



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL



Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

CARTA PATENTE N.º PI 0512032-2

Patente de Invenção

O INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL concede a presente PATENTE, que outorga ao seu titular a propriedade da invenção caracterizada neste título, em todo o território nacional, garantindo os direitos dela decorrentes, previstos na legislação em vigor.

(21) Número do Depósito : PI 0512032-2

(22) Data do Depósito : 03/06/2005

(43) Data da Publicação do Pedido : 12/01/2006

(51) Classificação Internacional : C22C 38/00; C22C 38/32

(30) Prioridade Unionista : 14/06/2004 JP 2004-175242

(54) Título : Aço de baixo teor de liga para tubos de poços de petróleo

(73) Titular : Sumitomo Metal Industries, Ltd., Companhia Japonesa. Endereço: 5-33, Kitahama 4-chome, Chuo-ku, Osaka-shi, Osaka 541-0041, Japão (JP).

(72) Inventor : Tomohiko Omura. Endereço: A/C Sumitomo Metal Industries LTD., 5-33, Kitahama 4-Chome, Chuo-Ku Osaka-Shi Osaka 541-0041, Japão.; Kenji Kobayashi. Endereço: A/C Sumitomo Metal Industries LTD., 5-33, Kitahama 4-Chome, Chuo-Ku Osaka-Shi Osaka 541-0041, Japão.

Prazo de Validade : 20 (vinte) anos contados a partir de 03/06/2005, observadas as condições legais.

Expedida em : 28 de Janeiro de 2014.

Assinado digitalmente por
Liane Elizabeth Caldeira Lage
Diretora de Patentes Substituta

15 de Novembro
REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
de 1889

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para **"AÇO DE BAIXO TEOR DE LIGA PARA TUBOS DE POÇOS DE PETRÓLEO"**.

CAMPO TÉCNICO

A presente invenção refere-se a um aço de baixo teor de liga para tubos de poços de petróleo que apresenta uma excelente resistência à fissuração sob tensão de sulfeto, o que o torna adequado para tubos de revestimento ou tubos de produção para uso em poços de petróleo ou poços de gás.

ANTECEDENTE DA TÉCNICA

Juntamente com um aumento da profundidade dos poços para campos de petróleo e campos de gás, tem sido buscada uma maior resistência para tubos de poços de petróleo usados em poços de petróleo ou poços de gás. Em vez da classe de 80 ksi (limite (superior) de escoamento (YS) de 551 a 654 MPa) ou da classe de 95 ksi (YS de 654 a 758 MPa) de tubos de poços de petróleo geralmente usada até então, os tubos de poços de petróleo da classe de 110 ksi (YS de 758 a 861 MPa) têm sido frequentemente usados nos últimos anos.

Por outro lado, poços profundos recentemente desenvolvidos geralmente contêm sulfeto de hidrogênio corrosivo. Sob tais circunstâncias, os aços de alta resistência causam a fragilidade do hidrogênio, o que é denominado de fissuração sob tensão de sulfeto (daqui em diante denominado de "SSC"), que, às vezes resulta na fratura dos tubos de poços de petróleo. Conseqüentemente, a questão mais significativa em se tratando de tubos de poços de óleo de alta resistência é a de superar a SSC.

Um método de aperfeiçoar a resistência SSC nos tubos de poços de petróleo da classe de 95 a 110 Ksi (YS de 654 a 861 a YS de 758 a 861 mPa) é o de purificar altamente os aços ou o de refinar os grãos de cristal da microestrutura. Por exemplo, o Documento de Patente 1 propõe um método de aperfeiçoar a resistência SSC com a redução dos elementos de impureza, tais como Mn e P. O Documento de Patente 2 descreve um método de aperfeiçoar a resistência SSC com o refino dos grãos de cristal por meio de duplo resfriamento brusco.

Ademais, recentemente foram iniciados estudos a cerca de tubos de poços de petróleo de alta resistência, tal como da classe de 125 ksi (YS de 861 a 965 MPa). Uma vez que há uma maior probabilidade da ocorrência de SSC nos aços de maior resistência, tem sido buscado um aperfeiçoamento adicional no planejamento de material para tubos de poços de petróleo de classe de 125 ksi (YS de 861 a 965 mPa) do que para os tubos de poços de petróleo anteriores da classe de 95 ksi (YS de 654 a 758 MPa) ou da classe de 110 ksi (YS de 758 a 861 MPa). O Documento de Patente 3 propõe um método para obter materiais de aço da classe de 125 ksi que apresentam uma excelente resistência SSC, no qual os grãos de cristal da microestrutura são refinados por um tratamento térmico que usa um aquecimento por indução. O Documento de Patente 4 propõe um método para fabricar um tubo de aço da classe de 110 a 125 ksi (YS de 758 a 861 mPa a YS de 861 a 965 mPa) e na classe de 140 ksi (YS de 965 a 1068 MPa) que apresenta uma excelente resistência SSC, com o aumento da temperabilidade e da temperatura de revenido com um método direto de resfriamento brusco. O Documento de Patente 5 propõe uma técnica para se obter um aço de baixo teor de liga da classe de 110 a 140 ksi (YS de 758 a 861 a 965 a 1068 mPa) com uma excelente resistência SSC, com a otimização da composição de liga. O Documento de Patente 6, o Documento de Patente 7 e o Documento de Patente 8 propõem métodos para aperfeiçoar a resistência SSC de um aço de baixo teor de liga usado para poços de petróleo da classe de 110 a 140 ksi (YS de 758 a 861 a 965 a 1068 mPa), com o controle das formas de carburetos. Além disso, o Documento de Patente 9 propõe uma técnica para retardar a ocorrência de SSC dos materiais de aço de classe de 110 a 125 com a precipitação de um grande número de carburetos de Vanádio fino.

Documento de Patente 1 Publicação Não-examinada de Patente Japonesa N° S 62-253720

Documento de Patente 2 Publicação Não-examinada de Patente Japonesa N° S 59-232220

Documento de Patente 3 Publicação Não-examinada de Patente Japonesa N° H6-322478

Documento de Patente 4 Publicação Não-examinada de Patente Japonesa Nº H8-311551

Documento de Patente 5 Publicação Não-examinada de Patente Japonesa Nº H11-335731

5 Documento de Patente 6 Publicação Não-examinada de Patente Japonesa Nº 2000-178682

Documento de Patente 7 Publicação Não-examinada de Patente Japonesa Nº 2000-256788

10 Documento de Patente 8 Publicação Não-examinada de Patente Japonesa Nº 2000-297344

Documento de Patente 9 Publicação Não-examinada de Patente Japonesa Nº 2000-119798

DESCRIÇÃO DA INVENÇÃO

PROBLEMA A SER SOLUCIONADO PELA INVENÇÃO

15 Até mesmo os aços propostos descritos acima não podem esta-
velmente assegurar a resistência SSC. A presente invenção se destina a
prover um aço resistente SSC para tubos de poços de petróleo capaz de
estavelmente assegurar a excelente resistência SSC, mesmo quando usado
para tubos de poços de petróleo de alta resistência da classe de 125 ksi (YS
20 861 a 965 mPa) ou classes superiores.

MEIOS PARA SOLUCIONAR O PROBLEMA

Os presentes inventores desenvolveram vários estudos sobre as
causas da ocorrência de SSC e meios para solucioná-los nos aços de alta
resistência para tubos de poços de petróleo por meio do conhecimento da
25 densidade de deslocamento e de um coeficiente de difusão de hidrogênio
dos mesmos, e, como resultado, descobriram que a densidade de desloca-
mento e o coeficiente de difusão de hidrogênio estão correlacionados com a
resistência SSC, conforme descrito abaixo.

