr deve ser mais do que 16,0% e não mais do que 18,0%. O teor de Cr preferencial é de 16,3 a 18,0%.

Ni: mais do que 4,0 e não mais do que 5,6%

Níquel (Ni) aprimora a força do aço. Além disso, Ni aprimora a força à

30

corrosão em ambiente de altas temperaturas. Se o teor de Ni é muito baixo, os efeitos descritos acima não podem ser alcançados. Entretanto, se o teor de Ni é muito alto, a quantidade de austenita retida produzida é propensa a aumentar. Com isso, é difícil de obter um desvio de limite elástico de 0,2% de 758 MPa ou
5 mais alto. Portanto, o teor de Ni deve ser mais do que 4,0% e não mais do que 5,6%. O teor de Ni preferencial é de 4,2 a 5,4%.

Mo: 1,6 a 4,0%

Molibdênio (Mo) aprimora a resistência SSC. Se o teor de Mo é muito baixo, os efeitos descritos acima não podem ser alcançados. Por outro lado,
10 mesmo se Mo é contido excessivamente, os efeitos descritos acima saturam. Portanto, o teor de Mo deve ser de 1,6 a 4,0%. O teor de Mo preferencial é de 1,8 a 3,3%.

Cu: 1,5 a 3,0%

Cobre (Cu) aprimora a força do aço através de endurecimento por precipitação. Além disso, conforme descrito acima, Cu aprimora a resistência SCC em ambiente de altas temperaturas. Ainda além disso, Cu diminui a taxa de corrosão. Se o teor de Cu é muito baixo, os efeitos descritos acima não podem ser alcançados. Se o teor de Cu é muito alto, a elaboração a quente é deteriorada. Portanto, o teor de Cu deve ser 1,5 a 3,0%. O teor de Cu preferencial é de 2,0 a
20 3,0%, além disso, preferencialmente de 2,3 a 2,8%.

Al: 0,001 a 0,10%

Alumínio (Al) desoxigena aço. Se o teor de Al é muito baixo, os efeitos descritos acima não podem ser alcançados. Se o teor de Al é muito alto, as inclusões no aço aumentam, de forma que a força à corrosão é deteriorada.
25 Portanto, o teor de Al deve ser de 0,001 a 0,10%.

N: 0,050% ou menos

Nitrogênio (N) aprimora a força do aço. Entretanto, se o teor de N é muito alto, as inclusões no aço aumentam, de forma que a força à corrosão é deteriorada. Portanto, o teor de N deve ser 0,050% ou menos O teor de N preferencial é de 0,026% ou menos O menor valor limite de teor de N preferencial
30

é 0,002%.

A composição química do aço inoxidável de acordo com a presente invenção ainda satisfaz a fórmula (1):

$$\text{Cr} + \text{Cu} + \text{Ni} + \text{Mo} \geq 25,5 \quad (1)$$

5 onde o teor de elemento é substituído pelo símbolo correspondente de elemento na fórmula (1).

Se os teores de Cr, Cu, Ni e Mo no aço satisfazem a fórmula (1), em ambiente de altas temperaturas, um filme de passivação é formado na superfície do aço inoxidável. Portanto, a taxa de corrosão em ambiente de altas temperaturas diminui. Além disso, a resistência SCC é aprimorada em ambiente de altas
10 temperaturas.

2. Micro-estrutura

O aço inoxidável de acordo com a presente invenção tem uma micro-estrutura que contém uma fase ferrítica que tem uma razão de volume de 10 a
15 40%. A porção de micro-estrutura remanescente que não a da fase ferrítica é principalmente uma fase martensítica, adicionalmente inclui uma fase austenítica retida. Se a quantidade de fase austenítica retida aumenta excessivamente, é difícil de obter alta força. Portanto, a razão de volume preferencial de fase austenítica retida no aço é 10% ou menos

20 A razão de volume da fase ferrítica é determinado através do método descrito abaixo. Uma amostra pode ser tomada a partir de qualquer locação no aço inoxidável. A superfície de amostra corresponde à seção transversal do aço inoxidável é moída. Após ser moída, a superfície de amostra moída é cauterizada através do uso de uma solução na qual glicerina é misturada com água régia. Com
25 o uso de um microscópio óptico (ampliação de observação $\times 100$), a razão de área de fase ferrítica na superfície cauterizada é mensurada através do método de contagem de pontos, em conformidade com JISG0555. A razão de área mensurada é definida como uma razão de volume de fase ferrítica.

30 A razão de volume da fase austenítica retida é determinada pelo método de difração por raios-X. Uma amostra pode ser tomada a partir de qualquer

locação no aço inoxidável. O tamanho da amostra é de 15 mm × 15 mm × 2 mm. Ao usar esta amostra, a intensidade de raios-X é mensurada na (200) fase (ferrita) de plano de α , a (211) fase de plano de α , e o (200) plano, o (220) plano, e a (311) fase (austenita retida) de plano de β . Então, a intensidade integrada em cada

5 plano é calculada. Após o cálculo, a razão de volume $V_{\gamma}(\%)$ é calculada para cada uma das combinações dos planos de fase α e os planos de fase β (um total de seis combinações) através do uso da fórmula (4). O valor médio da razão de volumes V_{γ} das seis combinações é definida como a razão de volume (%) de austenita retida.

10
$$V_{\gamma} = 100 / (1 + (I_{\alpha} \cdot R_{\gamma}) / (I_{\gamma} \cdot R_{\alpha})) \quad (4)$$

onde I_{α} é a intensidade integrada de fase α , R_{α} é o valor de cálculo teórico cristalográfico de fase α , I_{γ} é a intensidade integrada de fase β , e R_{γ} é o valor de cálculo teórico cristalográfico de fase β .

Se a razão de volume de fase ferrítica é de 10 a 40%, um desvio de

15 limite elástico de 0,2% de 758 MPa ou mais alto pode ser obtido. Além disso, a fase ferrítica inibe a propagação de craqueamento. Portanto, a resistência SCC em ambiente de altas temperaturas é aprimorada.

A micro-estrutura do aço inoxidável cuja composição química satisfaz a fórmula (2) e que é fabricada através do método de fabricação descrito mais à

20 frente pode ter uma configuração que contém de 10 a 40% de fase ferrítica.

$$-8 \leq 30(C + N) + 0,5Mn + Ni + Cu / 2 + 8,2 - 1,1(Cr + Mo) \leq -4$$

(2)

onde o teor de elemento é substituído pelo símbolo correspondente de elemento na fórmula (2).

25 Definiu-se que $X = 30(C + N) + 0,5Mn + Ni + Cu / 2 + 8,2 - 1,1(Cr + Mo)$. Se X é menor do que -8, a razão de volume de fase ferrítica excede 40%. Se a razão de volume de fase ferrítica excede 40%, o craqueamento é propenso a ocorrer em ambiente de altas temperaturas. A razão para tal fato é incerta; entretanto, a razão pode ser assumida conforme descrito abaixo. A distribuição de

30 concentração de Cr ocorre entre a fase ferrítica e a fase martensítica.

