República Federativa do Brasil
Ministério da Indústria, Comércio Exterior
e Serviços
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

**(11) PI 0613975-2 B1**

*BRPI0613975B1*

**(22) Data do Depósito:** 26/07/2006

**(45) Data de Concessão:** 21/11/2017

**(54) Título:** TUBO DE AÇO SEM COSTURA E SEU MÉTODO DE PRODUÇÃO

**(51) Int.Cl.:** C22C 38/00; C21D 8/10; C21D 9/08; C22C 38/58

**(30) Prioridade Unionista:** 26/07/2005 JP 2005-216233

**(73) Titular(es):** NIPPON STEEL & SUMITOMO METAL CORPORATION

**(72) Inventor(es):** YUJI ARAI; KUNIO KONDO; NOBUYUKI HISAMUNE

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para **"TUBO DE AÇO SEM COSTURA E SEU MÉTODO DE PRODUÇÃO".**

Campo Técnico

[001] A presente invenção refere-se a tubos sem costura excelentes em resistência, dureza e capacidade de soldagem, particularmente refere-se a tubos de aço sem costura de alta resistência e de paredes grossas adequados para linhas de fluxo submarinas, e seu método de produção. A parede grossa significa uma espessura de parede de não menos que 25 mm. A alta resistência significa uma resistência de não menos que X70 definida pela API (American Petroleum Institute), especificamente resistências de X70 (limite de elasticidade de não menos que 483 MPa), X80 (limite de elasticidade de não menos que 551 MPa), X90 (limite de elasticidade de não menos que 620 MPa), X100 (limite de elasticidade de não menos que 689 MPa), e X120 (limite de elasticidade de não menos que 827 MPa).

Fundamentos da Técnica

[002] Em anos recentes, fontes de petróleo e de gás localizadas em terra e em áreas de mar raso estão sendo esgotadas, e campos de petróleo submarinos em mar profundo foram ativamente desenvolvidos. Em um campo de petróleo de mar profundo, o petróleo bruto e o gás têm que ser transportados de um manancial no fundo do mar até uma plataforma flutuante pelo uso de uma linha de fluxo ou de um elevador.

[003] Uma linha de fluxo colocada no mar profundo que aceite alta pressão interna do fluido com uma pressão de formação profunda para o interior sofre repetidas distorções devido às ondas do oceano e, durante uma parada de operação, à pressão da água do mar profundo. Portanto, tubos de aço para a linha de fluxo acima mencionada requerem paredes grossas inoxidáveis com alta resistência e alta dureza, quando se considera um colapso e a fadiga do metal, em adição à re-

sistência.

[004] Tal tubo de aço inoxidável com alta resistência e dureza foi previamente produzido perfurando-se uma barra de aço aquecida até uma alta temperatura por um laminador de perfuração, laminando-se e alongando-se a mesma em uma forma de um produto tubo, e então executando-se um tratamento térmico. Por esse processo de produção, alta resistência, alta dureza e capacidade de soldagem são dadas ao tubo de aço.

[005] Em anos recentes, do ponto de vista de economia de energia e de aceleração do processo, a simplificação do processo de produção foi examinada aplicando-se tratamento térmico na linha, isto é, um tratamento térmico na linha de produção do tubo. Particularmente, prestando-se atenção ao uso eficaz do calor do aço após o trabalho a quente, é introduzido um processo de têmpera do tubo sem resfriar até a temperatura ambiente após a produção do tubo, onde uma economia significativa de energia e um aumento na eficiência do processo de produção podem ser alcançadas, o que reduz efetivamente o custo de produção.

[006] O tratamento térmico na linha, a têmpera direta após a laminação de acabamento, tende a provocar um cristal de grãos brutos, porque o processo não resfria o tubo de aço até a temperatura ambiente após a laminação, e o tubo de aço não sofre o processo de transformação e de transformação inversa. Isto resulta na dificuldade de se obterem boas dureza e resistência à corrosão.

[007] Portanto, foram propostas várias técnicas para resolver esse problema. Uma é a técnica para produção de cristais de grãos finos do tubo de aço laminado e acabado. Uma outra é a técnica que garante a dureza e a resistência à corrosão mesmo em um tubo de aço que tenha cristais de grãos tão finos.

[008] Por exemplo, o Documento de Patente 1 a seguir descreve

uma técnica para produzir os cristais de grãos finos após a laminação, o que reduz a temperatura do tubo de aço até uma temperatura baixa (ponto de transformação $Ac_1$ – 100℃) antes de colocá-lo no forno de reaquecimento, pelo ajuste do tempo desde a laminação de acabamento até a colocação do mesmo no forno de reaquecimento.

[009] O Documento de Patente 2 descreve uma técnica para produção de um tubo de aço que tem uma performance satisfatória mesmo quando com cristais com grãos relativamente grandes pelo ajuste da composição química, particularmente os teores de Ti e de S.

[0010] Documento de Patente 1

[0011] Japan Patent Unexamined Publication Nº 2001-240913

Documento de Patente 2

[0012] Japan Patent Unexamined Publication Nº 2000-104117

[0013] O desenvolvimento recente ativado de campos de petróleo submarinos de grande profundidade leva ao aumento na demanda de tubos de aço de paredes grossas com alta resistência. Entretanto, é difícil fornecer performances suficientes dos tubos de aço pelas técnicas descritas nos documentos de patente acima. Em tubos de aço de paredes grossas que são pretendidos na presente invenção, por exemplo, a temperatura da laminação de acabamento é aumentada e é necessário um tempo excessivo até a temperatura dos tubos de aço estarem abaixo da baixa temperatura necessária (ponto de transformação $Ac_1$ – 100℃), portanto a eficiência de produção é significativamente reduzida. Portanto, é difícil aplicar-se o método descrito no documento de patente 1 aos tubos de paredes grossas. Além disso, uma vez que a taxa de resfriamento do tratamento térmico na linha para os tubos de paredes grossas é pequena, o aço tendo a composição descrita no documento de patente 2 também tem problema de deterioração da dureza.

Descrição da Invenção

Problemas a serem resolvidos pela Invenção

[0014] A presente invenção foi feita nas circunstâncias acima mencionadas. É um objetivo da presente invenção fornecer um tubo de aço sem costura com uma espessura de parede particularmente grande, que tenha alta resistência, dureza estável e excelente resistência à corrosão e que seja adequado para linhas de fluxo submarinas. É um outro objetivo da presente invenção fornecer um tubo de aço sem costura na condição de temperado adequado como material para produzir esse tubo de aço sem costura, e também para fornecer um método para produção desses tubos.

Meios para Solução do Problema

[0015] Como resultado da análise detalhada dos fatores que orientam a dureza dos tubos de aço sem costura com paredes grossas com alta resistência, os presentes inventores obtiveram as seguintes descobertas (1) a (6), e confirmaram que um tubo de aço sem costura para tubulações tendo uma resistência da classe X70 ou maior, e uma extraordinária dureza com uma espessura de parede de não menos que 25 mm pode ser produzido em um tratamento térmico na linha que é um processo econômico e com alta eficiência.