30 (a) É considerado que SSC tende a ocorrer em aços de alta re-
sistência porque, à medida que a resistência aumenta, a densidade de des-
locamento dos cristais tende a aumentar e o hidrogênio difuso tende a ficar
ocluído mais nas porções deslocadas. Em vista do acima, a ocorrência de

SSC pode ser suprimida com a diminuição do hidrogênio aprisionado, mesmo em um aço de alta resistência, o que pode ser obtido com o decréscimo da densidade de deslocamento de cristais tão pouco quanto possível a fim de diminuir a porção de deslocamento.

5 (b) Alternativamente, é considerado que a SSC tende a ocorrer em um aço de alta resistência porque o hidrogênio se acumula nas porções concentradas de esforço, tal como a corrosão do fundo do poço. Em vista do acima, a ocorrência de SSC pode ser suprimida com o impedimento do acúmulo de hidrogênio sobre as porções concentradas de esforço, o que pode ser conseguido com o planejamento de uma composição de material para
10 impedir a difusão de hidrogênio no material.

(c) A densidade de deslocamento é dominada por uma largura de meio-valor da face de cristal [211] (grau de esforço das treliças de cristal) determinado por uma difração de raios X. E a difusão de hidrogênio no material é dominada pelo coeficiente de difusão de hidrogênio do aço determinado por um método de permeação de hidrogênio.
15

(d) Conseqüentemente, é possível prover tubos de poços de petróleo de alta resistência, excelentes na resistência SSC, quando a largura de meio-valor e o coeficiente de difusão de hidrogênio puderem ser controlados em valores desejados.
20

A presente invenção foi realizada com base nestas novas descobertas. Um aço de alta resistência para tubos de poços de petróleo, de acordo com a invenção, é fabricado, conforme descrito, a seguir, de (1) a (5). Adiante, as invenções que se referem a aços de (1) a (5) podem ser coletivamente mencionadas na presente invenção.
25

(1) Aço de baixo teor de liga para tubos de poços de petróleo contendo, em porcentagem de massa, C: 0,2 a 0,35%, Si: 0,05 a 0,5%, Mn: 0,05 a 1,0%, P: 0,025% ou menos, S: 0,01% ou menos, Al: 0,005 a 0,10%, Cr: 0,1 a 1,0%, Mo: 0,5 a 1,0%, Ti: 0,002 a 0,05%, V: 0,05 a 0,3%, B: 0,0001 a 0,005%, N: 0,01% ou menos, O (oxigênio): 0,01% ou menos, Nb: 0 a 0,1%, Ca: 0 a 0,01 %, Mg: 0 a 0,01%, e Zr: 0 a 0,1%, nos quais a largura de meio-valor H (grau) e o coeficiente de difusão de hidrogênio D (10^{-6} cm²/s) satisfa-
30

zem a seguinte equação (1):

$$30H + D \leq 19,5 \quad \text{equação (1).}$$

(2) Aço de baixo teor de liga para tubos de poços de petróleo, de acordo com o item (1) acima, no qual um limite (superior) de escoamento é de 861 MPa ou mais.

(3) Aço de baixo teor de liga para tubos de poços de petróleo, de acordo com o item (1) ou (2) acima, caracterizado por adicionalmente conter Nb: 0 a 0,1% em massa.

(4) Aço de baixo teor de liga para tubos de poços de petróleo, de acordo com qualquer dos itens de (1) a (3) acima, caracterizado por adicionalmente conter um ou ambos de Ca: 0 a 0,01% e Mg: 0 a 0,01% em massa.

(5) Aço de baixo teor de liga para tubos de poços de petróleo, de acordo com qualquer dos itens de (1) a (4) acima, caracterizado por adicionalmente conter Zr: 0 a 0,1% em massa.

15 EFEITO DA INVENÇÃO

De acordo com a presente invenção, tubos de poços de petróleo apresentando uma excelente resistência SSC podem ser estavelmente providos, mesmo em uma alta resistência de limite (superior) de escoamento (YS) de 861 MPa ou mais.

20 MELHOR MODO DE REALIZAR A INVENÇÃO

Um aço de alta resistência para tubos de poços de petróleo, de acordo com a presente invenção, é especificamente descrito como segue:

A. Largura de meio-valor e coeficiente de difusão de hidrogênio do aço

No aço para uso dos tubos de poços de petróleo, de acordo com a presente invenção, uma vez que é necessário que a largura de meio-valor e o coeficiente de difusão de hidrogênio sejam controlados de modo a satisfazerem a equação (1), será descrito primeiro um método de medir a largura de meio-valor e o coeficiente de difusão de hidrogênio do aço.

Os aços apresentando a composição química mostrada na Tabela 1 foram, cada qual, em 150 kg, fundidos no vácuo, foram forjados e depois laminados a quente em uma chapa, sendo, então, aplicados com resfriamento brusco e revenido.

Tabela 1

S. A.	Composição química (porcentagem em massa)																
	C	Si	Mn	P	S	sol.Al	Cr	Mo	Ti	V	B	Nb	Zr	Ca	Mg	N	O
(a)	0,27	0,19	0,43	0,005	0,0018	0,034	0,50	0,73	0,015	0,11	0,0011	-	-	-	-	0,004	0,0031
(b)	0,28	0,21	0,44	0,008	0,0011	0,033	0,51	0,71	0,016	0,02	0,0012	-	-	-	-	0,0034	0,0042
(c)	0,28	0,18	0,45	0,004	0,0012	0,032	1,21	0,74	0,016	0,12	0,0009	-	-	-	-	0,0036	0,0043
(d)	0,26	0,15	0,43	0,003	0,0011	0,034	0,51	0,35	0,0015	0,11	0,0011	-	-	-	-	0,0034	0,0041

nota: O equilíbrio é Fe e impurezas

Neste caso, conforme mostrado na Tabela 2, a taxa de usinagem total (%) e a temperatura de acabamento de laminação a quente (°C) foram variadas. A taxa de usinagem total (%) indica um valor representado pelo seguinte:

5 Taxa de usinagem total (%)

= $100 \times \frac{\{(\text{área da seção transversal da chapa antes da usinagem}) - (\text{área da seção transversal depois da usinagem final})\}}{(\text{área da seção transversal da chapa antes da usinagem})}$.

Tabela 2

Teste Nº	Ag	Taxa de usinagem total (%)	Temperatura de aquecimento de laminação (°C)	Temperatura de resfriamento brusco (°C)	Resistência YS (MPa)	Largura de meio-valor H (grau)	Coeficiente de difusão de hidrogênio D ($10^{-6} \text{cm}^2/\text{s}$)	30H+ D	Resultado do teste SSC	
									Teste de carga constante	Teste DCB (fator de intensidade de esforço K_{SSC})
1	(a)	20,5	1060	920	951	0,41	2,1	14,4	O	27,1
2	(a)	7,2	1100	910	958	0,47	2,3	16,4	O	28,1
3	(a)	7,1	960	930	944	0,51	3,9	19,2	O	27,8
4	(a)	25,6	1050	1050	958	0,33	1,1	11,0	O	30,5
5	(a)	40,5	1090	1030	944	0,31	1,3	10,6	O	30,1
6	(a)	37,6	990	920	951	0,36	3,9	14,7	O	27,6
7	(a)	62,6	970	950	958	0,49	3,4	18,1	O	28,1
8	(a)	30,5	940	920	937	0,57	4,3	21,4	x	24,2
9	(a)	53,5	1030	990	958	0,39	2,8	14,5	O	29,4
10	(a)	69,1	1060	920	944	0,64	2,3	21,5	x	20,9
11	(a)	35,5	1050	890	951	0,56	5,5	22,3	x	23,1
12	(a)	3,5	920	850	958	0,68	6,1	26,5	x	19,5
13	(a)	5,3	910	830	951	0,63	6,8	25,7	x	21,2
14	(a)	15,4	1040	950	944	0,31	8,1	17,4	O	28,4
15	(a)	25,4	1030	920	958	0,55	1,2	17,7	O	27,9
16	(b)	20,5	990	920	944	0,45	9,2	22,7	x	20,2
17	(b)	24,6	1040	920	937	0,32	11,5	21,1	x	20,1
18	(c)	31,3	1050	920	944	0,69	1,3	22,0	x	19,8
19	(c)	34,6	1100	920	951	0,59	2,2	19,9	x	23,1
20	(d)	25,5	1090	920	944	0,63	10,8	29,7	x	22,4
21	(d)	25,3	1050	920	944	0,62	8,9	27,5	x	23,5

O resfriamento brusco e o revenido foram aplicados para controlar a resistência dos materiais de aço (YS) nas proximidades do limite superior da classe de 862 Mpa (125 ksi), e eles mostraram resistência, conforme mostrado na Tabela 2. O resfriamento brusco foi conduzido por meio do resfriamento em água depois de mantida em várias temperaturas por 30 minutos, e a têmpera foi conduzida por meio do resfriamento em ar depois de mantida em várias temperaturas por uma hora, respectivamente.