Especificamente, o teor de Cr na fase ferrítica é mais alto do que o teor de Cr na fase martensítica. Cromo é acreditado como sendo eficaz na prevenção da propagação de craqueamento em ambiente de altas temperaturas. Entretanto, quando a razão de volume de fase ferrítica aumenta e excede 40%, o teor de Cr na fase ferrítica diminui abaixo o teor, isto é, na eficácia na prevenção a propagação de craqueamento em ambiente de altas temperaturas. Portanto, acredita-se que o craqueamento seja propenso a ocorrer.

Por outro lado, se X é mais do que -4, a razão de volume de fase ferrítica é menos do que 10%. Se a fase ferrítica é muito pequena, a propagação de craqueamento não pode ser restringida. A variação preferencial de X é -7,7 a -4,3.

Conforme descrito acima, a razão de distribuição da fase ferrítica é mais alta do que 85%. A figura 1 mostra um exemplo da seção transversal do aço inoxidável de acordo com a presente invenção. A espessura da fase ferrítica próxima à superfície 1 é, na maioria das vezes, cerca de 0,5 a 1 μm . O comprimento da fase ferrítica é, na maioria das vezes, cerca de 50 a 200 μm . Na figura 1, como a razão de distribuição da fase ferrítica é mais alta do que 85%, as fases ferríticas são distribuídas por toda a área sob a superfície 1. Por esta razão, o craqueamento que ocorre na superfície 1 alcança a fase ferrítica em uma posição rasa a partir da superfície 1, e a propagação do mesmo é inibida. Portanto, a resistência SCC é aprimorada.

Se a razão de distribuição da fase ferrítica é 85% ou menor do que a composição química descrita acima, a fórmula (1), e a fórmula (2) estão dentro da variação de acordo com a presente invenção, a razão de distribuição da fase ferrítica é 85% ou menor. Na figura 4 na qual a razão de distribuição da fase ferrítica é 85% ou menor, o comprimento da fase ferrítica na direção em paralelo com a superfície 1 é mais curto do que o comprimento da fase ferrítica na figura 1. as fases ferríticas na figura 4 não são distribuídas tão amplamente como na figura 1. Portanto, à distância na qual a rachadura 7 alcança a fase ferrítica é maior do que aquela na figura 1. Como resultado, a rachadura de corrosão por

tensão é propensa a ocorrer.

3. Elementos seletivos

A composição química do aço inoxidável para poço de petróleo de acordo com a presente invenção pode, além disso, conter, no lugar de uma certa quantidade de Fe, um ou mais tipos selecionados a partir do grupo que consiste em uma pluralidade de elementos descrita abaixo.

V: 0,25% ou menos

Nb: 0,25% ou menos

Ti: 0,25% ou menos

Zr: 0,25% ou menos

Todas as quantidades de vanádio (V), nióbio (Nb), titânio (Ti), e zircônio (Zr) são elementos seletivos. Estes elementos formam carburetos para aprimorar a força e robustez do aço. Entretanto, se os teores destes elementos são muito altos, os carburetos tornam-se grosseiros, de forma que a robustez é deteriorada. Além disso, a força à corrosão é deteriorada. Portanto, o teor de V deve ser 0,25% ou menos, o teor de Nb deve ser 0,25% ou menos, o teor de Ti deve ser 0,25% ou menos, e o teor de Zr deve ser 0,25% ou menos. Preferencialmente, o teor de V, Nb ou Zr é 0,005 a 0,25%, e o teor de Ti é 0,05 a 0,25%. Neste caso, os efeitos descritos acima pode ser alcançados especialmente de modo eficaz.

A composição química do aço inoxidável para poço de petróleo de acordo com a presente invenção pode, além disso, conter, no lugar de uma certa quantidade de Fe, um ou mais tipos selecionados a partir do grupo que consiste em uma pluralidade de elementos descritos abaixo.

Ca: 0,005% ou menos

Mg: 0,005% ou menos

La: 0,005% ou menos

Ce: 0,005% ou menos

Todas as quantidades de cálcio (Ca), magnésio (Mg), lantânio (La), e cério (Ce) são elementos seletivos. Estes elementos aprimoram a elaboração a

quente de aço. Entretanto, se os teores de estes elementos são muito alto, óxidos grosseiros são formados, de forma que a força à corrosão é deteriorada. Portanto, o teor de cada um de estes elementos deve ser 0,005% ou menos. Preferencialmente, o teor de Ca, o teor de Mg, o teor de La, e o teor de Ce cada 5 são de 0,0002 a 0,005%. Neste caso, os efeitos descritos acima podem ser alcançados especialmente de modo eficaz.

Mesmo se estes elementos seletivos são contidos, a micro-estrutura descrita no item 2 pode ser obtida.

4. Método de fabricação

10 Um método de fabricação do aço inoxidável para poço de petróleo de acordo com a presente invenção é descrito. Se um estoque de aço (peça fundida, tarugo, bloco e placa, etc.) que tem a composição química descrita acima e satisfazendo as fórmulas (1) e (2) é elaborado a quente com uma redução de área predeterminada, uma micro-estrutura descrita no item 2 pode ser obtida. De acordo 15 com o descrito no presente documento, o método de fabricação do tubo de aço inoxidável para poço de petróleo é descrito como um exemplo do aço inoxidável para poço de petróleo de acordo com a presente invenção.

S1: Etapa de preparação e aquecimento de estoque de aço

20 Um estoque de aço que tem a composição química descrita acima e satisfazendo as fórmulas (1) e (2) é preparado. O estoque de aço pode ser uma peça fundida fabricada pelo processo de fundição contínua de tarugo redondo. Além disso, o estoque de aço pode ser um tarugo fabricado através da elaboração a quente de um lingote fabricado através do processo de fabricação de lingote, ou pode ser um tarugo fabricado a partir da peça fundida produzida através da 25 fundição contínua de bloco. O estoque de aço preparado é carregado em uma fornalha de aquecimento ou um forno poço e é aquecido.

S2: Etapa de elaboração a quente

30 Sucessivamente, o estoque de aço aquecido é elaborado a quente para fabricar um tubo material. Por exemplo, o processo Mannesmann é implementado para elaboração a quente. Especificamente, o estoque de aço é

furado através de uma máquina perfuradora para formar um tubo material. Então, o tubo material é laminado através de um laminador sobre mandril ou um laminador calibrador. Para elaboração a quente, extrusão a quente pode ser realizada, ou forjamento pode ser desempenhado.

5 Neste momento, a elaboração a quente é desempenhada de forma que a redução de área do estoque de aço em uma temperatura de estoque de aço de 850 a 1.250°C é 50% ou mais. A redução de área (%) é definida pela fórmula (3) previamente mencionada.

10 Se a redução de área do estoque de aço em uma temperatura de estoque de aço de 850 a 1.250°C é 50% ou mais, a micro-estrutura na qual a fase ferrítica que tem uma razão de volume de 10 a 40% é contida e a razão de distribuição da fase ferrítica que é mais alta do que 85% pode ser obtida. Por outro lado, mesmo para o estoque de aço que tem a composição química da presente invenção e satisfazendo as fórmulas (1) e (2), se a redução de área é menos do
15 que 50%, a razão de distribuição da fase ferrítica é algumas vezes 85% ou menos

O tubo material que tem sido elaborado a quente é resfriado para temperatura normal. O método de resfriamento pode ser resfriamento pelo ar ou pode ser resfriamento por água.