(1) A dureza do tubo de aço sem costura, de não menos de 25 mm após a têmpera e do tratamento térmico de revenido, varia com a condição de têmpera. Quer dizer, as microestruturas do tubo de aço na condição de temperado define a dureza após o revenido.

(2) A microestrutura do tubo de aço na condição de temperado é baseada na bainita superior incluindo ferrita leve. Entretanto, a cementita ou "estrutura mista de austenita e martensita retida" (doravante referida como MA) está em forma de agulha nas interfaces da microestrutura da bainita superior tal como nos limites dos grãos da austenita anterior, limite com o pacote, limite com o bloco e interface

entre ripas.

(3) Quando a MA é excessivo nas interfaces da microestrutura da bainita superior do tubo de aço na condição de temperado, essas peças são fragilizadas devido a uma grande diferença na dureza entre o MA e a fase base em torno dele, e a dureza é pobre mesmo após o revenido ser executado nele.

(4) Para aumentar a dureza após o revenido, a MA no tubo de aço na condição de temperado precisa ser controlada para não mais de 20% em razão de volume em toda a microestrutura do aço, preferivelmente para não mais de 10%, e mais preferivelmente para não mais de 7%. A quantidade de austenita relativa na MA é controlada preferivelmente para não mais que 10% em toda a microestrutura do aço, mais preferivelmente para não mais que 7%, e ainda mais preferivelmente para não mais que 5%.

(5) Em relação à composição química da liga, uma adição de elementos de ligação tais como Mn, Cr e Mo levam à obtenção de uma estrutura à base de bainita superior que garante uma resistência aumentada, e uma adição da quantidade adequada de Ti com uma menor quantidade de C e Si leva à minimização da MA, o que melhora a dureza após o revenimento. Além disso, uma adição de uma pequena quantidade de elementos tais como Ca, Mg e REM, e uma adição da quantidade adequada de elementos de reforço da precipitação tais como Ca e V, respectivamente, melhoram extremamente o equilíbrio entre resistência e dureza após o revenimento.

(6) Quando o revenido é executado para o tubo de aço na condição de temperado com quantidade reduzida de MA conforme descrito acima em uma faixa de temperaturas de 550°C ao ponto de transformação $Ac_1$, uma dureza satisfatória pode ser estavelmente obtida.

[0016] Os presentes inventores examinaram um método para au-

mentar a dureza ao produzir um tubo de aço sem costura com paredes grossas com alta resistência através do processo de tratamento térmico na linha, que compreende a têmpera do tubo de aço enquanto a temperatura do tubo de aço não for inferior ao ponto de transformação $Ar_3$, imediatamente ou após o encharque do tubo de aço em um forno de manutenção a uma temperatura de não menos que o ponto de transformação $Ac_3$, após laminar a quente uma barra como um material para fazer um tubo de aço e revenir. Como resultado, os pontos a seguir tornaram-se conhecidos.

[0017] Mesmo se o tratamento for executado pelo mesmo equipamento de tratamento térmico, o equilíbrio entre resistência e dureza é deteriorado para os tubos de paredes grossas. De particular importância, foi descoberto que uma diferença na condição de revenido ocasiona uma diferença na dureza mesmo se uma condição idêntica for adotada no revenido subseqüente.

[0018] Portanto, na suposição de que a microestrutura na condição de temperado governa a dureza após o revenido, uma parte do processo de produção dos tubos de aço na condição de temperado com dureza pobre foi executada e amostrada. As microestruturas na parte central dos tubos de aço da direção da espessura da parede foram observadas em detalhe pelo uso de um microscópio de transmissão eletrônica.

[0019] Consequentemente, uma grande quantidade de MA de grãos brutos foi gerada nas interfaces da bainita superior, tal como nos limites dos grãos da austenita anterior, no limite do pacote da bainita, na interface bainita-bloco, e na interface entre as ripas de bainita. A presença de austenita retida na MA foi confirmada pela análise dos padrões de difração.

[0020] Por outro lado, em relação aos tubos de aço com dureza satisfatória, os tubos de aço na condição de temperado foram também

amostrados e observados da mesma maneira. Como resultado, foi confirmado que a quantidade de MA foi aparentemente pequena. Foi também descoberto que uma resistência suficientemente aumentada necessita uma supressão da fase ferrita poligonal.

[0021] A causa da geração de uma grande quantidade de MA é concebível como segue. Uma fase austenita simples é sucessivamente transformada em ferrita, bainita ou martensita no momento do resfriamento durante a têmpera. No momento, quando a taxa de resfriamento é reduzida, o tubo de aço passa através de uma faixa de temperaturas altas por um tempo comparativamente longo, o C descarregado da fase ferrita ou da microestrutura bainita é progressivamente difundido e condensado para austenita não transformada. A austenita contendo o C condensado é mudada para martensita ou bainita com alto teor de C ou austenita retida com alto teor de C após a transformação final.

[0022] Uma vez que a taxa de resfriamento é particularmente reduzida em tubos de paredes grossas, esses tubos estão em um estado onde a MA é facilmente gerada. Portanto, para minimizar a geração da MA, é preferível aumentar a taxa de resfriamento tanto quanto possível e em adição executar o resfriamento forçado até uma temperatura tão baixa quanto possível.

[0023] Entretanto, uma vez que há um limite superior na taxa de resfriamento para tubos de aço de paredes grossas, foi pesquisada uma técnica para formar uma microestrutura uniforme, mesmo à taxa de resfriamento dos tubos de paredes grossas. Como resultado, os pontos a seguir se tornaram conhecidos.

[0024] A precipitação de cementita durante a têmpera é promovida pela redução do teor de Si, em adição à redução do teor de C que é um elemento condensador, enquanto a concentração de C na fase austenita pode ser suprimida.

[0025] Com base nas descobertas mencionadas acima, a dureza dos tubos de aço, após o revenido, pode ser melhorada limitando-se a razão de volume da MA para não mais que 10%, preferivelmente para não mais que 7%, e mais preferivelmente para não mais que 5%, em adição à limitação da razão de volume da fase ferrita poligonal para não mais que 20% durante a têmpera.

[0026] A razão de volume da MA foi calculada corroendo-se uma superfície em observação pelo método de gravação Le Pera, opcionalmente observando-se 10 campos com 50 x 50 μm como um campo com uma ampliação de 1000 vezes usando-se um microscópio ótico, e determinando-se as razões de área pelo processamento de imagem. Um valor médio de 10 campos foi tomado como razão de área da MA. A razão de volume da ferrita poligonal foi determinada corroendo-se uma superfície em observação por corrosão com nital, e executando-se a mesma observação, fotografando e analisando a imagem conforme descrito acima.