Uma peça de teste com dimensão de $1 \times 10 \times 10 \text{ mm}^3$ foi amostrada a partir dos materiais de aço, polida com lixa de esmeril nº 1200, sendo então a camada endurecida da obra removida da superfície da peça de teste por meio de imersão da mesma em um peróxido de hidrogênio aquoso em temperatura ambiente com uma adição de uma quantidade insignificante de ácido hidrófluórico. Ela foi submetida a um teste de difração de raios X a fim de medir a largura de meio-valor para o pico da face de cristal [211].

Além disso, uma barra redonda com um diâmetro de porção paralela de 6 mm e um comprimento de porção paralela de 40 mm foi amostrada como uma peça de teste de tração a partir dos materiais de aço na direção de laminação, e submetida a um teste de tração à temperatura ambiente, e a resistência da peça de teste foi determinada com base no valor medido para YS.

Dois tipos de métodos, um teste de carga constante e um teste DCB, foram conduzidos para avaliação da resistência SSC. Os resultados são mostrados na Tabela 2.

Primeiramente, foi conduzida uma avaliação pelo teste de carga constante com a amostragem de uma barra redonda, com um diâmetro de porção paralela de 6,35 mm e um comprimento de porção paralela de 25,4 mm, como uma peça de teste de tração originária dos materiais de aço na direção de laminação e de acordo com o método NACE (Associação Nacional de Engenheiros de Corrosão) TM 0177A. Dois tipos de banhos de teste foram usados. Um deles é uma solução aquosa de 5% em massa de cloreto de sódio + 0,5% em massa de ácido acético à temperatura ambiente saturada com um gás de sulfeto de hidrogênio (equilibrado com dióxido de carbono

gasoso) em 0,1 atm (adiante denominado de "banho A"). O outro tipo é uma solução aquosa de 5% em massa de cloreto de sódio + 0,5 % em massa de ácido acético em temperatura ambiente saturada com gás de sulfeto de hidrogênio em 1 atm (adiante denominado de "banho B"). As peças de teste foram julgadas, cada qual, em termos de sua rachadura ou não dentro de 720 horas em um carregamento de 90% de esforço para o valor YS mostrado na Tabela 2. Uma peça de teste não-fraturada foi avaliada como apresentando uma boa resistência SSC.

Depois, a avaliação pelo teste DCB foi conduzida pela amostragem de uma peça retangular com 10 mm de espessura, 20 mm de largura e 10 mm de comprimento como uma peça de teste DCB (viga cantiléver dupla encurvada) originária dos materiais de aço, de acordo com o método NACE TM 0177D. As peças de testes foram imersas no banho A e no banho B por 336 horas a fim de medirem o valor $K_{I,SSC}$ do fator de intensidade de esforço. Os valores medidos para os resultados são mostrados na Tabela 2. Em um caso onde o valor $K_{I,SSC}$ do fator de intensidade de esforço é 25 ou mais, julga-se que a resistência SSC é favorável.

Além disso, uma peça de disco de 70 mm de diâmetro e 1,5 mm de espessura foi amostrada como uma peça de teste originária dos materiais de aço, e o coeficiente de difusão de hidrogênio foi medido por um teste de permeação de hidrogênio.

A Figura 1 mostra uma vista esquemática de um aparelho de teste de permeação de hidrogênio. O banho usado para o teste SSC enche o lado de dentro da célula no lado do hidrogênio penetrante (célula de catodo 1). Uma solução aquosa de 1N NaOH enche o lado de dentro da célula no lado oposto (célula de anodo 2), e uma peça de teste 3 é mantida em um potencial constante de 0 V com relação ao eletrodo de referência 5 (eletrodo de prata-cloreto de prata, nesta concretização). Os átomos de hidrogênio gerados na célula de catodo são oxidados em íons de hidrogênio no momento em que eles permeiam a peça de teste, sendo desprendidos para a célula de anodo. O valor da corrente que flui entre a peça de teste e o contra-eletrodo 6 (contra-eletrodo de platina, nesta concretização) é medido por um

potenciostato 4 como o valor da corrente de permeação de hidrogênio.

A Figura 2 é um gráfico que mostra o valor da corrente de permeação de hidrogênio medido como resultado do teste de permeação de hidrogênio. Depois da imersão da peça de teste na solução, a permeação do hidrogênio ocorre com um lapso de tempo até que o valor da corrente de permeação de hidrogênio finalmente atinja o valor para estado estacionário (J_{max}), no qual o coeficiente de difusão de hidrogênio D , que mostra a capacidade de aprisionamento de hidrogênio dos materiais de aço, é medido com base no processo de transição (elevação da curva) até o estado estacionário. Neste caso, o coeficiente de difusão de hidrogênio D é calculado com base no tempo $t_{1/2}$ exigido para alcançar o meio-valor do valor de estado estacionário (J_{max}) de acordo com a seguinte equação (2).

$$D = L^2 / (7,14 t_{1/2}) \quad \text{equação (2)}$$

na qual, D : coeficiente de difusão de hidrogênio (cm^2/s),
 L : espessura do espécime (cm),
 $t_{1/2}$: tempo (s) até que o valor da corrente de permeação de hidrogênio atinja metade do valor estacionário

A Tabela 2 mostra o resultado do cálculo para o coeficiente de difusão de hidrogênio D ($10^{-6} \text{ cm}^2/\text{s}$). A Tabela 2 também descreve as condições de fabricação para os materiais de aço (taxa de usinagem total, temperatura de acabamento de laminação, temperatura de resfriamento brusco), resistência (YS), largura de meio-valor H (grau) e resultados do teste SSC (teste de carga constante, teste DCB) juntos.

A Figura 3 é um gráfico que dispõe o resultado do teste de carga constante no qual o eixo horizontal representa a largura de meio-valor H (grau) e a coluna representa o coeficiente de difusão de hidrogênio D ($10^{-6} \text{ cm}^2/\text{s}$). Pode ser visto que a resistência SSC é aperfeiçoada, à medida que tanto a largura de meio-valor como o coeficiente de difusão de hidrogênio são diminuídos. Pode ser reconhecido que a resistência SSC suficiente para a classe de 862 MPa (125 ksi) será assegurada, quando a relação entre a largura de meio-valor H (grau) e o coeficiente de difusão de hidrogênio D ($10^{-6} \text{ cm}^2/\text{s}$) puder satisfazer a seguinte equação (1):

$$30H + D \leq 19,5$$

equação (1)

Agora, será descrito um método de diminuir a largura de meio-valor e o coeficiente de difusão de hidrogênio de um aço. O aço para tubos de poços de petróleo, de acordo com a invenção, pode ser provido com largura de meio-valor e coeficiente de difusão de hidrogênio que satisfazem a equação (1) com o controle das condições de fabricação para os materiais de aço (taxa de usinagem total, temperatura de acabamento de laminação, temperatura de resfriamento brusco) e composição química, mesmo para o aço de alta resistência, conforme mostrado em (i) a (iv) abaixo.