S3 e S4: etapa de arrefecimento e etapa de revenimento

20 Após a elaboração a quente, o tubo material é arrefecido e revenido de forma que o desvio de limite elástico de 0,2% é 758 MPa ou mais alto. A temperatura de arrefecimento preferencial é o ponto de transformação Ac3 ou mais alto. A temperatura de revenimento preferencial é o ponto de transformação Ac1 ou menor. Através das etapas descritas acima, o tubo de aço inoxidável de acordo
25 com a presente invenção é fabricado.

Método de fabricação de outros produtos de aço inoxidável

O citado acima é a descrição do método de fabricação de um tubo de aço inoxidável sem costura dado como um exemplo do método de fabricação do aço inoxidável. O método de fabricação para outros produtos de aço inoxidável
30 (por exemplo, uma placa de aço, um tubo de aço soldado por resistência elétrica, e

um tubo de aço soldado a laser) fabricado a partir do aço inoxidável é o mesmo àquele para o tubo de aço inoxidável sem costura. Por exemplo, uma placa de aço inoxidável é fabricada através da laminação de um estoque de aço através do uso de uma usina de laminação na etapa de elaboração a quente.

5

Exemplos

Um aço que tem uma composição química dada na Tabela 1 foi fundido para fabricar uma peça fundida ou um tarugo.

[Tabela 1]

Classificação	Aço	Composto químico: sendo unidade como % em massa; equilíbrio como Fe e impurezas inevitáveis													Valor de fórmula (1)	Valor de fórmula (2)
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Ni	Mo	Al	N	Outros: V, Nb, Ti, Zr, Ca, Mg, La, Ce			
Aço da invenção	A	0,2000	0,2400	0,1000	0,0170	0,0009	16,9600	2,4800	5,0300	2,5500	0,0450	0,0153	-	27,0200	-5,8800	
	B	0,0100	0,2500	0,0800	0,0170	0,0004	16,9900	2,4200	4,5300	2,5600	0,0490	0,0065	-	26,5000	-7,0300	
	C	0,0250	0,2400	0,1700	0,0180	0,0005	17,0900	2,3600	4,5100	2,5200	0,0490	0,0066	-	26,4800	-6,6500	
	D	0,0270	0,2500	0,1300	0,0170	0,0005	17,4900	2,4500	4,1500	2,5300	0,0450	0,0110	-	26,6200	-7,2400	
	E	0,0240	0,2500	0,0500	0,0160	0,0010	16,4300	2,4500	4,5500	2,4900	0,0310	0,0200	-	25,9200	-5,4900	
	F	0,0230	0,2400	0,1800	0,0190	0,0005	16,1400	2,3900	5,4700	2,5000	0,0490	0,0052	-	26,5000	-4,7000	
	G	0,0200	0,2300	0,0300	0,0180	0,0005	17,0400	2,4900	4,5300	2,5400	0,0410	0,0069	-	26,6000	-6,7400	
	H	0,0210	0,2300	0,1600	0,0180	0,0004	17,0500	2,3900	4,4100	2,3200	0,0310	0,0033	-	26,3700	-6,8500	
	I	0,0330	0,2100	0,1300	0,0180	0,0001	17,3800	2,3100	4,9100	2,3300	0,0300	0,0131	-	27,4100	-5,0500	
	J	0,0220	0,2100	0,1300	0,0180	0,0001	15,9600	2,4500	3,0300	1,8000	0,0300	0,0080	-	25,1700	-3,0800	
	K	0,0190	0,2100	0,1300	0,0180	0,0001	15,9200	2,4800	3,0300	3,1800	0,0300	0,0076	-	27,5100	-6,7700	
	L	0,0220	0,2100	0,1300	0,0170	0,0001	16,0500	2,9100	3,0300	2,3300	0,3000	0,0055	-	27,3300	-3,7300	
	M	0,0220	0,2100	0,3000	0,0180	0,0001	15,0500	2,4800	3,0300	2,3300	0,0300	0,0055	-	26,9200	-3,8700	
	N	0,0290	0,2100	0,3100	0,0170	0,0001	16,9500	2,3900	4,3700	2,3300	0,0330	0,0093	-	26,1600	-6,5000	
	O	0,0230	0,2400	0,4300	0,0170	0,0001	17,1100	2,3900	4,3800	2,3300	0,0330	0,0081	-	26,6300	-6,4800	
	P	0,0230	0,2300	0,3100	0,0180	0,0006	17,0800	2,3300	4,1000	2,3200	0,0310	0,0092	-	26,0300	-6,8900	
Q	0,0240	0,2300	0,1600	0,0170	0,0013	16,1300	2,4200	4,3800	2,3100	0,0440	0,0200	-	23,6200	-3,1300		
R	0,0230	0,2300	0,1800	0,0170	0,0006	17,0800	2,3800	4,6100	3,8000	0,0310	0,0133	-	27,8200	-7,6700		
S	0,0440	0,2300	0,1800	0,0170	0,0007	17,0200	2,4200	4,3300	2,3600	0,0440	0,0065	-	26,3300	-3,9900		

T	0,0420	0,2300	0,3100	0,0170	0,0001	16,9900	2,4200	4,5300	2,3600	0,0490	0,0063	-	26,3000	-3,9600
U	0,0220	0,2600	0,1000	0,0170	0,0009	17,0100	2,4800	5,0300	2,5500	0,0450	0,0153	V= 0,03	27,0700	-5,8800
V	0,0220	0,2400	0,1000	0,0170	0,0009	16,9400	2,4800	5,0300	2,5500	0,0450	0,0153	Nb= 0,06	27,0000	-3,8000
W	0,0220	0,2400	0,1000	0,0170	0,0009	17,5100	2,4800	5,0300	2,5500	0,0450	0,0153	Ti= 0,11	27,5700	-6,4300
X	0,0220	0,2400	0,1000	0,0170	0,0009	16,9400	2,4800	5,0300	2,5500	0,0450	0,0153	Zr= 0,05	27,0000	-5,8000
AA	0,0220	0,0240	0,1000	0,0170	0,0009	16,9400	2,4800	5,0300	2,5500	0,0450	0,0153	Ca= 0,0010	27,0000	-5,9000
AB	0,0220	0,2400	0,1000	0,0170	0,0009	16,9400	2,4800	5,0300	2,5500	0,0450	0,0153	Mg= 0,0013	27,0000	-5,8000
AC	0,0220	0,2400	0,1000	0,0170	0,0009	16,9400	2,4800	5,0300	2,5500	0,0450	0,0153	V= 0,04, Ti= 0,09, Ca= 0,0010	27,0000	-5,8000
AD	0,0220	0,2400	0,1000	0,0170	0,0009	16,9400	2,4800	5,0300	2,5500	0,0450	0,0153	V= 0,06, Ti= 0,08, Mg= 0,0021	27,0000	-5,8000
AE	0,0200	0,2400	0,1000	0,0180	0,0009	17,0100	2,4800	5,0600	2,5300	0,0400	0,0161	V= 0,05	27,0800	-5,8600
AF	0,0080	0,2300	0,1800	0,0180	0,0005	17,0400	2,4800	4,5300	2,3400	0,0410	0,0070	V= 0,05	26,6000	-7,0200
BA	0,0340	0,2500	0,1600	0,0170	0,0008	16,4500	1,9000	5,5300	1,7500	0,0440	0,0190	-	25,6300	-3,6700
BB	0,0120	0,2100	0,1200	0,0170	0,0001	17,8100	2,3000	4,0800	2,6700	0,0440	0,0140	-	27,0600	-8,1600
BC	0,0210	0,2600	0,3100	0,0160	0,0010	16,4600	1,3100	4,3800	2,3000	0,3500	0,0210	-	25,4500	-3,9100
BD	0,0210	0,2100	0,3100	0,0150	0,0007	16,5700	2,5100	4,9700	1,5100	0,0350	0,0190	-	25,6900	-4,0400
BE	0,0600	0,2500	0,0100	0,0160	0,0007	16,9900	2,4200	4,5300	2,5600	0,0400	0,0065	-	26,5000	-5,5700
BF	0,0300	0,2500	0,3200	0,0170	0,0010	14,8900	1,0200	6,2100	2,0100	0,0010	0,0410	-	24,1300	-1,3800
BG	0,0210	0,2400	0,3000	0,0170	0,0004	17,5600	2,5000	3,4200	2,5500	0,0410	0,0130	-	26,0300	-8,0300
BH	0,0200	0,2300	0,3200	0,0150	0,0010	16,4100	1,5300	3,5900	2,5100	0,0180	0,0210	-	24,0400	-6,8700