[0027] Outros exames foram feitos para esclarecer os seguintes design da liga e processo ótimo de produção, onde a presente invenção foi realizada. Na descrição a seguir, "%" em relação à composição química representa "% em massa", a menos que especificado de maneira diferente.

[0028] O teor de C é limitado a não mais que 0,08%, mais preferivelmente a não mais que 0,06%, e mais preferivelmente a não mais que 0,04%. O limite superior de Si é ajustado para não mais que 0,25%. O teor de Si é também preferivelmente não mais que 0,15% e mais preferivelmente não mais que 0,10%.

[0029] O N, que mostra o mesmo comportamento que o C, existe inevitavelmente no aço. Portanto, pó N é fixado como nitreto pela adição de Ti. Nesse caso, o teor de Ti deve ser 0,002 a 0,02%, uma vez que um teor excessivamente pequeno minimiza o efeito de fixação do

N, e um teor excessivamente grande provoca nitretos de grãos brutos e precipitação irregular de carbonetos. O teor de Ti mais preferivelmente varia de 0,002 a 0,015%, e mais preferivelmente ainda de 0,004 a 0,015%.

[0030] Outros elementos são ajustados do ponto do equilíbrio entre a alta resistência e uma dureza satisfatória. Em relação ao P e ao S, que afetam adversamente a dureza, os valores do limite superior são ajustados, respectivamente. Os teores de Mn, Cr, Ni, Mo e Cu deve ser ajustado conforme uma resistência pretendida, considerando-se a dureza e a capacidade de soldagem. Al e Ca, que são necessários para desoxidação, são adicionados. Além disso, Mg e REM podem ser seletivamente adicionados para garantir características de lingotamento ou melhorar a dureza.

[0031] Além disso, no tubo de aço a ser produzido no tratamento térmico na linha, o Nb não deve ser adicionado, e seu limite superior como impureza deve ser controlado para menos de 0,005%. O V não é adicionado, ou se for adicionado deve ser controlado para um teor de não mais que 0,08%. O B pode ser seletivamente adicionado para aumentar suficientemente a capacidade de endurecimento.

[0032] Durante o processo de produção, é importante temperar o aço do tubo de aço a uma alta taxa de resfriamento a partir da faixa de temperaturas da fase de austenita simples. Portanto, uma grande quantidade de água de resfriamento é trazida ao contato tanto com a superfície interna quanto com a superfície externa do tubo de aço. Uma temperatura inferior da água de resfriamento a mais preferível, e um tempo maior de contato do tubo de aço com a água de resfriamento é mais preferível. A redução na temperatura da água de resfriamento ou o longo tempo de resfriamento à água deve ser determinado, considerando-se o custo de produção e a eficiência de produção.

[0033] Uma taxa de resfriamento média preferível do tubo de aço

durante a têmpera é de não menos que 5℃/s a uma te mperatura variando de 800 a 500℃. Uma taxa mais preferível é de não menos que 10℃/s, e a taxa ainda mais preferível é de não men os que 20℃/s. A temperatura de acabamento do resfriamento forçado é ajustada para não mais que 200℃ na temperatura da parte central da espessura do tubo de aço. Mais preferivelmente, a temperatura de acabamento é de não mais que 100℃, e ainda mais preferivelmente a temperatura de acabamento é inferior a 50℃. Uma temperatura menor da água é mais preferível, pois a execução de têmpera com água, e a uma temperatura de não mais que 50℃ é adequada.

[0034] O revenido seguinte à têmpera é executado em uma faixa de temperaturas de 550℃ até o ponto de transformaç ão $Ac_1$ com um tempo de encharque de 5 a 60 minutos uma vez que uma precipitação uniforme da cementita é importante para a melhoria da dureza. O revenido é executado em uma faixa de temperaturas preferivelmente de 600℃ até o ponto de transformação $Ac_1$, e também preferivelmente de 650℃ até o ponto de transformação $Ac_1$.

[0035] A presente invenção com base no conhecimento descrito acima inclui tubos de aço e seu método de produção.

(1) Um tubo de aço sem costura na condição de temperado tendo uma composição química consistindo em, em % de massa, C: 0,03 a 0,08%, Mn: 0,3 a 2,5%, Al: 0,001 a 0,10%, Cr: 0,02 a 1,0%, Ni: 0,02 a 1,0%, Mo: 0,02 a 0,8%, Ti: 0,004 a 0,010%, N: 0,002 a 0,008%, Ca: 0,0005 a 0,005%, e o saldo sendo Fe e impurezas, com não mais que 0,25% de Si, não mais que 0,05% de P, não mais que 0,005% de S, menos que 0,005% de Nb, e menos que 0,0003% de B como impurezas, e tendo uma microestrutura consistindo em não mais que 20% em volume de ferrita poligonal, não mais que 10% em volume de uma microestrutura mista de martensita e austenita retida, e o saldo sendo bainita.

(2) Um tubo de aço sem costura na condição de temperado conforme (1) acima, também incluindo, ao invés de uma parte de Fe, não mais que 0,08% em massa de V.

(3) Um tubo de aço sem costura na condição de temperado conforme (1) ou (2) acima, também incluindo, ao invés de uma parte de Fe, não mais que 1,0% em massa de Cu.

(4) Um tubo de aço sem costura na condição de temperado conforme (1) a (3) acima, também incluindo, ao invés de uma parte de Fe, um ou mais elementos selecionados do grupo consistindo em não mais que 0,005% em massa de Mg e não mais que 0,005% em massa de REM.

(5) Um tubo de aço sem costura na condição de temperado conforme (1) a (4) acima, onde o teor de B é 0,0003 a 0,01% em massa.

(6) Um método para produção de um, tubo de aço sem costura conforme qualquer um dos itens (1) a (5) acima, compreendendo a laminação de um aço tendo uma composição química descrita em qualquer um dos itens (1) a (5) acima em um tubo, têmpera do tubo de aço imediatamente enquanto a temperatura de qualquer parte do tubo de aço está acima do ponto de transformação $Ar_3$, ou têmpera do tubo de aço após o encharque em um forno de manutenção em uma faixa de temperaturas do ponto de transformação $Ac_3$ até 1000℃, onde a têmpera é executada pelo resfriamento forçado até uma temperatura de acabamento abaixo de 200℃ com uma taxa de resfr iamento média de menos de 5℃/s em uma temperatura variando de 80 0℃ a 500℃.

(7) Um método para produção de um tubo de aço sem costura conforme o item (6) acima, onde ao revenido é executado em uma temperatura variando de 550℃ até o ponto de transf ormação $Ac_1$ após a têmpera.

[0036] O tubo de aço sem costura acima mencionado dos itens (1)

a (5) são tubos na condição de temperado e o item (6) é o método para produção desses tubos de aço. O item (7) é um método para produção de um produto do tubo de aço caracterizado pelo revenido sucessivo para o método de têmpera do item (6). O tubo de aço submetido à têmpera e ao revenido tem preferivelmente uma espessura de parede de não menos que 25 mm e um limite de elasticidade de não menos que 483 MPa, e tal tubo de aço sem costura é extremamente adequado para um tubo de aço sem costura com parede grossa com alta resistência para uma tubulação.