(i) A Figura 4 mostra o resultado da investigação para a correlação entre a taxa de usinagem total e a largura de meio-valor para o aço (a) na Tabela 1. Conforme pode ser visto a partir da Figura 4, a largura de meio-valor aumentará, quando a taxa de usinagem total for grande demais. É considerado que isto será atribuído ao esforço de trabalho durante a laminação que ainda permanece depois do tratamento térmico, quando a taxa de usinagem total for grande demais. Além disso, a largura de meio-valor também será aumentada, quando a taxa de usinagem total for pequena demais. É considerado que isto é atribuído à microestrutura grossa que será desenvolvida depois do resfriamento brusco, quando a taxa de usinagem total for pequena demais.

A Figura 5 mostra o resultado da investigação para a correlação entre a temperatura de acabamento de laminação e a largura de meio-valor, e a correlação entre a temperatura de acabamento de laminação e o coeficiente de difusão de hidrogênio do aço (a) na Tabela 1. Conforme pode ser visto a partir da Figura 5, a largura de meio-valor e o coeficiente de difusão de hidrogênio diminuem à medida que a temperatura de acabamento de laminação aumenta. É considerado que isto é atribuído ao fato de, à medida que a temperatura de acabamento de laminação aumenta, os elementos de formação de carbureto fino, tais como Mo e V, serem soluto suficientemente sólido no aço com a conclusão da laminação, o que leva à precipitação de carburetos finos durante o tratamento térmico subsequente.

(iii) A Figura 6 mostra o resultado da investigação para a corre-

lação entre a temperatura de resfriamento brusco e a largura de meio-valor, e a correlação entre a temperatura de resfriamento brusco e o coeficiente de difusão de hidrogênio. Conforme pode ser visto a partir da Figura 6, tanto o meio-valor como o coeficiente de difusão de hidrogênio diminuem à medida que a temperatura de resfriamento brusco aumenta. Também é considerado que isto é atribuído ao fato de, similar a (ii) acima, à medida que a temperatura de resfriamento brusco aumenta, os elementos de formação de carbureto fino, tais como Mo e V, serem soluto suficientemente sólido no aço com a conclusão da laminação, o que leva à precipitação de carburetos finos durante o tratamento térmico subsequente.

(iv) Pode ser visto, a partir da Tabela 2 descrita acima, que tanto a largura de meio-valor como o coeficiente de difusão de hidrogênio aumentam e a resistência SSC não é favorável no aço (b) com o baixo teor de V e no aço (d) com baixo teor de Mo, mesmo quando fabricado sob as mesmas condições como no aço (a). É considerado que isto é atribuído ao fato de a quantidade de V e Mo ser insuficiente para formar carburetos finos.

Pode também ser visto, a partir da Tabela 2 descrita acima, que a largura de meio-valor diminui no aço (c) de alto teor de Cr. É considerado que isto é atribuído ao fato de Cr ser soluto suficientemente sólido no aço, o que leva ao aumento da densidade de deslocamento.

Conseqüentemente, a fim de diminuir a largura de meio-valor e o coeficiente de difusão de hidrogênio de modo suficiente, é necessário controlar a Cr em 1,0% ou menos, Mo em 0,5% ou mais, e V em 0,05% ou mais em porcentagem em massa.

25 B. Composição química do aço

A composição química do aço para tubos de poços de petróleo, de acordo com a invenção, é agora descrita. "%" representa aqui "% em massa".

C: 0,2 a 0,35%

30 C é um elemento que efetivamente aumenta a temperabilidade, aperfeiçoando assim a resistência. Em um caso onde o teor é menor do que 0,2%, a temperabilidade diminui, caindo assim para obter uma resistência

suficiente. Por outro lado, quando o teor exceder 0,35%, a rachadura por resfriamento brusco aumentará, de modo que um limite superior seja definido como 0,35%. Uma faixa preferida é de 0,25 a 0,30%.

Si: 0,05 a 0,5%

5 Si é um elemento eficaz na desoxidação do aço e tem também um efeito de aumentar a resistência ao amolecimento da têmpera. Com o objetivo de desoxidação, ele tem que conter 0,05% ou mais. Por outro lado, quando o teor exceder 0,5%, ele promoverá a precipitação de uma fase de ferrita como uma fase amolecida e deteriorará a tenacidade e a resistência
10 SSC. Conseqüentemente, o teor de Si é definido como 0,05 a 0,5%. Uma faixa preferida é de 0,05 a 0,3%.

Mn: 0,05 a 1,0%

Mn é um elemento eficaz para assegurar a temperabilidade do aço. Em vista dessa finalidade, ele tem que conter 0,05% ou mais. Por outro
15 lado, quando ele exceder 1%, ele será separado juntamente com os elementos de impureza, tais como P e S, em um contorno de grão que deteriora a tenacidade e a resistência SSC. Conseqüentemente, o teor de Mn é definido como 0,05 a 1%. Uma faixa desejável é de 0,1 a 0,6%.

P: 0,025% ou menos

20 P é separado no contorno de grão que deteriora a tenacidade e a resistência SSC. Uma vez que este efeito se torna notável, quando o teor exceder 0,025%, o limite superior será definido como 0,025%. O limite superior para P é preferivelmente 0,015%. É desejável que o teor de P seja tão pequeno quanto possível.

25 S: 0,01% ou menos

S também é separado no contorno de grão, similar a P, que deteriora a tenacidade e a resistência SSC. Uma vez que o efeito se torna notável, quando o teor exceder 0,01%, o limite superior será definido como 0,01%. O limite superior para S é preferivelmente 0,003%. É desejável que o
30 teor de S seja tão pequeno quanto possível.

Al: 0,005 a 0,10%

Al é um elemento que é eficaz na desoxidação do aço. Quando

o teor for menor do que 0,005%, um efeito suficiente não poderá ser obtido. Por outro lado, uma vez que o efeito é saturado, mesmo quando ele exceder 0,10%, o limite superior do mesmo será definido como 0,10%. O teor de Al na invenção indica Al solúvel em ácido (assim denominado de "Al sol.>").

5 Cr: 0,1 a 1,0%

Cr é um elemento que efetivamente aperfeiçoa a temperabilidade do aço. A fim de se obter este efeito, ele tem que conter 0,1% ou mais. Contudo, em um caso em que o teor excede 1,0%, ele aumenta a densidade de deslocamento do aço, o que deteriora a resistência SSC. Conseqüentemente, o teor de Cr é definido como 0,1 a 1,0%. Uma faixa preferida é de 0,1 a 0,6%.

Mo: 0,5 a 1,0%

Mo é um elemento importante no aço da invenção, uma vez que ele aperfeiçoa a temperabilidade do aço, bem como forma os carburetos finos durante a têmpera. Ele também diminui a largura de meio-valor e o coeficiente de difusão de hidrogênio, que aperfeiçoa a resistência SSC. A fim de se obter este efeito, ele tem que conter 0,5% ou mais. Por outro lado, uma vez que o efeito do mesmo seja saturado, mesmo que ele contenha mais de 1,0%, o limite superior é definido como 1,0%. Uma faixa preferida é de 0,6 a 0,8%.

Ti: 0,002 a 0,05%

Ti apresenta um efeito de formação de nitreto com a reação com N que é uma impureza no aço. A quantidade de Ti, que não teve qualquer reação com N, forma precipitados finos de carburetos que, pelo efeito de carregamento, resultam efetivamente em aço de grãos finos. A formação de nitreto também suprime a reação de N com B que é acrescentada para o aperfeiçoamento da temperabilidade do aço, o que resulta na manutenção de B em um estado de soluto sólido que assegura uma temperabilidade suficiente.

A fim de se obter isto, Ti tem que conter 0,002% ou mais. Por outro lado, o efeito será saturado e a tenacidade será deteriorada, mesmo quando ele contiver mais de 0,05%. Então, o limite superior é definido como

0,05%. Um teor preferido é de 0,005 a 0,03%. Um teor preferido adicional é de 0,01 a 0,02%.