Agosto
comparativo

BI	0,0210	0,2300	0,0180	0,0150	0,0010	16,15	1,0100	6,0200	2,5100	0,0020	0,0190	V= 0,05	25,6900	-4,5100
* Valor sublinhado indica que o valor está fora da variação do valor correspondente da presente invenção.														
* X-30 (C+N) + 0,5Mn+Ni+Cu/2+8,2-1,1(Cr+Mo)														

Referindo-se à Tabela 1, as composições químicas de aços A a X e AA a AF estão dentro da variação de composição química da presente invenção. Além disso, as composições químicas de aços A a X e AA a AF satisfazem as fórmulas (1) e (2).

5 Por outro lado, aços BA a BI divergem da variação de acordo com a presente invenção. Especificamente, as composições químicas de aços BA e BB estão dentro da variação de acordo com a presente invenção, e, além disso, satisfazem a fórmula (1), mas não satisfazem a fórmula (2). A composição química de aço BC está dentro da variação de acordo com a presente invenção, e, além disso, satisfaz a fórmula (2), mas não satisfaz a fórmula (1). O teor de Mo de aço BD está menor do que o menor limite do teor de Mo da presente invenção. O teor de C de aço SER excede o limite superior do teor de C da presente invenção. O teor de Cr e o teor de Cu de aço BF estão menores do que os menores limites de teor de Cr e teor de Cu da presente invenção, e, além disso, não satisfaz as fórmulas (1) e (2). O teor de Ni de aço BG está menor do que o menor limite de teor de Ni da presente invenção. O teor de Ni de aço BH está menor do que o menor limite de teor de Ni da presente invenção, e, além disso, não satisfaz a fórmula (1). O teor de Cu de aço BI está menor do que o menor limite de teor de Cu da presente invenção. Os pontos de transformação Ac1 de aços A a X, AA a AF, e BA a BI estão dentro da variação de 630 a 710°C, e os pontos de transformação Ac3 do mesmo estão dentro da variação de 720 a 780°C.

25 Aços A a X, aços AA a AD, aço AF, e aços BA a BI são peças fundidas cada, que tem uma espessura de 30 mm. Além disso, o aço AE é um tarugo redondo sólido que tem um diâmetro de 191 mm. Os aços S e aço AE cada são preparados em números plurais.

Usando as placas e peças fundidas preparadas, placas de aço inoxidável e tubos de aço inoxidável dos números de teste 1 a 44 dados na Tabela 2 são fabricados.

[Tabela 2]

Número de teste	Aço	YS (Mpa)	Redução de área (%)	Micro-estrutura de metal					Resistência à corrosão de alta temperatura		Resistência SSC
				Razão de volume da fase ferrítica (%)	Razão de volume da fase austenítica (%)	Razão de volume da fase martensítica (%)	Razão de distribuição da fase ferrítica (%)	Rachadura	Taxa de corrosão		
1	A	882	52,0	23	2	75	100	ausente	<0,1	ausente	
2	B	893	52,0	38	4	58	100	ausente	<0,1	ausente	
3	C	911	52,0	35	5	60	100	ausente	<0,1	ausente	
4	D	911	57,9	39	1	60	100	ausente	<0,1	ausente	
5	E	835	57,9	18	0	82	100	ausente	<0,1	ausente	
6	F	762	57,9	13	7	80	100	ausente	<0,1	ausente	
7	G	901	57,9	30	5	65	100	ausente	<0,1	ausente	
8	H	911	57,9	32	2	66	100	ausente	<0,1	ausente	
9	I	951	57,9	25	2	73	100	ausente	<0,1	ausente	
10	J	870	57,9	35	3	62	100	ausente	<0,1	ausente	
11	K	882	57,9	20	4	76	100	ausente	<0,1	ausente	
12	L	944	57,9	25	4	71	100	ausente	<0,1	ausente	
13	M	907	57,9	25	4	71	100	ausente	<0,1	ausente	
14	N	918	57,9	30	2	68	100	ausente	<0,1	ausente	
15	O	931	57,9	30	2	68	100	ausente	<0,1	ausente	
16	P	830	57,9	35	1	64	100	ausente	<0,1	ausente	
17	Q	814	57,9	18	3	79	100	ausente	<0,1	ausente	
18	R	855	76,7	38	1	61	100	ausente	<0,1	ausente	
19	S	848	76,7	25	1	74	100	ausente	<0,1	ausente	

20	T	805	76,7		20	6	74	100	ausente	<0,1	ausente
21	U	951	76,7		22	1	77	100	ausente	<0,1	ausente
22	V	944	76,7		20	2	78	100	ausente	<0,1	ausente
23	W	910	76,7		28	0	72	100	ausente	<0,1	ausente
24	X	924	80,0		20	2	78	100	ausente	<0,1	ausente
25	AA	889	80,0		22	1	77	100	ausente	<0,1	ausente
26	AB	869	80,0		22	2	76	100	ausente	<0,1	ausente
27	AC	962	80,0		22	1	77	100	ausente	<0,1	ausente
28	AD	951	80,0		22	1	77	100	ausente	<0,1	ausente
29	AF	893	52,0		33	5	62	95,2	ausente	<0,1	ausente
30	AE	910	57,9		25	5	70	100	presente	<0,1	ausente
31	AE	905	52,8		27	3	70	100	presente	<0,1	ausente
32	AE	876	44,2		22	5	73	71,4	presente	<0,1	ausente
33	S	820	40,0		15	3	82	71,4	presente	<0,1	ausente
34	S	811	30,0		13	1	86	61,9	presente	<0,1	ausente
35	S	808	20,0		16	0	84	57,1	presente	<0,1	ausente
36	BA	848	57,9		1	3	96	47,6	presente	<0,1	presente
37	BB	869	57,9		70	0	30	100	presente	<0,1	ausente
38	BC	816	57,9		20	0	80	100	presente	<0,1	ausente
39	BD	923	57,9		11	7	82	85,7	presente	<0,1	presente
40	BE	841	57,9		18	5	77	100	presente	<0,1	presente
41	BF	905	57,9		0	0	100	0	presente	≥0,1	presente
42	BG	910	57,9		62	3	35	100	presente	<0,1	presente
43	BH	805	57,9		33	0	67	100	presente	<0,1	presente
44	BI	851	57,9		24	0	76	100	presente	<0,1	ausente