Melhor Forma de Execução da Invenção

1. Composição química do tubo de aço

[0037] Será explicada a razão para limitar-se a composição química dos tubos de aço conforme descrito acima na presente invenção.

[0038] C: 0,03 a 0,08%

[0039] C é um elemento importante para garantir a resistência do aço. Para aumentar a capacidade de endurecimento suficientemente para se obter uma resistência de não menos que a classe X70 em tubos de paredes grossas, são necessários não menos que 0,03% de C. Por outro lado, se o teor exceder 0,08%, a dureza deteriora. Portanto, o teor varia de 0,03 a 0,08%. O teor de C preferivelmente varia de 0,03 a 0,07%, e mais preferivelmente de 0,03 a 0,06%.

[0040] Mn: 0,3 a 2,5%

[0041] O Mn precisa ser adicionado em uma quantidade relativamente grande para aumentar a capacidade de endurecimento suficientemente para reforçar os tubos de paredes grossas mesmo até o centro e também aumentar a dureza. Esses efeitos não podem ser obtidos com um teor de Mn de menos de 0,3%, e um teor excedendo 2,5% provoca a deterioração da dureza. Portanto, o teor de Mn varia de 0,3 a 2,5%.

[0042] Al: 0,001 a 0,10%

[0043] O Al é adicionado como um agente de desoxidação na produção de aço. Para se obter esse efeito, é necessário um teor de não menos que 0,001%. Entretanto, um teor excedendo 0,10% provoca agrupamento de inclusões, resultando na deterioração da dureza ou a freqüente ocorrência de defeitos de superfície durante o trabalho de chanframento das extremidades dos tubos. Portanto, o teor de Al varia de 0,001 a 0,10%. Para evitar os defeitos de superfície, é preferível ajustar-se o limite superior em um nível inferior. Quer dizer, é preferível que o limite superior seja 0,03%, e é mais preferível que o limite superior seja 0,02%.

[0044] Cr: 0,02 a 1,0%

[0045] O Cr é um elemento que melhora a capacidade de endurecimento suficientemente para melhorar a resistência do aço nos tubos de paredes grossas. No caso de um teor de não menos de 0,02%, esse efeito é notável. Entretanto, uma vez que uma adição excessiva provoca alguma deterioração da dureza, o limite superior do teor deve ser 1,0%.

[0046] Ni: 0,02 a 1,0%

[0047] O Ni é um elemento que melhora a capacidade de endurecimento do aço suficientemente para melhorar a resistência dos tubos de paredes grossas. Esse efeito é notável com um teor de não menos que 0,02%. Entretanto, uma vez que o Ni é um elemento oneroso, e o efeito é saturado pela adição excessiva, o limite superior deve ser 1,0%.

[0048] Mo: 0,02 a 0,8%

[0049] O Mo é um elemento que melhora a resistência do aço devido ao reforço da transformação e ao reforço da solução sólida. Esse efeito é notável a um teor de não menos que 0,02%. Entretanto, uma vez que um teor excessivo de Mo provoca deterioração da dureza, o limite superior deve ser 0,8%.

[0050] Ti: 0,004 a 0,010%

[0051] O Ti se aglutina ao N no aço para formar TiN, suprimindo a austenita de grãos brutos durante a produção de tubos a quente. Para se obter tal efeito do Ti, é necessário um teor de não menos que 0,004%. Entretanto, se o teor de Ti exceder 0,010%, o Ti é concentrado pela segregação de solidificação para formar TiN durante a solidificação, o que começa a desenvolver grãos brutos a uma alta temperatura e provoca a deterioração da dureza. Portanto, o teor de Ti deve ser de 0,004 a 0,010%. A faixa preferível para o teor de Ti é de 0,006 a 0,10%.

[0052] N: 0,002 a 0,008%

[0053] O N existe no aço, e se aglutina ao Al, Ti o similar para formar nitretos. A presença de uma grande quantidade de N provoca a formação de nitretos de grãos brutos, o que deteriora a dureza. Por outro lado, quando o teor de N é menor que 0,002%, a quantidade de nitretos é muito pequena para se obter esse efeito de supressão dos grãos brutos de austenita durante a produção do tubo a quente. Portanto, o teor de N varia de 0,002 a 0,008%. A faixa preferível do teor de N é de 0,004 a 0,007%.

[0054] Ca: 0,0005 a 0,005%

[0055] O Ca é adicionado como um agente de desoxidação na produção do aço e para suprimir o entupimento dos bocais no lingotamento para melhorar a propriedade de lingotamento. Uma vez que o Si é controlado num valor baixo para suprimir a MA na presente invenção, a adição de Ca é necessária para garantir a desoxidação suficiente com um teor de não menos que 0,0005%. Por outro lado, quando o teor exceder 0,005%, o efeito satura, e a dureza deteriora porque inclusões são facilmente agrupadas. Portanto, o limite superior deve ser 0,005%.

[0056] V: 0 a 0,08%

[0057] O V deve ser adicionado, se necessário. O V é um elemento cujo teor deve ser determinado dependendo do equilíbrio entre resistência e dureza. Quando uma resistência suficiente pode ser garantida pela adição de outros elementos de liga, nenhuma adição do mesmo fornecerá uma dureza mais satisfatória. Quando ele é adicionado para melhoria da resistência, um teor de não menos que 0,02% é desejável. Uma vez que um teor excedendo 0,08% provoca deterioração significativa da dureza, o limite superior de V, se adicionado, é 0,08%.

[0058] Cu: 0 a 1,0%

[0059] O Cu é também um elemento a ser adicionado se for necessário. Uma vez que o Cu tem o efeito de melhorar a resistência à fratura pelo hidrogênio induzido (característica de resistência a HIC), ele deve ser adicionado se a melhoria da característica de resistência à HIC for desejada. O teor desejável para melhorar a característica de resistência à HIC é de não menos que 0,02%. Por outro lado, uma vez que um teor que exceda 1,0% provoque saturação do efeito, o limite superior do teor de Cu é 1,0% se adicionado.

[0060] B: menos que 0,0003% ou 0,0003 a 0,01%

[0061] Nenhuma adição de B é vantajosa para a dureza. Particularmente, quando a ênfase está na dureza, o B não deve ser adicionado, enquanto o teor de B como impureza deve ser controlado para menos de 0,0003%. Por outro lado, quando a ênfase está na resistência, o B pode ser adicionado para aumentar a capacidade de endurecimento e a resistência. Para se obter esse efeito, um teor de não menos que 0,0003% precisa ser adicionado. Uma vez que sua adição excessiva provoca deterioração da dureza, o limite superior do teor de B é ajustado para 0,01% se for adicionado.