V: 0,05 a 0,3%

V é um elemento importante no aço da invenção. Ele precipita a formação de carburetos finos durante a têmpera, similar a Mo, que são eficazes a fim de diminuir a largura de meio-valor e também o coeficiente de difusão de hidrogênio durante a têmpera alta temperatura. A fim de se obter isto, o conteúdo tem que conter 0,05% ou mais. Por outro lado, o efeito será saturado, mesmo quando ele contiver mais de 0,3%. Então, o limite superior é definido como 0,3%. Uma faixa preferida é de 0,05 a 0,20%.

B: 0,0001 a 0,005%

Mesmo uma quantidade insignificante de B apresenta um efeito de aperfeiçoar a temperabilidade do aço. Se o conteúdo for menor do que 0,0001%, o efeito não será suficiente. Por outro lado, quando ele exceder 0,005%, o efeito será saturado e formará $Cr_{23}(C,B)_6$ como carburetos grossos no contorno de grão que deteriora a resistência SSC. Conseqüentemente, o limite superior é definido como 0,005%. Uma faixa preferida é de 0,0002 a 0,002%.

N: 0,01% ou menos

N existe como uma impureza no aço e é separado no contorno de grão que deteriora a resistência SSC. Além disso, com o acréscimo de Ti e Zr, ele forma TiN ou ZrN. Se o teor de N exceder 0,01%, a quantidade excessiva de N que não foi alcançada com Ti ou Zr formará precipitados de BN. Isto resulta em um efeito insuficiente de aperfeiçoar a temperabilidade com o acréscimo de B, o que deteriora a resistência SSC e a tenacidade. Conseqüentemente, o limite superior é definido como 0,01%. O limite superior de N é preferivelmente de 0,007%. É desejável que o teor de N seja tão pequeno quanto possível.

O (oxigênio): 0,01 ou menos

O (oxigênio) existe como uma impureza no aço, similar a N. Se o teor exceder 0,01%, ele formará óxidos grossos que deterioram a tenacidade e a resistência SSC. Conseqüentemente, o limite superior é definido como

0,01%. O limite superior para O (oxigênio) é preferivelmente de 0,005%. É desejável que o teor de O (oxigênio) seja tão pequeno quanto possível.

Com relação ao aço para tubos de poços de petróleo, de acordo com a invenção, ele poderia conter outros componentes, tais como Nb, Zr, Ca e Mg, além de Fe.

Nb: 0 a 0,1%

Nb é opcionalmente acrescentado. Quando acrescentado, ele formará precipitados de carbureto que, pelo efeito de carregamento, resultam efetivamente em aço de grãos finos. A fim de obter este efeito, ele tem que conter 0,002% ou mais. Por outro lado, o efeito será saturado e a tenacidade será deteriorada devido aos carburetos excessivamente formados de Nb, mesmo quando ele contiver mais de 0,1%. Então, o limite superior é definido como 0,1%. Uma faixa preferida é de 0,005 a 0,03%.

Zr: 0 a 0,1%

Zr é opcionalmente acrescentado. Quando acrescentado, ele terá o efeito de formação de nitreto pela reação com N que é uma impureza no aço. A quantidade de Zr, que não teve qualquer reação com N, forma precipitados finos de carburetos que, pelo efeito de carregamento, resultam efetivamente em aço de grãos finos. A formação de nitreto suprime a reação de N com B que é acrescentado para o aperfeiçoamento da temperabilidade do aço, o que resulta na manutenção de B em um estado de soluto sólido que assegura uma temperabilidade suficiente.

A fim de obter isto, Zr tem que conter 0,002% ou mais. Por outro lado, o efeito será saturado e a tenacidade será deteriorada, mesmo quando ele contiver mais de 0,1%. Depois, o limite superior é definido como 0,1%. Um teor preferido é de 0,005 a 0,06%. Um teor preferido adicional é de 0,01 a 0,04%.

Ca: 0 a 0,01%

Ca é opcionalmente acrescentado. Quando acrescentado, ele será combinado com S no aço para a formação de sulfetos e aperfeiçoará uma forma de inclusões, o que aperfeiçoa a resistência SSC. A fim de obter isto, ele tem que conter 0,0001% ou mais. Por outro lado, o efeito será satu-

rado e a tenacidade e a resistência SSC serão deterioradas devido às inclusões grossas formadas de Ca, mesmo quando ele contiver mais de 0,01%. Depois, o limite superior é definido como 0,01%. Uma faixa preferida é de 0,0003 a 0,003%.

5 Mg: 0 a 0,01%

Mg é opcionalmente acrescentado. Quando acrescentado, ele será combinado com S no aço, similar a Ca, para a formação de sulfetos e aperfeiçoará a forma das inclusões e aperfeiçoará a resistência SSC. A fim de obter isto, ele tem que conter 0,0001% ou mais. Por outro lado, o efeito será saturado e a tenacidade e a resistência SSC serão deterioradas devido às inclusões grossas formadas de Mg, mesmo quando ele contiver mais de 0,01%. Então, o limite superior será definido como 0,01%. Uma faixa preferida é de 0,0003 a 0,003%.

EXEMPLO 1

15 Os aços das composições químicas mostradas na Tabela 3 foram fundidos em lingotes com um diâmetro externo de 225 a 310 mm. Depois de aquecer os lingotes a 1250°C, eles foram formados em tubos de aço sem costura de vários tamanhos por um método de fabricação de tubo de mandril Mannesmann. Neste caso, a taxa de usinagem total (%) com a formação e a temperatura de acabamento (°C) com a laminação final foram variadas. Depois, a resistência foi controlada pelo resfriamento brusco da água que esfria depois de mantida em várias temperaturas por 30 minutos, seguido pela têmpera do ar que esfria depois de mantida em várias temperaturas por 30 minutos.

Tabela 3

Q	Composição química (porcentagem em massa)																
	C	Si	Mn	P	S	sol.Al	Cr	Mo	Ti	V	B	Nb	Zr	Ca	Mg	N	O
A	0,25	0,20	0,44	0,005	0,0031	0,030	0,51	0,73	0,015	0,11	0,0011	-	-	-	-	0,0041	0,0040
B	0,29	0,18	0,45	0,004	0,0022	0,031	0,49	0,74	0,014	0,25	0,0010	-	-	-	-	0,0053	0,0033
C	0,27	0,22	0,51	0,005	0,0019	0,033	0,51	0,95	0,016	0,24	0,0006	-	-	-	-	0,0037	0,0028
D	0,25	0,19	0,43	0,006	0,0034	0,029	0,95	0,71	0,014	0,11	0,0005	0,024	-	-	-	0,0033	0,0038
E	0,27	0,18	0,44	0,003	0,0025	0,033	0,68	0,73	0,013	0,06	0,0009	-	0,015	-	-	0,0038	0,0044
F	0,25	0,23	0,41	0,006	0,0051	0,034	0,51	0,54	0,015	0,11	0,0009	0,022	0,013	-	-	0,0039	0,0028
G	0,25	0,21	0,35	0,005	0,0028	0,021	0,53	0,75	0,013	0,09	0,0007	-	-	0,0031	-	0,0037	0,0031
H	0,27	0,24	0,76	0,005	0,0021	0,033	0,53	0,73	0,016	0,12	0,0009	0,025	-	0,0035	-	0,0043	0,0034
I	0,30	0,22	0,30	0,002	0,0018	0,021	0,54	0,71	0,013	0,06	0,0011	-	0,009	0,0033	-	0,0028	0,0046
J	0,29	0,12	0,76	0,005	0,0011	0,024	0,21	0,68	0,013	0,20	0,0008	0,023	0,014	0,0022	-	0,0035	0,0031
K	0,28	0,20	0,43	0,004	0,0023	0,021	0,50	0,74	0,013	0,11	0,0009	-	-	-	0,0045	0,0045	0,0045
L	0,27	0,17	0,44	0,005	0,0018	0,023	0,51	0,69	0,015	0,10	0,0012	0,031	-	-	0,0018	0,0050	0,0061
M	0,29	0,18	0,40	0,003	0,0025	0,024	0,48	0,71	0,008	0,09	0,0009	-	0,010	-	0,0017	0,0043	0,0031
N	0,26	0,16	0,44	0,004	0,0018	0,026	0,52	0,73	0,014	0,10	0,0010	-	-	0,0011	0,0012	0,0051	0,0041
O	0,28	0,18	0,45	0,005	0,0022	0,032	0,50	0,76	0,008	0,15	0,0011	0,024	0,008	-	0,0028	0,0060	0,0034
P	0,27	0,15	0,42	0,003	0,0021	0,030	0,50	0,81	0,014	0,10	0,0010	0,021	-	0,0010	0,0013	0,0052	0,0033
Q	0,28	0,22	0,45	0,004	0,0015	0,025	0,51	0,71	0,009	0,10	0,0011	-	0,011	0,0011	0,0011	0,0053	0,0030
R	0,27	0,19	0,46	0,006	0,0021	0,028	0,49	0,67	0,008	0,09	0,0012	0,030	0,009	0,0012	0,0013	0,0051	0,0041
S	0,27	0,13	0,42	0,007	0,0009	0,022	0,54	0,94	0,015	0,12	0,0015	-	-	-	-	0,0039	0,0038
T	0,26	0,27	0,44	0,008	0,0024	0,034	1,01	0,75	0,015	0,10	0,0004	-	-	-	-	0,0035	0,0035
U	0,25	0,33	0,45	0,006	0,0031	0,023	0,51	0,78	0,015	0,19	0,0003	-	-	-	-	0,0041	0,0043
V	0,26	0,24	0,48	0,005	0,0022	0,024	1,23*	0,76	0,017	0,11	0,0001	-	-	-	-	0,0038	0,0041
W	0,29	0,22	0,46	0,004	0,0022	0,035	0,98	0,45*	0,015	0,09	0,0005	-	-	-	-	0,0041	0,0046
X	0,27	0,20	0,45	0,006	0,0016	0,019	0,53	0,77	0,013	0,03*	0,0009	-	-	-	-	0,0036	0,0048