Fabricação da placa de aço inoxidável

Os números 1 a 29 e números 33 a 44 das placas de aço inoxidável são fabricados conforme descrito abaixo. As peças fundidas de aços A a X, aços AA a AD, aço AF, e aços BA a BI são aquecidas através de uma fornalha de aquecimento. As peças fundidas aquecidas são forjadas a quente e laminadas a quente para fabricar placas de aço inoxidável sendo que cada uma tem uma espessura de 6 a 14,4 mm e uma largura de 120 mm. A temperatura de peça fundida durante a elaboração a quente (forjamento a quente e laminação a quente) é de 1.000 a 1.250°C. As reduções de área durante a elaboração a quente são as dadas na Tabela 2. A redução de área é determinada com base na fórmula (3). As reduções de área de números 33 a 35 das placas de aço são menos do que 50%. As reduções de área de placas de aço de outros números são 50% ou mais.

As placas de aço inoxidável fabricadas são arrefecidas. Especificamente, as placas de aço inoxidável são aquecidas em uma temperatura de arrefecimento de 980 a 1.250°C por 15 minutos, e então é resfriadas em água. As temperaturas de arrefecimento de todos os números de teste não são menores do que o ponto de transformação Ac3. A placa de aço arrefecida é revenida em uma temperatura de 500 a 650°C de forma que o desvio de limite elástico de 0,2% é de 758 a 966 MPa. As temperaturas de revenimento de aços de todos os números de teste não são mais altas do que o ponto de transformação Ac1.

Fabricação de tubo de aço inoxidável

Os números 30 a 32 de tubos de aço inoxidável são fabricados conforme descrito abaixo. Após o tarugo redondo de aço AE ter sido aquecido através da fornalha de aquecimento, a elaboração a quente (incluindo perfuração usando uma máquina perfuradora e laminação usando um laminador sobre mandril) é desempenhada para fabricar um tubo de aço inoxidável (tubo de aço sem costura). Neste momento, a temperatura de tarugo no momento da elaboração a quente é de 950 a 1.200°C. Além disso, a redução de área no momento de elaboração a quente é conforme dada na Tabela 2. A redução de área de número 32 do tubo de aço inoxidável é menos do que 50%. As reduções de

área de tubos de aço inoxidável de outros números de teste excede 50%. O tubo de aço inoxidável fabricado é arrefecido e revenido sob as mesmas condições que aquelas da placa de aço inoxidável descrita acima de forma que o desvio de limite elástico de 0,2% é de 758 a 966 MPa.

5 **Investigação de micro-estrutura e razão de distribuição da fase ferrítica**

Uma amostra que inclui a superfície da placa de aço inoxidável ou o tubo de aço inoxidável é tirada de uma localização arbitrária na placa de aço inoxidável ou no tubo de aço inoxidável de cada número de teste. A superfície de amostra que corresponde à seção transversal da placa de aço inoxidável ou do tubo de aço inoxidável é moída. Após a moagem, a superfície de amostra é cauterizada através do uso de uma solução na qual glicerina é misturada com água régia.

A razão de área de fase ferrítica na amostra de superfície cauterizada é mensurada através do método de contagem de pontos em conformidade com JISG0555. A razão de área mensurada é definida como a razão de volume de fase ferrítica. A razão de volume da fase austenítica retida é determinada pelo método de difração por raios-X previamente mencionado. Entende-se que a fase martensítica é mais uma porção de micro-estrutura remanescente do que a fase ferrítica e a fase austenítica retida. Portanto, a razão de volume (%) de fase martensítica é determinada com base em fórmula (b).

Razão de volume de fase martensítica = $100 - (\text{razão de volume de fase ferrítica} + \text{razão de volume de fase austenítica retida})$ (b)

As razões de volume de fase ferrítica, fase austenítica retida, e fase martensítica determinadas são dadas na Tabela 2.

Além disso, a razão de distribuição da fase ferrítica é determinada. Especificamente, uma escala mostrada na figura 2 é posta na seção transversal de amostra de cada número de teste para determinar a razão de distribuição da fase ferrítica (%) definida através da fórmula (a). A razão de distribuição da fase ferrítica determinada é dada na Tabela 2.

Ensaio de tração

Um exemplar de ensaio de tração de barra redonda é tirado a partir da placa de aço inoxidável e do tubo de aço inoxidável de cada número de teste. Usando este exemplar de ensaio de tração de barra redonda, um ensaio de tração é conduzido. A direção longitudinal do exemplar de ensaio de tração de barra redonda é a direção de laminação da placa de aço inoxidável e do tubo de aço inoxidável. O diâmetro da porção paralela do exemplar de ensaio de tração de barra redonda é 4 mm, e o comprimento do mesmo é 20 mm. O ensaio de tração é conduzido em temperatura normal (25°C).

10 Teste de resistência de corrosão por alta temperatura

Um exemplar de teste de flexão a quatro pontos é tirado a partir da placa de aço inoxidável e do tubo de aço inoxidável de cada número de teste. O comprimento do exemplar é 75 mm, a largura do mesmo é 10 mm, e a espessura do mesmo é 2 mm. Cada exemplar é defletido por flexão a quatro pontos. Neste momento, a quantidade de deflexão de cada exemplar é determinada em conformidade com ASTM G39 de forma que a tensão aplicada em cada exemplar seja igual ao desvio de limite elástico de 0,2% de cada exemplar.

Uma autoclave de 200°C na qual CO₂ de 3 MPa e H₂S de 0,001 MPa são selados sob pressão foi preparada. O exemplar sujeito à deflexão é imerso em solução aquosa de NaCl de 25 % em peso na autoclave por um mês. Após imersão de um mês, examinou-se se houve ou não craqueamento no exemplar. Especificamente, a seção transversal da porção do exemplar para qual tensão por tração é aplicada é observada com o uso de um microscópio óptico de ×100 de ampliação para julgar a presença de rachadura. Além disso, o peso do exemplar é mensurado antes e após o teste. A partir das mudanças do peso mensurado, a perda de corrosão de exemplar é determinada. Então, a taxa de corrosão (g/(m²·hr)) é determinada com base na perda de corrosão.