[0062] Mg e REM: 0 a 0,005%

[0063] A adição de Mg e REM não é necessária. Entretanto, uma

vez que esses elementos têm os efeitos de melhorar a dureza e a resistência à corrosão pelo controle da forma das inclusões e melhoria das características de lingotamento pela supressão de entupimentos dos bocais no lingotamento, esses elementos podem ser adicionados quando esses efeitos são desejados. Para se obter esses efeitos, um teor de não menos que 0,005% é desejado para cada elemento. Por outro lado, quando o teor de cada elemento excede 0,005%, o efeito satura e a dureza e a resistência à HIC deterioram porque as inclusões são facilmente agrupadas. Portanto, o limite superior para cada elemento é de 0,005% se adicionado. A REM aqui referida é o nome genérico de 17 elementos consistindo em 15 elementos desde La de nº atômico 57 até Lu de nº atômico 71, Y e Sc, e os teores acima mencionados significam o teor de cada elemento ou o total do seu teor.

[0064] O limite superior das impurezas será descrito abaixo.

[0065] Si: Não mais que 0,25%

[0066] O Si age como agente de desoxidação na produção do aço. Entretanto, ele reduz significativamente a dureza de tubos de paredes grossas. Quando o teor excede 0,25%, gera uma grande quantidade de MA, o que provoca a deterioração da dureza. Portanto, o seu teor deve ser de não mais que 0,25%. Um teor menor de Si melhora a dureza ainda mais. É preferível que o teor de Si seja de não mais que 0,15%. É mais preferível que o teor de Si seja de menos que 0,10%. É o mais preferível que o teor de Si seja menos que 0,05%.

[0067] P: Não mais que 0,05%

[0068] O P é um elemento de impureza que deteriora a dureza, e é preferivelmente reduzido tanto quanto possível. Uma vez que um teor excedendo 0,05% provoca uma deterioração notável da dureza, o limite superior deve ser 0,05%, preferivelmente 0,02%, e mais preferivelmente 0,01%.

[0069] S: Não mais que 0,005%

[0070] O S é um elemento de impureza que deteriora a dureza, e é preferivelmente reduzido tanto quanto possível. Uma vez que um teor excedendo 0,005% provoca uma deterioração notável da dureza, o limite superior deve ser 0,005%, preferivelmente 0,003%, e mais preferivelmente 0,001%.

[0071] Nb: Não mais que 0,005%

[0072] No tratamento térmico na linha adotado na presente invenção, é melhor ao adicionar-se Nb uma vez que carbonitretos de Nb são precipita-

[0073] dos irregularmente, aumentando a dispersão da resistência. O teor de Nb de não menos que 0,005% provoca uma dispersão notável de resistência na produção. Portanto, o Nb não deve ser adicionado aos tubos de aço da presente invenção, onde o teor de Nb como impureza deve ser controlado para menos de 0,005%.

2. Microestrutura

[0074] É importante, para a melhoria do equilíbrio entre resistência e dureza, ajustar a composição química do aço conforme mencionado acima, e fazer microestruturas conforme descrito abaixo. A saber, nos tubos de aço na condição de temperado, a ferrita poligonal é controlada para não mais que 20% por razão de volume, e a MA (mistura de martensita e austenita retida) é controlada para não mais que 10%, preferivelmente para menos que 7%, e mais preferivelmente para não mais que 5%, com o saldo sendo bainita.

[0075] O método para analisar as microestruturas compreende coletar um corpo de prova de 10 x 10 mm para observação da microestrutura a partir da parte central de um tubo de aço de paredes grossas na condição de temperado, executando-se o método de corrosão com nital ou de gravação Le Pera, observando-se a peça resultante pelo uso de um microscópio de varredura eletrônica, fotografando-se aleatoriamente 10 campos com 50x50 μm como um campo com a amplia-

ção de 1000 vezes de ampliação, determinando-se as razões de área das respectivas microestruturas usando-se um software de análise de imagem, e calculando-se as razões de área médias das respectivas microestruturas, que podem levar às razões de volume.

3. Processo de Produção

[0076] Um processo de produção adequado da presente invenção será descrito abaixo.

(1) Processo de lingotamento

[0077] O aço é refinado em um conversor ou similar de modo a ter a composição química acima mencionada, e solidificado para se obter um material lingote. É ideal lingotar-se continuamente o aço na forma de uma barra redonda. Entretanto, um processo para lingotamento contínuo do aço em um molde de lingotamento quadrado ou lingotando-se o aço como um lingote e então desbastando-o até uma barra redonda pode também ser adotado. Uma maior taxa de resfriamento do bloco no lingotamento é vantajosa para a dureza do produto, porque uma dispersão insignificante de TiN é melhor promovida.

(2) Temperatura de aquecimento da barra

[0078] A barra redonda é reaquecida até uma temperatura trabalhável a quente e submetida à perfuração, ao alongamento e à laminação de conformação. A temperatura de reaquecimento não deve ser inferior a 1150℃, uma vez que a temperatura inferi or a 1150℃ resulta em um aumento da resistência à deformação a quente e fendas. Por outro lado, o limite superior é desejavelmente ajustado para 1280℃, uma vez que uma temperatura de reaquecimento que exceda 1280℃ resulta em um aumento excessivo de uma unidade de combustível de aquecimento, uma redução no rendimento devido ao aumento da perda de carepa, e uma vida mais curta do forno de aquecimento. O aquecimento é preferivelmente executado a uma temperatura não maior que 1200℃, uma vez que uma temperatura de aq uecimento

menor é mais preferível para aumentar a dureza devido aos grãos finos.

(3) Produção do tubo por laminação a quente

[0079] Um exemplo de processo de produção do tubo por laminação a quente é o processo de laminador de mandril Mannesmann ou a laminação de alongamento subseqüente. Se a temperatura de acabamento da produção de tubo não é inferior ao ponto de transformação $Ar_3$, que é a faixa de temperaturas da fase austenita simples, a têmpera pode ser executada imediatamente após a produção do tubo, e a energia térmica pode ser vantajosamente economizada. Mesmo se a temperatura de acabamento da produção do tubo estiver abaixo do ponto de transformação $Ar_3$, a fase austenita simples pode ser obtida executando-se imediatamente a manutenção de uma temperatura não inferior ao ponto de transformação $Ac_3$ conforme será descrito posteriormente.

(4) Execução da manutenção da temperatura ou reaquecimento após a produção do tubo

[0080] Um tubo é colocado em um forno de manutenção imediatamente após a produção do tubo e encharcado a uma temperatura de não menos que o ponto de transformação $Ac_3$, onde a uniformidade de temperatura na direção longitudinal dos tubos de aço pode ser garantida. Nesse caso, a manutenção da temperatura é executada a uma faixa de temperaturas do ponto de transformação $Ac_3$ até 1000℃ e um tempo de residência de 5 a 30 minutos, onde a uniformidade de temperaturas e a suspensão da formação extrema de grãos brutos de cristal pode ser vantajosamente realizada.