nota: O equilíbrio é Fe e impurezas. * indica fora do escopo da presente invenção.

Uma peça de teste dimensionada de 1 x 10 x 10 mm³ foi amostrada do tubo de aço sem costura obtido, polida por meio de lixa de esmeril nº 1200, sendo então a camada endurecida da obra removida da superfície da peça de teste com a imersão da mesma em uma solução de peróxido de hidrogênio aquoso em uma temperatura ambiente, com a adição de uma pequena quantidade de ácido fluorídrico. Ela foi submetida a um teste de difração de raios X a fim de medir a largura de meio-valor para o pico na face de cristal [211].

Além disso, barras redondas, com um diâmetro de porção paralela de 6 mm e um comprimento de porção paralela de 40 mm, foram amostradas como uma peça de teste de tração originária de materiais de aço na direção de laminação, e submetida a um teste de tração à temperatura ambiente, e a resistência da peça de teste foi determinada com base no valor medido para YS.

A resistência SSC foi avaliada de acordo com dois métodos, o teste de carga constante e o teste DCB, que são descritos acima.

Além disso, as peças de disco de 12 a 20 mm de diâmetro e 1,5 mm de espessura foram amostradas como peças de teste originárias de materiais de aço, e o coeficiente de difusão de hidrogênio foi medido por um teste de permeação de hidrogênio.

A Tabela 4 mostra as condições de fabricação para os materiais de aço, YS, largura de meio-valor, coeficiente de difusão de hidrogênio e resultados do teste SSC.

Tabela 4

Teste nº	Aço	Taxa de usinagem total (%)	Temperatura de acabamento de laminação (°C)	Temperatura de resfriamento brusco (°C)	Resistência YS (MPa)	Largura de meio-valor H (grau)	Coeficiente de difusão de hidrogênio D (10 ⁻⁶ cm ² /s)	30H+D	Banho de teste	Resultado do teste SSC	
										Teste de carga constante	Teste DCB (fator de intensidade de esforço K _{ISSC})
1	A	17,8	1100	920	944	0,42	3,10	15,7	A	O	31,1
2	B	20,5	1050	910	958	0,46	2,40	16,2	A	O	27,3
3	C	15,3	1030	920	965	0,35	2,10	12,6	A	O	29,3
4	D	13,8	1040	920	951	0,37	1,80	12,9	A	O	29,5
5	E	25,3	960	1050	971	0,47	1,90	16,0	A	O	29,3
6	F	8,2	1030	930	944	0,54	2,00	18,2	A	O	31,3
7	G	13,8	990	920	951	0,46	3,50	17,3	A	O	30,4
8	H	14,1	1100	920	944	0,45	4,30	17,8	A	O	26,4
9	I	14,6	1010	920	958	0,42	1,90	14,5	A	O	31,1
10	J	36,5	1050	920	951	0,51	1,30	16,6	A	O	31,4
11	K	20,5	1100	920	958	0,46	2,3	16,1	A	O	28,5
12	L	21,5	1050	920	951	0,47	2,4	16,5	A	O	29,1
13	M	20,5	1100	920	944	0,45	1,9	15,4	A	O	30,2
14	N	21,5	1050	920	958	0,47	2,1	16,2	A	O	29,5
15	O	19,5	1050	1050	951	0,48	2,3	16,7	A	O	28,3
16	P	19,5	1050	920	958	0,41	2,2	14,5	A	O	29,1
17	Q	20,5	1100	920	951	0,45	1,8	15,3	A	O	31,0
18	R	19,5	1050	920	958	0,45	2,3	15,8	A	O	29,5

Presente Invenção

Continuação

Teste nº	Taxa de usinagem total (%)	Temperatura de acabamento de laminação (°C)	Temperatura de resfriamento brusco (°C)	Resistência YS (MPa)	Largura de meio-valor H (grau)	Coeficiente de difusão de hidrogênio D (10 ⁻⁶ cm ² /s)	30H+D	Banho de teste	Resultado do teste SSC	
									Teste de carga constante	Teste DCB (fator de intensidade de esforço K _{issc})
19	63,5	1050	920	944	0,59	2,20	19,9	A	x	24,1
20	15,5	930	920	937	0,61	6,31	24,6	A	x	19,1
21	15,5	1050	920	944	0,49	6,90	21,6	A	x	23,4
22	15,5	1040	920	937	0,61	2,31	20,6	A	x	22,6
23	24,6	1050	920	944	0,59	6,90	24,6	A	x	19,8
24	25,5	1030	920	937	0,61	7,31	25,6	A	x	18,1
25	17,8	1100	920	861	0,42	3,10	15,7	B	O	30,1
26	20,5	1050	910	854	0,46	2,40	16,2	B	O	29,4
27	15,3	1030	920	861	0,35	2,10	12,6	B	O	28,8
28	13,8	1040	920	854	0,37	3,80	14,9	B	O	29,4

Comparativo

Presente In-venção

Os testes de nºs de 1 a 18 indicam peças de teste que apresentam uma resistência controlada com relação ao valor YS nas proximidades de 965 MPa (limite superior para a classe 125 ksi). O teste SSC (teste de carga constante, teste DCB) foi conduzido com o banho A para avaliação.

5 Em todas as peças de teste, a largura de meio-valor H (grau) e o coeficiente de difusão de hidrogênio D (10^{-6} cm²/s) satisfizeram a equação (1) descrita anteriormente. Não ocorreu qualquer fratura no teste de carga constante, e o valor K_{ISSC} , conforme medido pelo teste DCB, foi de 25 ou mais, e a resistência SSC foi favorável.