Os resultados do teste são dados na Tabela 2. O termo "Presente" no item "Rachadura" na coluna "Resistência de corrosão por alta temperatura" na Tabela 2 indica que a rachadura é confirmada através de observação com o uso de

um microscópio óptico. O termo "Ausente" indica que a rachadura não pode ser confirmada. A expressão "<0,1" no item "Taxa de corrosão" indica que a taxa de corrosão é menor do que 0,1 g/(m²·hr). A expressão "≥0,1" indica que a taxa de corrosão não é menor do que 0,1 g/(m²·hr).

5 **Teste de resistência SSC em temperatura normal**

Um exemplar de teste de flexão a quatro pontos é tirado a partir da placa de aço de cada número de teste. O comprimento do exemplar é 75 mm, a largura do mesmo é 10 mm, e a espessura do mesmo é 2 mm. Cada exemplar é defletido por flexão a quatro pontos. Neste momento, a quantidade de deflexão de
10 cada exemplar é determinada em conformidade com ASTM G39 de forma que a tensão aplicada em cada exemplar é igual ao desvio de limite elástico de 0,2% de cada exemplar.

Uma autoclave de temperatura normal (25°C) na qual CO₂ de 0,099 MPa e H₂S de 0,001 MPa são selados é preparada. O exemplar sujeito à deflexão
15 é imerso em solução aquosa de NaCl de 20 % em peso na autoclave por um mês. Após imersão de um mês, examina-se se houve ou não craqueamento no exemplar. Os critérios de rachadura são os mesmos aos do teste de resistência de corrosão por alta temperatura. Os resultados do teste são dados na Tabela 2. O termo "Presente" na coluna "Resistência SSC" na Tabela 2 indica que a rachadura
20 é confirmada através de observação com o uso de um microscópio óptico. O termo "Ausente" indica que a rachadura não pode ser confirmada.

Resultados do teste

Referindo-se a Tabela 2, as placas de aço inoxidável e tubos de aço inoxidável dos números de teste 1 a 31 cada tem uma micro-estrutura e
25 composição química dentro da variação de acordo com a presente invenção. Portanto, no teste de resistência de corrosão por alta temperatura, não houve craqueamento (SCC), e a taxa de corrosão é menor do que 0,1 g/(m²·hr). Em um teste de resistência SSC em temperatura normal, também não houve craqueamento (SCC).

30 As composições químicas das placas de aço inoxidável e tubos de

aço inoxidável dos números de teste 32 a 35 estão dentro da variação de acordo com a presente invenção, e satisfazem as fórmulas (1) e (2). Entretanto, a razão de distribuição das fases ferríticas do mesmo são menores do que o menor limite da presente invenção. Portanto, houve craqueamento no teste de resistência de corrosão por alta temperatura. Entende-se que, como as reduções de área da placas de aço inoxidável e tubos de aço inoxidável dos números de teste 32 a 35 são menos do que 50%, a razão de distribuição da fases ferríticas do mesmo são menores do que o menor limite da presente invenção.

Para a placa de aço do número de teste 36, o valor de X excede o limite superior da fórmula (2), de forma que a razão de volume de fase ferrítica é menos do que 10%. Portanto, craqueamento ocorre no teste de resistência de corrosão por alta temperatura e um teste de resistência SSC. Para a placa de aço de número de teste 37, o valor de X é menor do que o menor limite da fórmula (2), de forma que a razão de volume de fase ferrítica excede 40%. Portanto, o craqueamento ocorre no teste de resistência de corrosão por alta temperatura. A placa de aço de número de teste 38 não satisfaz a fórmula (1). Portanto, o craqueamento ocorre no teste de resistência de corrosão por alta temperatura. A razão para tal fato é que provavelmente um filme de passivação, o que previne propagação de rachadura, é menos propenso a ser formado na superfície de rachadura após a ocorrência de rachadura.

Para a placa de aço de número de teste 39, o teor de Mo é menor do que o menor limite de teor de Mo da presente invenção. Portanto, o craqueamento ocorre no teste de resistência de corrosão por alta temperatura e no teste de resistência SSC. Para a placa de aço de número de teste 40, o teor de C excede o limite superior de teor de C da presente invenção. Portanto, o craqueamento ocorre no teste de resistência de corrosão por alta temperatura e no teste de resistência SSC. Para a placa de aço de número de teste 41, o teor de Cr e o teor de Cu são menores do que o menor limite de teor de Cr e teor de Cu da presente invenção, e fórmulas (1) e (2) não são satisfeitas. Portanto, o craqueamento ocorre no teste de resistência de corrosão por alta temperatura e no teste de resistência SSC, e a

taxa de corrosão no teste de resistência de corrosão por alta temperatura é 0,1 g/(m²·hr) ou mais alto. Para a placa de aço de número de teste 42, o teor de Ni é menor do que o menor limite de teor de Ni da presente invenção, e o valor de X é menor do que o menor valor limite da fórmula (2). Portanto, o craqueamento ocorre no teste de resistência de corrosão por alta temperatura e no teste de resistência SSC. Para a placa de aço de número de teste 43, o teor de Ni é menor do que o menor limite de teor de Ni da presente invenção, e a fórmula (1) não é satisfeita. Portanto, o craqueamento ocorre no teste de resistência de corrosão por alta temperatura e no teste de resistência SSC. Para a placa de aço de número de teste 44, o teor de Cu é menor do que o menor limite de teor de Cu da presente invenção. Portanto, o craqueamento ocorre no teste de resistência de corrosão por alta temperatura. A razão para tal fato é que provavelmente um filme de passivação é menos propenso a ser formado na superfície de rachadura após a ocorrência de rachadura.

O descrito acima é uma descrição da modalidade da presente invenção, e a modalidade descrita acima é meramente um exemplo para executar a presente invenção. Portanto, a presente invenção não é limitada à modalidade descrita acima, e a modalidade descrita acima pode ser mudada conforme apropriado sem divergir do espírito e escopo da presente invenção.

20 Aplicabilidade Industrial

O aço inoxidável para poço de petróleo de acordo com a presente invenção pode ser usado em poços de petróleo e poços de gás. Em particular, o mesmo pode ser usado em poços de petróleo profundos que tem um ambiente de alta temperatura. Por exemplo, o mesmo pode ser usado em poços de petróleo profundos que tem um ambiente de alta temperatura de 150°C a 250°C.

REIVINDICAÇÕES

1. Aço inoxidável para poço de petróleo, **CHARACTERIZADO** pelo fato de que compreende:

uma composição química que consiste em, por porcentagem em massa, C: não mais do que 0,05%, Si: não mais do que 0,5%, Mn: 0,01 a 0,5%, P: não mais do que 0,04%, S: não mais do que 0,01%, Cr: mais do que 16,0 e não mais do que 18,0%, Ni: mais do que 4,0 e não mais do que 5,6%, Mo: 1,6 a 4,0%, Cu: 1,5 a 3,0%, Al: 0,001 a 0,10%, e N: não mais do que 0,050%, sendo o equilíbrio Fe e impurezas, e satisfazendo as fórmulas (1) e (2):

$$\text{Cr} + \text{Cu} + \text{Ni} + \text{Mo} \geq 25,5 \quad (1)$$

$$-8 \leq 30(\text{C} + \text{N}) + 0,5\text{Mn} + \text{Ni} + \text{Cu} / 2 + 8,2 - 1,1(\text{Cr} + \text{Mo}) \leq -4$$

(2)

onde o teor (porcentagem em massa) de elemento é substituído pelo símbolo de elemento nas fórmulas (1) e (2);

uma micro-estrutura que contém uma fase martensítica e uma fase ferrítica que tem uma razão de volume de 10 a 40%, e sendo tal que, quando uma pluralidade de segmentos de linhas imaginárias, que tem cada uma um comprimento de 50 μm na direção da espessura a partir da superfície do aço inoxidável e são dispostas em uma coluna em intervalos de 10 μm por uma variação de 200 μm , é posta em uma seção transversal do aço inoxidável, a razão do número de segmentos de linhas imaginárias que cruzam a fase ferrítica para o número total de segmentos de linhas imaginárias é mais alto do que 85%; e

um desvio de limite elástico de 0,2% não menor do que 758 MPa.