(5) Têmpera

[0081] À medida que a taxa de resfriamento na têmpera aumenta, alta resistência e alta dureza são mais facilmente obtidas, mesmo em tubos de paredes grossas. Quer dizer, à medida que a taxa de resfri-

amento chega mais próxima de um limite teórico da taxa de resfriamento, maior resistência e maior dureza são obtidas. A taxa de resfriamento média necessária é de não menos que 5℃/s a uma temperatura variando de 800 a 500℃. A taxa preferível é de não menos que 10℃/s, e uma taxa mais preferível é de não menos que 15℃/s.

[0082] A taxa de resfriamento corresponde a uma redução de temperatura com o tempo na parte central de um tubo de aço de paredes grossas, e pode ser medido por um par termelétrico soldado a essa porção, ou previsto a partir de uma combinação de cálculo de transferência de calor com medição.

[0083] Para garantir excelente dureza, a temperatura de acabamento do resfriamento forçado, em adição à taxa de resfriamento, é também importante. É importante usar o aço com uma composição ajustada e para resfriá-lo de maneira forçada para atingir uma temperatura de acabamento de 200℃ ou menos. A temperatura de acabamento é preferivelmente não maior que 100℃, e mais preferivelmente não maior que 50℃. Como resultado, a geração de uma microestrutura reforçada de transformação ou austenita retida com C parcialmente concentrado pode ser suprimida, o que melhora significativamente a dureza.

(6) Revenido

[0084] Após a têmpera, o revenido é executado a uma temperatura variando de 550℃ até o ponto de transformação $Ac_1$. O tempo de manutenção à temperatura de revenido pode ser determinado adequadamente, e geralmente ajustado para cerca de 10 a 120 minutos. A temperatura de revenido está preferivelmente na faixa de 600℃ até o ponto de transformação $Ac_1$, e uma vez que a MA é mais facilmente decomposta para cementita a uma temperatura mais alta, a dureza é melhorada.

Exemplos

[0085] Aços tendo composições químicas mostradas na Tabela 1 foram fundidos em um conversor e transformado em barras redondas por uma máquina de lingotamento contínuo, que são materiais de tubos de aço. Cada barra redonda foi submetida ao tratamento térmico de encharque a 1250℃ por 1 hora, e então transform ado em um tubo oco pelo uso de um laminador de perfuração de cilindro inclinado. O tubo oco sofreu laminação de acabamento pelo uso de um laminador de mandril e um calibrador para se obter tubos de aço com espessuras de parede de 25 mm e 50 mm.

[0086] Os tubos de aço acima mencionados foram resfriados em condições de têmpera mostradas na Tabela 2. Quer dizer, eles foram carregados em um forno de manutenção imediatamente após a produção do tubo, encharcados, e então resfriados. As taxas de resfriamento médias mostradas na Tabela 2 foram determinadas conforme a seguir. A parte central longitudinal de cada tubo de aço foi perfurada a partir da superfície externa, um par termelétrico foi soldado à posição correspondente à parte central da espessura para medir a mudança da temperatura a uma temperatura variando de 800 a 500℃, e a taxa média de resfriamento a esta temperatura foi determinada.

[0087] Cada tubo de aço temperado foi igualmente dividido em duas partes verticalmente à direção longitudinal, uma pequena peça (10 mm cúbicos) para exame da microestrutura foi amostrado a partir da superfície cortada da parte central da espessura, submetido a uma corrosão com nital ou gravação Le Pera, e observado pelo uso de um microscópio de varredura eletrônica, fotografando aleatoriamente 10 campos com 50 x 50 μm como um campo com uma ampliação de 1000 veses, determinou as razões de área das respectivas microestruturas de ferrita poligonal e MA usando-se um software de análise de imagem, e calculando-se as razões de área médias, que levam às razões de volume (%). A razão de volume de bainita é um valor obtido

subtraindo-se a razão de volume total da ferrita poligonal e MA de 100%.

[0088] Os números de tamanho de grão definido na JIS G0551 (1998) e as razões de volume da ferrita poligonal e MA estão mostrados nas Tabelas 3 e 4.

[0089] Uma parte de cada tubo de aço cortado foi executada para têmpera e revenido nas condições descritas na Tabela 2. Um corpo de prova de tensão da JIS nº 12 foi amostrada de cada produto tubo de aço após o revenido de modo a medir-se o limite de resistência à tração (TS) e o limite de elasticidade (YS). O teste de tensão foi executado conforme a JIS Z2241. Um corpo de prova de impacto, um corpo de prova com uma fenda em V de 2 mm, de 10 mm x 10 mm, foi amostrado da direção longitudinal do centro da espessura da parede conforme um corpo de prova da JIS Z2202 nº 4, e submetido a testes. Em relação à resistência, aqueles com YS de não menos que 483 MPa (o limite inferior do limite de elasticidade do grau X70 da norma API) são estimados como sendo bem-sucedidos, e em relação à dureza, aqueles com temperaturas de transição de energia vTE (°C) determinadas pelo teste de impacto de não mais que 0℃ são consi deradas como sendo bem-sucedidos.

[0090] Em relação aos tubos de aço com espessura de parede de 25 mm e 50 mm, as razões de volume da ferrita poligonal e MA dos tubos de aço na condição de temperado e YS e vTE dos produtos tubos de aço após o revenido, que foram obtidos nos testes acima mencionados, estão mostrados nas Tabelas 3 e 4, respectivamente. Os Testes nºs 1 a 10, 15 a 17, 20 a 29 e 34 a 36 satisfazem a composição química, e o processo de produção, definido pela presente invenção, foram também satisfeitos. Uma dureza satisfatória foi também obtida.

[0091] Os testes nºs 11 a 14 e 30 a 33 são comparativos que usam aços que não satisfazem a composição química definida pela presente

invenção, e os tubos resultantes são pobres em dureza após o revenido. Eles não podem ser usados em aços que requeiram alta resistência e alta dureza com grandes espessuras de parede. Os testes n$^{os}$ 18, 19, 37 e 38 satisfazem a composição química definida pela presente invenção, mas não satisfazem a condição de produção definida pela presente invenção. Portanto, os tubos de aço resultantes são pobres em dureza com uma grande quantidade da MA no estado na condição de temperado, e não podem ser usados em aços que requeiram alta resistência e alta dureza com uma grande espessura de parede.