10 Ao contrário, a taxa de usinagem total era grande para o teste de nº 19, a temperatura de acabamento de laminação era baixa para o teste de nº 20, e a temperatura de resfriamento brusco era baixa para o teste de nº 21. Conseqüentemente, a largura de meio-valor e o coeficiente de difusão de hidrogênio aumentaram, e a resistência SSC não foi favorável para qualquer um deles. Cr foi mais do que 1,0% para o teste de nº 22, Mo foi menor do que 0,5% para o teste de nº 23 e V foi menor do que 0,05% para o teste de nº 24. Conseqüentemente, a largura de meio-valor e o coeficiente de difusão de hidrogênio aumentaram, e a resistência SSC não foi favorável em qualquer deles.

20 Além disso, os testes de nºs 25 a 28 indicam peças de teste que usam aços de A a D e que apresentam uma resistência controlada com relação ao valor YS nas proximidades de 861 MPa (limite superior para a classe Ksi 110). Tais peças de teste, como os testes de nºs de 1 a 18, não mostraram qualquer fratura no teste de carga constante, e o valor K_{ISSC} medido pelo teste DCB foi de 25 ou mais e a resistência SSC foi favorável.

25 Conforme descrito acima, os aços da invenção mostram uma excelente resistência SSC na classe de 125 ksi nos testes de nºs de 1 a 18, bem como uma excelente resistência SSC na classe de 110 ksi nos testes de nos de 21 a 28.

30 APLICABILIDADE INDUSTRIAL

A presente invenção pode estavelmente prover tubos de poços de petróleo apresentando uma excelente resistência SSC mesmo com uma

alta resistência de 861 MPa ou mais de limite (superior) de escoamento (YS).

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS ANEXOS

5 A Figura 1 é uma vista esquemática de um aparelho de teste de permeação de hidrogênio.

A Figura 2 é um gráfico que mostra um valor da corrente de permeação de hidrogênio medido como resultado de um teste de permeação de hidrogênio.

10 A Figura 3 é um gráfico que dispõe um resultado do teste de carga constante no qual o eixo horizontal representa uma largura de meio-valor H (grau) e a coluna representa um coeficiente de difusão de hidrogênio D ($\times 10^{-6}$ cm²/s).

15 A Figura 4 mostra um resultado de investigação para correlação entre uma taxa de usinagem total (%) e a largura de meio-valor H (grau) para o aço (a) na Tabela 1.

20 A Figura 5 mostra o resultado de investigação para a correlação entre uma temperatura de acabamento de laminação (°C) e a largura de meio-valor H (grau), e a correlação entre a temperatura de acabamento de laminação (°C) e o coeficiente de difusão de hidrogênio ($\times 10^6$ cm²/s) para o aço (a) na Tabela 1.

25 A Figura 6 mostra um resultado da investigação para a correlação entre uma temperatura de resfriamento brusco (°C) e a largura de meio-valor H (grau), bem como a correlação entre a temperatura de resfriamento brusco (°C) e o coeficiente de difusão de hidrogênio ($\times 10^6$ cm²/s) para o aço (a) na Tabela 1.

EXPLANAÇÃO DOS NUMERAIS

1	célula de catodo
2	célula de anodo
3	peça de teste
30 4	potenciostato
5	eletrodo de referência
6	contra-eletrodo

REIVINDICAÇÕES

1. Aço de baixo teor de liga para tubos de poços de petróleo, com, em porcentagem em massa, C: 0,2 a 0,35%, Si: 0,05 a 0,5%, Mn: 0,05 a 1,0%, P: 0,025% ou menos, S: 0,01% ou menos, Al: 0,005 a 0,10%, Cr: 0,1 a 1,0%, Mo: 0,5 a 1,0%, Ti: 0,002 a 0,05%, V: 0,05 a 0,3%, B: 0,0001 a 0,005%, N: 0,01% ou menos, O (oxigênio): 0,01% ou menos, Nb: 0 a 0,1%, Ca: 0 a 0,01 %, Mg: 0 a 0,01%, e Zr: 0 a 0,1%, caracterizado pelo fato de que uma largura de meio-valor H (grau) para o pico da face de cristal [211] medida por difração de raio x e o coeficiente de difusão de hidrogênio D (10^{-6} cm²/s) satisfazem a seguinte equação (1):

$$30H + D \leq 19,5 \quad \text{equação (1).}$$

2. Aço de baixo teor de liga para tubos de poços de petróleo, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que um limite superior de escoamento é de 861 MPa ou mais.

3. Aço de baixo teor de liga para tubos de poços de petróleo, de acordo com a reivindicação 1 ou 2, caracterizado por adicionalmente conter Nb: 0 a 0,1% em massa.

4. Aço de baixo teor de liga para tubos de poços de petróleo, de acordo com qualquer das reivindicações de 1 a 3, caracterizado por adicionalmente conter um ou ambos de Ca: 0 a 0,01% e Mg: 0 a 0,01% em massa.

5. Aço de baixo teor de liga para tubos de poços de petróleo, de acordo com qualquer das reivindicações de 1 a 4, caracterizado por adicionalmente conter Zr: 0 a 0,1% em massa.