2. Aço inoxidável para poço de petróleo, de acordo com a reivindicação 1, **CHARACTERIZADO** pelo fato de que a composição química contém, no lugar de uma certa quantidade de Fe, pelo menos um tipo selecionado a partir do grupo que consiste em V: não mais do que 0,25%, Nb: não mais do que 0,25%, Ti: não mais do que 0,25%, e Zr: não mais do que 0,25%.

3. Aço inoxidável para poço de petróleo, de acordo com a reivindicação 1 ou 2, **CHARACTERIZADO** pelo fato de que a composição química

contém, no lugar de uma certa quantidade de Fe, pelo menos um tipo selecionado a partir do grupo que consiste em Ca: não mais do que 0,005%, Mg: não mais do que 0,005%, La: não mais do que 0,005%, e Ce: não mais do que 0,005%.

4. Aço inoxidável para poço de petróleo, de acordo com quaisquer uma das reivindicações 1 a 3, **CHARACTERIZADO** pelo fato de que a micro-estrutura contém uma fase austenítica retida que tem uma razão de volume de não mais do que 10%.

5. Tubo de aço inoxidável **CHARACTERIZADO** pelo fato de ser fabricado através do uso do aço inoxidável descrito em quaisquer uma das reivindicações 1 a 4.

6. Método de fabricação de um aço inoxidável para poço de petróleo, **CHARACTERIZADO** pelo fato de que compreende:

uma etapa de aquecer um estoque de aço que tem uma composição química que consiste em, por porcentagem em massa, C: não mais do que 0,05%, Si: não mais do que 0,5%, Mn: 0,01 a 0,5%, P: não mais do que 0,04%, S: não mais do que 0,01%, Cr: mais do que 16,0 e não mais do que 18,0%, Ni: mais do que 4,0 e não mais do que 5,6%, Mo: 1,6 a 4,0%, Cu: 1,5 a 3,0%, Al: 0,001 a 0,10%, e N: não mais do que 0,050%, sendo o equilíbrio Fe e impurezas, e satisfazendo as fórmulas (1) e (2):

$$\text{Cr} + \text{Cu} + \text{Ni} + \text{Mo} \geq 25,5 \quad (1)$$

$$-8 \leq 30(\text{C} + \text{N}) + 0,5\text{Mn} + \text{Ni} + \text{Cu} / 2 + 8,2 - 1,1(\text{Cr} + \text{Mo}) \leq -4 \quad (2)$$

onde o teor (porcentagem em massa) de elemento é substituído pelo símbolo de elemento nas fórmulas (1) e (2);

uma etapa de elaboração a quente do estoque de aço de forma que a redução de área do estoque de aço em uma temperatura de estoque de aço de 850 a 1.250°C não é menos do que 50%;

uma etapa de aquecimento do estoque de aço a uma temperatura não menor do que o ponto de transformação Ac3 e arrefecimento do mesmo após a elaboração a quente; e

uma etapa de revenimento o estoque de aço em uma temperatura não mais alta do que o ponto de transformação Ac1 após o arrefecimento, e

sendo que o método que é usado para a fabricação de um aço inoxidável tem uma micro-estrutura que contém uma fase martensítica e uma fase ferrítica que tem uma razão de volume de 10 a 40%, e sendo tal que quando uma pluralidade de segmentos de linhas imaginárias, em que cada uma tem um comprimento de 50 μm na direção da espessura a partir da superfície do aço inoxidável e são dispostas em uma coluna em intervalos de 10 μm por uma variação de 200 μm , é posta em uma seção transversal do aço inoxidável, a razão do número de segmentos de linhas imaginárias que cruzam a fase ferrítica para o número total de segmentos de linhas imaginárias é mais alto do que 85%; e um desvio de limite elástico de 0,2% não menor do que 758 MPa.