**Tabela 1**

| Aço | Composição química % em massa, saldo:Fe | | | | | | | | | | | | | | | | | | Ponto de transformação | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | C | Si | Mn | P | S | Cr | Ni | Mo | Ti | sol,Al | N | V | Cu | Nb | B | Ca | Mg | REM | $Ac_1$(℃) | $Ac_3$(℃) |
| A | 0,05 | 0,12 | 1,85 | 0,008 | 0,0010 | 0,32 | 0,07 | 0,22 | 0,006 | 0,025 | 0,0051 | 0,04 | - | <0,0001 | <0,0002 | 0,0007 | - | - | 736 | 888 |
| B | 0,03 | 0,08 | 1,46 | 0,006 | 0,0013 | 0,27 | 0,10 | 0,21 | 0,008 | 0,015 | 0,0053 | 0,04 | - | <0,0002 | <0,0002 | 0,0009 | - | - | 739 | 902 |
| C | 0,06 | 0,11 | 1,77 | 0,012 | 0,0009 | 0,35 | 0,12 | 0,18 | 0,009 | 0,024 | 0,0045 | 0,06 | - | <0,0002 | <0,0002 | 0,0025 | - | - | 734 | 882 |
| D | 0,04 | 0,07 | 1,26 | 0,008 | 0,0010 | 0,36 | 0,16 | 0,24 | 0,008 | 0,024 | 0,0046 | 0,03 | - | <0,0003 | <0,0002 | 0,0022 | - | - | 742 | 900 |
| E | 0,06 | 0,21 | 1,83 | 0,010 | 0,0011 | 0,41 | 0,20 | 0,26 | 0,010 | 0,022 | 0,0053 | 0,05 | - | <0,0002 | 0,0008 | 0,0007 | 0,0010 | - | 737 | 887 |
| F | 0,05 | 0,11 | 1,45 | 0,008 | 0,0011 | 0,30 | 0,08 | 0,21 | 0,008 | 0,025 | 0,0045 | 0,05 | 0,11 | <0,0003 | <0,0002 | 0,0010 | - | - | 736 | 893 |
| G | 0,05 | 0,09 | 1,46 | 0,008 | 0,0008 | 0,35 | 0,20 | 0,25 | 0,012 | 0,025 | 0,0061 | 0,04 | 0,25 | <0,0003 | <0,0002 | 0,0018 | 0,0007 | - | 732 | 888 |
| H | 0,06 | 0,23 | 1,05 | 0,006 | 0,0005 | 0,60 | 0,22 | 0,30 | 0,010 | 0,020 | 0,0033 | - | - | <0,0002 | <0,0002 | 0,0015 | - | 0,0006 | 754 | 903 |
| I | 0,05 | 0,08 | 1,53 | 0,008 | 0,0010 | 0,33 | 0,10 | 0,22 | 0,008 | 0,024 | 0,0045 | 0,05 | 0,10 | <0,0003 | <0,0002 | 0,0020 | 0,0005 | 0,0005 | 736 | 890 |
| J | 0,03 | 0,11 | 1,80 | 0,009 | 0,0008 | 0,20 | 0,05 | 0,15 | 0,012 | 0,025 | 0,0045 | 0,02 | - | <0,0002 | 0,0011 | 0,0008 | - | - | 733 | 897 |
| K | 0,07 | 0,41 | 1,55 | 0,009 | 0,0009 | 0,39 | 0,10 | 0,07 | 0,009 | 0,020 | 0,0067 | - | 0,31 | <0,0003 | <0,0002 | 0,0014 | - | - | 737 | 889 |
| L | 0,11 | 0,10 | 1,46 | 0,008 | 0,0011 | 0,44 | 0,14 | 0,16 | 0,007 | 0,027 | 0,0040 | 0,03 | 0,32 | <0,0002 | <0,0002 | 0,0012 | - | - | 731 | 856 |
| M | 0,06 | 0,18 | 2,10 | 0,007 | 0,0008 | 0,43 | 0,15 | 0,15 | 0,010 | 0,022 | 0,0050 | 0,13 | 0,12 | <0,0002 | <0,0001 | 0,0016 | - | - | 727 | 875 |
| N | 0,05 | 0,15 | 1,60 | 0,005 | 0,0010 | 0,33 | 0,15 | 0,18 | 0,021 | 0,018 | 0,0045 | 0,03 | - | <0,0002 | <0,0001 | 0,0027 | - | - | 738 | 891 |

[0092] Os valores sublinhados estão fora do escopo da invenção

[0093] [0094] [0095] [0096] [0097] [0098] [0099] [00100] [00101] [00102]

Tabela 2

| Teste nº. | Espessura (mm) | Temperatura de laminação de acabamento (℃) | Temperatura de manutenção (℃) | Tempo de manutenção (min) | Aquecimento off-line | Temperatura inicial do resfriamento (℃) | Taxa de resfriamento (℃/s) | Temperatura final do resfriamento | Temperatura de revenido (℃) | Tempo de revenido (min) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 a 14 | 25 | 900 a 1100 | 950 | 5 a 10 | não | 930 | 30 | 50 | 650 | 10 a 30 |
| 15 a 17 | 25 | 1000 a 1100 | não | não | não | 930 | 30 | 50 | 650 | 10 a 30 |
| 18 | 25 | 1000 | 950 | 10 | não | 930 | 4,5 | 50 | 650 | 30 |
| 19 | 25 | 1000 | 950 | 10 | não | 930 | 30 | 250 | 650 | 30 |
| 20 a 33 | 50 | 900 a 1100 | 950 | 5 a 10 | não | 930 | 10 | 50 | 650 | 10 a 30 |
| 34 a 36 | 50 | 900 a 1100 | não | não | não | 930 | 10 | 50 | 650 | 10 a 30 |
| 37 | 50 | 1050 | 950 | 10 | não | 930 | 3,0 | 50 | 650 | 30 |
| 38 | 50 | 1050 | 950 | 10 | não | 930 | 10 | 230 | 650 | 30 |

[00103] Os valores sublinhados estão fora do escopo da invenção [00104] [00105] [00106] [00107]

**Tabela 3**

| Teste nº | Aço | Espessura (mm) | Nº do tamanho de grão da austenita anterior | Razão da ferrita poligonal (%) | Razão da MA (%) | Razão de bainita (%) | YS (MPa) | vTE(℃) | Nota |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | A | 25 | 7,0 | 5 | 6,5 | 88,5 | 656 | -28 | A invenção |
| 2 | B | 25 | 6,5 | 8 | 3 | 89 | 600 | -65 | |
| 3 | C | 25 | 6,8 | 5 | 3 | 92 | 720 | -30 | |
| 4 | D | 25 | 7,2 | 11 | 3 | 86 | 596 | -64 | |
| 5 | E | 25 | 7,0 | 0 | 3 | 97 | 735 | -30 | |
| 6 | F | 25 | 6,1 | 7 | 2 | 91 | 638 | -60 | |
| 7 | G | 25 | 6,0 | 6 | 1,5 | 92,5 | 650 | -65 | |
| 8 | H | 25 | 6,2 | 2 | 5,5 | 92,5 | 715 | -20 | |
| 9 | I | 25 | 6,7 | 10 | 1,5 | 88,5 | 625 | -67 | |
| 10 | J | 25 | 6,0 | 0 | 4 | 96 | 790 | -10 | |
| 11 | K | 25 | 7,0 | 6 | 10 | 84 | 599 | 5 | Comparativo |
| 12 | L | 25 | 6,1 | 0 | 12 | 88 | 800 | 34 | |
| 13 | M | 25 | 7,2 | 6 | 3 | 91 | 635 | 8 | |
| 14 | N | 25 | 6,0 | 0 | 3 | 97 | 735 | 12 | |
| 15 | A | 25 | 6,5 | 4 | 6,1 | 89,9 | 665 | -27 | A invenção |
| 16 | H | 25 | 6,0 | 2 | 4,8 | 93,2 | 722 | -25 | |
| 17 | I | 25 | 6,5 | 9 | 1 | 90 | 611 | -74 | |
| 18 | A | 25 | 7,1 | 10 | 18,5 | 71,5 | 508 | 10 | Comparativo |
| 19 | C | 25 | 6,8 | 0 | 20 | 80 | 720 | 35 | |