Fig. 1

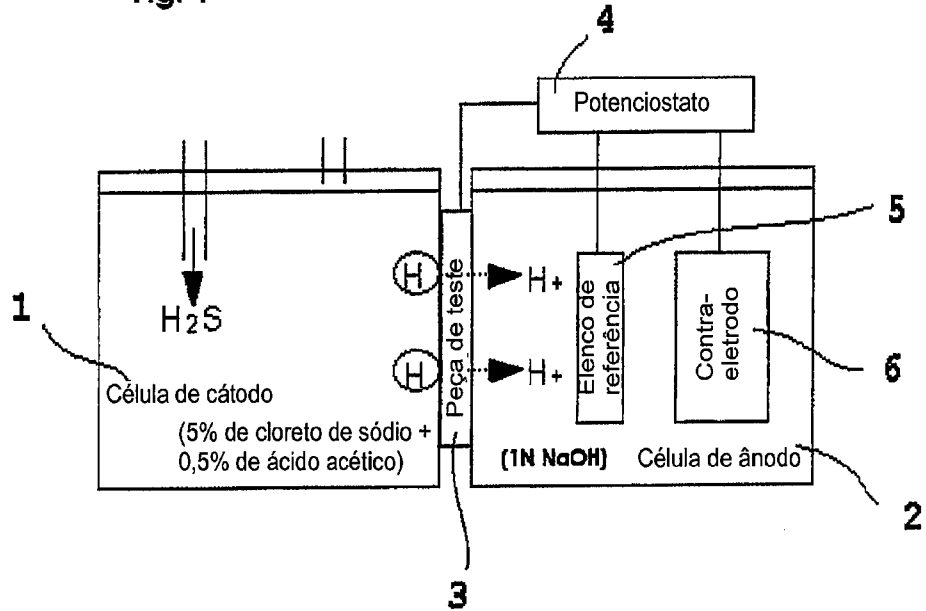


Fig. 2

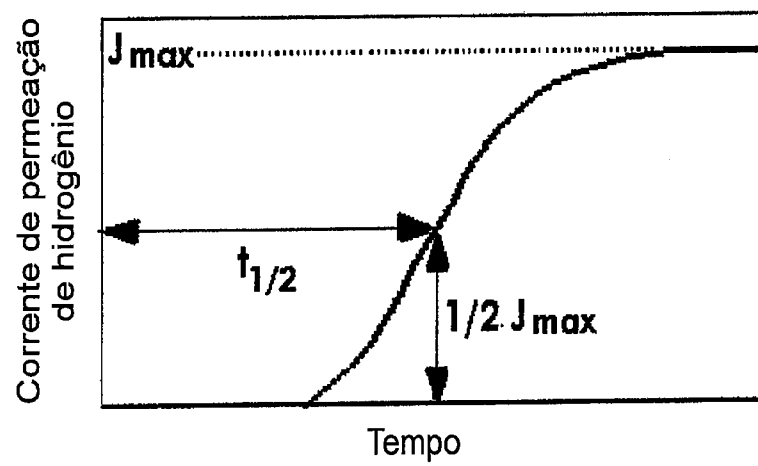


Fig. 3

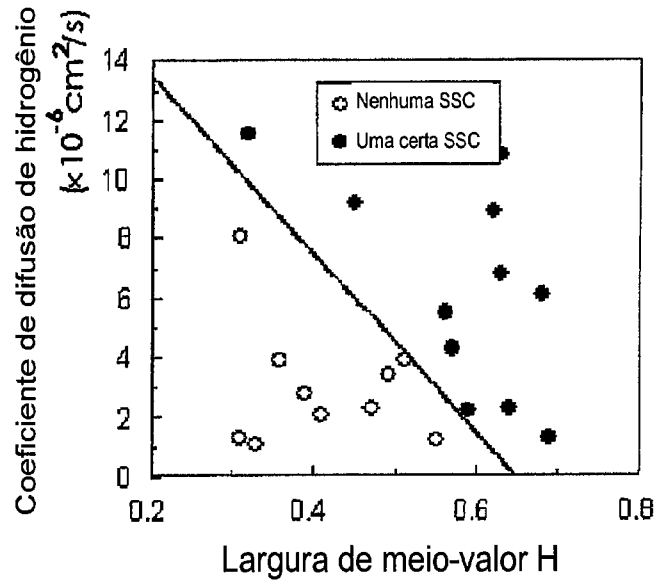


Fig. 4

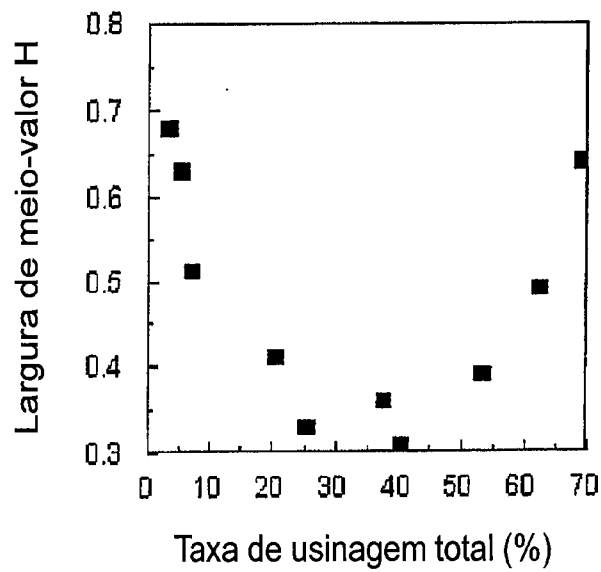


Fig. 5

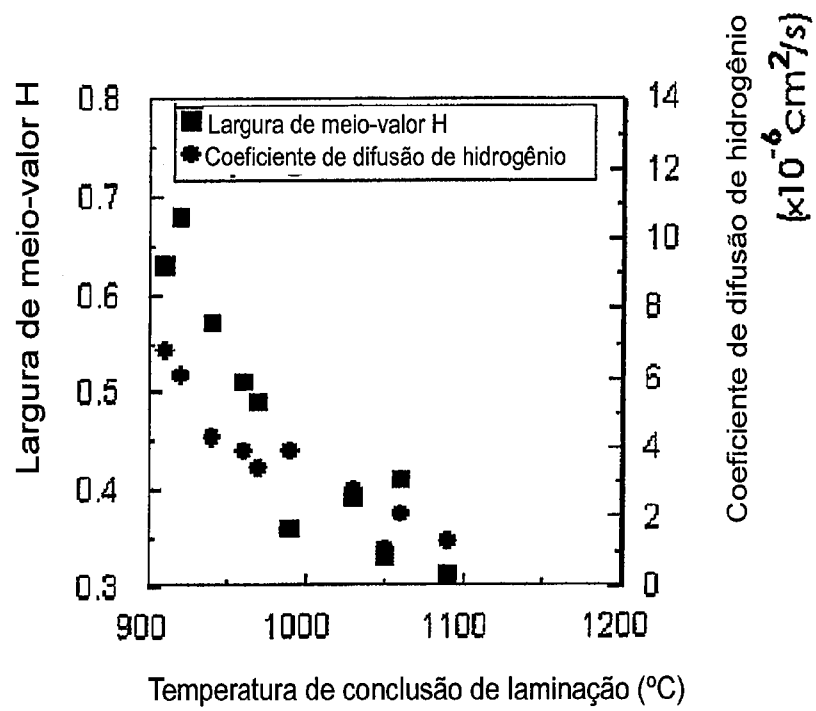
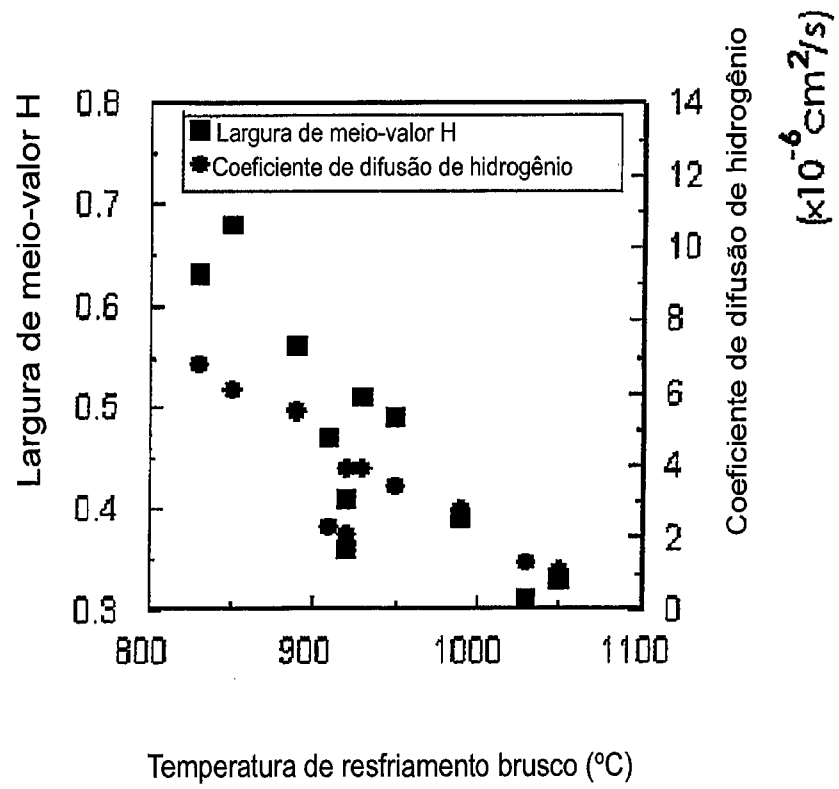


Fig. 6



RESUMO

Patente de Invenção: "AÇO DE BAIXO TEOR DE LIGA PARA TUBOS DE POÇOS DE PETRÓLEO".

5 A presente invenção refere-se a um aço de baixo teor de liga para tubos de poços de petróleo com uma excelente resistência à fissuração sob tensão de sulfeto, que seja adequado para tubos de revestimento ou tubos de produção para poços de petróleo ou poços de gás.

Aço de baixo teor de liga para tubos de poços de petróleo, com, em porcentagem em massa, C: 0,2 a 0,35%, Si: 0,05 a 0,5%, Mn: 0,05 a 10 1,0%, P: 0,025% ou menos, S: 0,01% ou menos, Al: 0,005 a 0,10%, Cr: 0,1 a 1,0%, Mo: 0,5 a 1,0%, Ti: 0,002 a 0,05%, V: 0,05 a 0,3%, B: 0,0001 a 0,005%, N: 0,01% ou menos, O (oxigênio): 0,01% ou menos, Nb: 0 a 0,1%, Ca: 0 a 0,01 %, Mg: 0 a 0,01%, e Zr: 0 a 0,1%, sendo que a largura de meio-valor H (grau) para o pico da face de cristal [211] medido por difração de 15 raio x e o coeficiente de difusão de hidrogênio D (10^{-6} cm²/s) satisfazem a seguinte equação (1):

$$30H + D \leq 19,5$$

equação (1).