FIG. 1

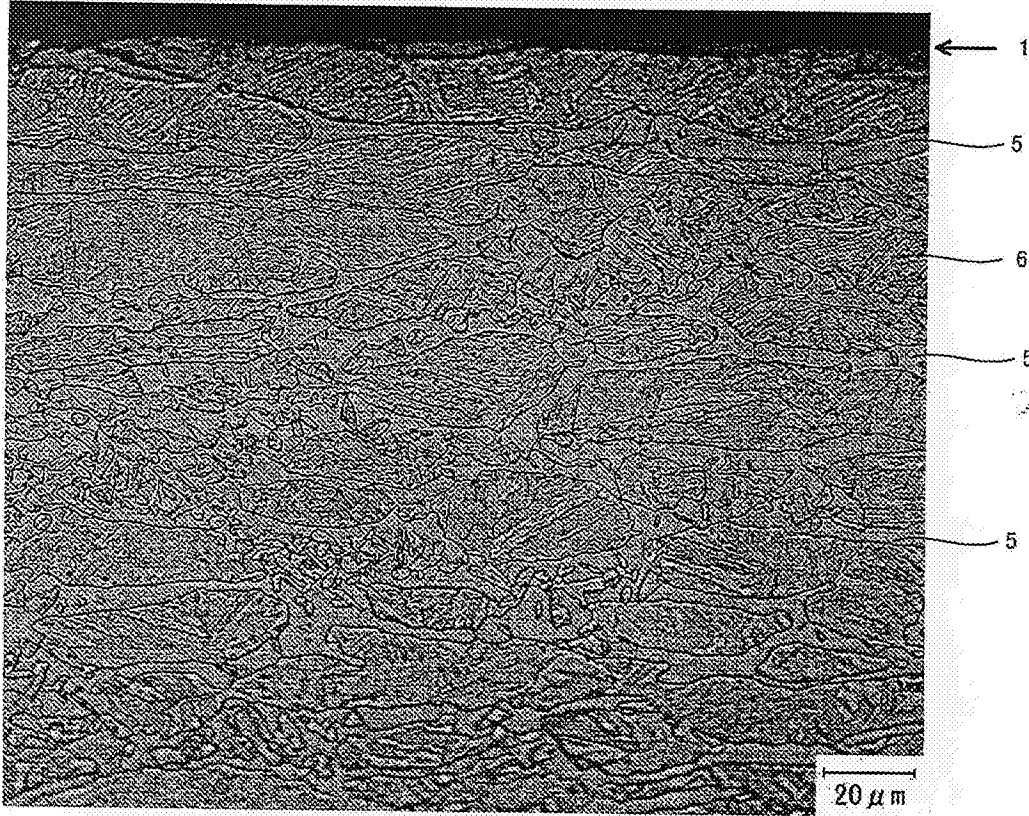


FIG. 2

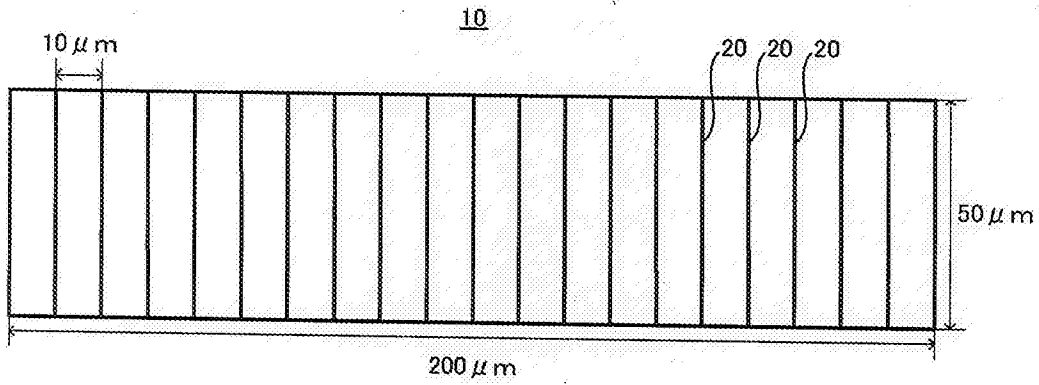


FIG. 3

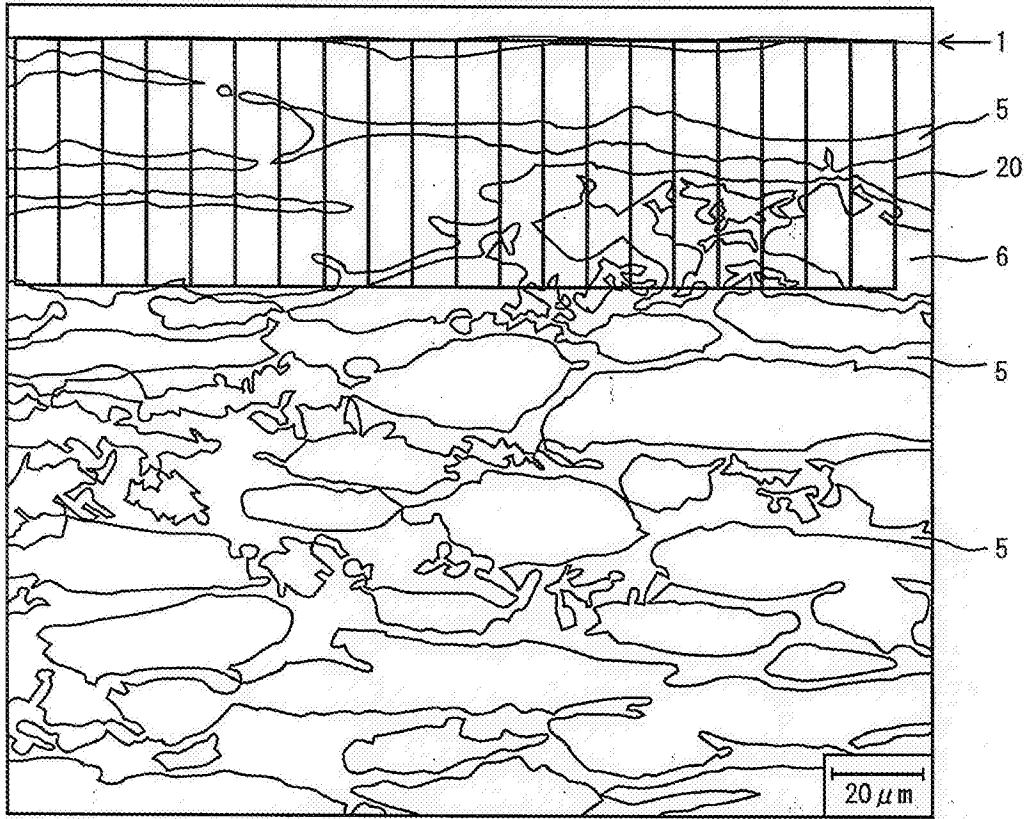
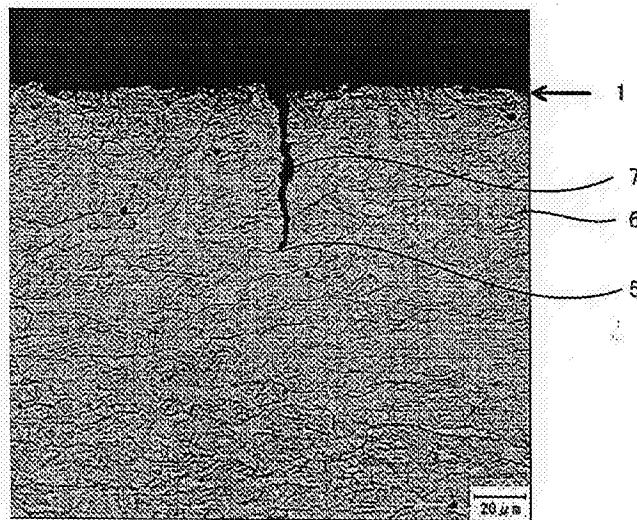


FIG. 4



RESUMO**“AÇO INOXIDÁVEL PARA POÇO DE PETRÓLEO, TUBO DE AÇO INOXIDÁVEL
PARA POÇO DE PETRÓLEO, E MÉTODO DE FABRICAÇÃO DE AÇO
INOXIDÁVEL PARA POÇO DE PETRÓLEO”**

5 Trata-se de composição química de um aço inoxidável de acordo com
a presente invenção que consiste em C: não mais do que 0,05%, Si: não mais do
que 0,5%, Mn: 0,01 a 0,5%, P: não mais do que 0,04%, S: não mais do que 0,01%,
Cr: mais do que 16,0 e não mais do que 18,0%, Ni: mais do que 4,0 e não mais do
10 que 5,6%, Mo: 1,6 a 4,0%, Cu: 1,5 a 3,0%, Al: 0,001 a 0,10%, e N: não mais do
que 0,050%, sendo o equilíbrio Fe e impurezas, e satisfaz as fórmulas (1) e (2).
Além disso, a micro-estrutura do mesmo contém uma fase martensítica e uma fase
ferrítica que tem uma razão de volume de 10 a 40%, e a razão de distribuição da
fase ferrítica é mais alta do que 85%.

$$\text{Cr} + \text{Cu} + \text{Ni} + \text{Mo} \geq 25,5 \quad (1)$$

15 $-8 \leq 30(\text{C} + \text{N}) + 0,5\text{Mn} + \text{Ni} + \text{Cu} / 2 + 8,2 - 1,1(\text{Cr} + \text{Mo}) \leq -4$
(2)