**Tabela 4**

| Teste nº | Aço | Espessura (mm) | Nº do tamanho de grão da austenita anterior | Razão da ferrita poligonal (%) | Razão de MA (%) | Razão de bainita (%) | YS (MPa) | vTE(℃) | Nota |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 20 | A | 50 | 6.5 | 14 | 8,5 | 77,5 | 595 | -30 | A invenção |
| 21 | B | 50 | 6.0 | 20 | 5,0 | 75,0 | 499 | -60 | |
| 22 | C | 50 | 6.1 | 5 | 6,0 | 89,0 | 650 | -30 | |
| 23 | D | 50 | 6.5 | 14 | 4,0 | 82,0 | 488 | -65 | |
| 24 | E | 50 | 5.8 | 2 | 5,5 | 92,5 | 665 | -26 | |
| 25 | F | 50 | 5.9 | 10 | 4,0 | 86,0 | 585 | -56 | |
| 26 | G | 50 | 6.0 | 8 | 3,5 | 88,5 | 600 | -60 | |
| 27 | H | 50 | 5.8 | 7 | 6,5 | 86,5 | 625 | -24 | |
| 28 | I | 50 | 6.3 | 12 | 3,6 | 84,4 | 565 | -66 | |
| 29 | J | 50 | 6.0 | 3 | 6,0 | 91,0 | 730 | -15 | |
| 30 | K | 50 | 6.6 | 15 | 13,5 | 71,5 | 545 | 10 | Comparativo |
| 31 | L | 50 | 5.7 | 8 | 15,2 | 76,8 | 645 | 24 | |
| 32 | M | 50 | 6.6 | 5 | 3,0 | 92,0 | 745 | 30 | |
| 33 | N | 50 | 6.0 | 14 | 4,0 | 82,0 | 559 | 15 | |
| 34 | A | 50 | 6.0 | 10 | 7,0 | 83,0 | 610 | -41 | A invenção |
| 35 | H | 50 | 5.6 | 5 | 5,5 | 89,5 | 640 | -30 | |

**Tabela 4 – continuação**

| Teste nº | Aço | Espessura (mm) | Nº do tamanho de grão da austenita anterior | Razão da ferrita poligonal (%) | Razão de MA (%) | Razão de bainita (%) | YS (MPa) | vTE(℃) | Nota |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 36 | I | 50 | 6.0 | 10 | 3,0 | 87,0 | 575 | -70 | |
| 37 | A | 50 | 6.5 | 23 | 16,5 | 60,5 | 486 | 5 | Comparativo |
| 38 | C | 50 | 6.2 | 7 | 13,5 | 79,5 | 650 | 26 | |

Aplicabilidade Industrial

[00108] De acordo com os tubos de aço sem costura e o seu método de produção da presente invenção, a composição química dos tubos de aço sem costura e seu método de produção são definidos, com o que um tubo de aço sem costura para linha de fluxo submarina com uma parede particularmente grossa, que tenha alta resistência de não menos que 483 MPa por limite de elasticidade e excelente dureza pode ser produzido. A presente invenção permite o fornecimento de um tubo de aço sem costura que pode ser deixado em mares profundos, e contribui significativamente para fornecimento estável de energia no mundo.

## REIVINDICAÇÕES

1. Tubo de aço sem costura temperado e revenido com uma espessura de parede de não menos que 25 mm, caracterizado pelo fato de que compreende uma composição química consistindo em, % em massa,

C: 0,03 a 0,08%,

Mn: 0,3 a 2,5%,

Al: 0,001 a 0,10%,

Cr: 0,02 a 1,0%,

Ni: 0,02 a 1,0%,

Mo: 0,02 a 0,8%,

Ti: 0,004 a 0,010%,

N: 0,002 a 0,008%,

Ca: 0,0005 a 0,005%, e

o saldo sendo Fe e impurezas, com menos de 0,10% de Si, não mais que 0,05% de P, não mais que 0,005% de S, menos de 0,005% de Nb, e não mais de 0,01% de B como impurezas, e

tendo uma microestrutura, após ser temperada e antes de ser revenida, consistindo de até 20% em volume de ferrita poligonal, até 10% em volume de uma microestrutura mista de martensita e austenita retida, e o saldo sendo bainita, e o tubo de aço após ser revenido apresenta um limite de elasticidade de 565 MPa ou mais e uma temperatura de transição de energia de -60℃ ou men os.

2. Tubo de aço sem costura temperado e revenido de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que também inclui, ao invés de uma parte de Fe, não mais que 0,08% em massa de V.

3. Tubo de aço sem costura temperado e revenido de acordo com a reivindicação 1 ou 2, caracterizado pelo fato de que também inclui, ao invés de uma parte de Fe, não mais que 1,0% de Cu.

4. Tubo de aço sem costura temperado e revenido de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, caracterizado pelo fato de que também inclui, ao invés de uma parte de Fe, um ou mais elementos selecionados do grupo consistindo em não mais que 0,005% em massa de Mg e não mais que 0,005% em massa de REM.

5. Método para produção de um tubo de aço sem costura como definido em qualquer uma das reivindicações 1 a 4, compreendendo:

laminar um aço que tenha a composição química definida em qualquer uma das reivindicações 1 a 4 em um tubo,

temperar o tubo de aço imediatamente enquanto a temperatura de qualquer parte do tubo de aço é igual ou superior ao ponto de transformação $Ar_3$, ou temperar o tubo de aço após o encharque em um forno de manutenção em uma temperatura variando do ponto de transformação $Ac_3$ até 1.000℃, caracterizado pelo fato de que a têmpera é executada pelo resfriamento forçado até uma temperatura de acabamento abaixo de 200℃ com a taxa média de r esfriamento de não menos que 5℃/s a uma temperatura variando de 8 00℃ a 500℃, e

revenir o tubo de aço temperado em uma temperatura variando de 550 ℃ até o ponto de transformação $Ac_1$.