



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

(21) PI 1001535-3 A2

(22) Data do Depósito: 26/04/2010

(43) Data da Publicação: 08/12/2015

(RPI 2344)



(54) Título: MÉTODO PARA PRODUÇÃO DE CHAPA DE AÇO E TUBO DE AÇO PARA TUBO DE LINHA DE ALTA RESISTÊNCIA EXCELENTE EM DEFORMAÇÃO E TENACIDADE À BAIXA TEMPERATURA

(51) Int. Cl.: C21D 8/02; C21D 8/10; C21D 6/00; C21D 9/08; C21D 9/50; (...)

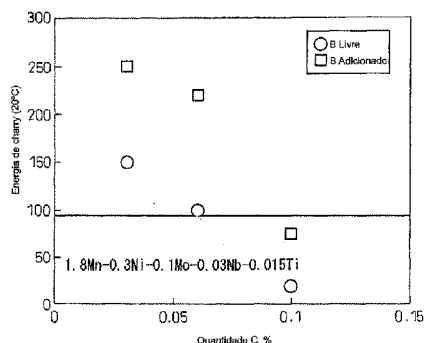
(52) CPC: C21D 8/0226; C21D 8/0273; C21D 8/02; C21D 8/10; C21D 6/005; C21D 9/08; C21D 9/50; C22C 38/04; C22C 38/02; C22C 38/12; C22C 38/06; C22C 38/14; C22C 38/002

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

(72) Inventor(es): TAKUYA HARA, YOSHIO TERADA, HITOSHI ASAH

(74) Procurador(es): DANNEMANN, SIEMSEN, BIGLER & IPANEMA MOREIRA

(57) Resumo: MÉTODO PARA PRODUÇÃO DE CHAPA DE AÇO E TUBO DE AÇO PARA TUBO DE LINHA DE ALTA RESISTÊNCIA EXCELENTE EM DEFORMAÇÃO E TENACIDADE À BAIXA TEMPERATURA. A presente invenção refere-se a um método para produção de chapa de aço para tubo de linha de alta resistência e um método para produção de tubo de aço para tubo de linha de alta resistência superior em resistência e tenacidade à baixa temperatura e a deformação do material base, possuindo soldabilidade de bom campo e possuindo uma resistência à tensão de 900 Mpa ou mais (padrão API X12 ou mais) são providos como um objetivo. Esta tarefa pode ser manuseada através de um método para produção de tubo de aço para tubo de linha de alta resistência excelente em deformação e tenacidade à baixa temperatura, etc, caracterizado pelo fato de que contém aquecimento de aço em % em massa, C: 0,03 a 0,07%, Si: 0,01 a 0,050%, Mn: 1,5 a 2,5%, P: 0,01%, S: 0,0030%, Nb: 0,0001 a 0,2%, Al: 0,0005 a 0,03%, Ti: 0,003 a 0,030%, e B: 0,0001 a 0,0050% e possuindo um equilíbrio de ferro e impurezas não-disponíveis, laminando-o a quente, resfriando-o à água até uma temperatura de partida de transformação de y (...)



Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "**MÉTODO PARA PRODUÇÃO DE CHAPA DE AÇO E TUBO DE AÇO PARA TUBO DE LINHA DE ALTA RESISTÊNCIA EXCELENTE EM DEFORMAÇÃO E TENACIDADE À BAIXA TEMPERATURA**".

5 CAMPO TÉCNICO

A presente invenção refere-se a tubo de aço para tubo de linha de alta resistência excelente em deformação e tenacidade à baixa temperatura possuindo resistência à tensão (TS) de 900 Mpa ou mais na direção circunferencial. O tubo de aço para tubo de linha da presente
10 invenção pode ser amplamente utilizado como tubo de linha para transportar gás natural e óleo bruto.

ANTECEDENTE DA TÉCNICA

Nos últimos anos, condutos tornaram-se progressivamente importantes como o meio para transporte de longa distância de óleo bruto e
15 gás natural. No presente momento, o tubo de linha em canal para transporte de longa distancia é projetado com base no Instituto de Petróleo Americano (API) padrão X65. A quantidade de uso é também predominantemente maior. No entanto, para (1) melhora na eficácia de transporte aumentando a pressão de operação e (2) melhora na eficácia de instalação de campo
20 através da redução no diâmetro e peso externos do tubo de linha, tubo de linha de maior resistência é desejado. Até o momento, tubo de linha até X80 (resistência à tensão de 620 Mpa ou maior) foi comercializado. Adicionalmente, nos últimos anos, a necessidade por tubo de linha de alta resistência tornou-se maior. Em pesquisas no método para produção de tubo
25 de linha de alta resistência, basicamente a tecnologia para a produção de tubo de linha convencional X80 (por exemplo, ver NPL 1 e NPL 2) foi estudada. Além disso, nos últimos anos, a tecnologia para produção de tubo de linha X100 (por exemplo, ver NPL 3) e tubo de linha X120 (por exemplo, ver NPL 4) foi estudada.

30 Por outro lado, nos últimos anos, o pensamento no projeto de tubo de linha tem sido mudado. No passado, os projetos de conduto eram projetados com base nas pressões constantes de operação (estresse

baseado no projeto), porém recentemente os projetos foram introduzidos segundo os quais mesmo se um conduto for submetido a esforço, as zonas de solda de cinturão do tubo de aço não irão fraturar e o tubo de aço por si só não irá ceder (esforço baseado no projeto). Até o momento, para o tubo

5 de linha de alta resistência X120, as composições químicas e as condições de produção foram estudadas para projetos materiais de segurança garantindo tenacidade à baixa temperatura do material base e tenacidade das zonas afetadas pelo calor de solda da fenda (por exemplo, ver NPL 4). No entanto, no caso de esforço baseado no projeto, uma deformação do

10 material base ou uma deformação após o revestimento do tubo de aço é também exigida. Se as questões relacionadas a isso não puderem ser resolvidas, a produção de tubo de aço do tubo de linha X120 para os esforços baseados nos projetos será impossível. Alcançar a alta resistência de condutos requer diversas condições de produção para produzir o tubo de

15 aço garantindo um equilíbrio da resistência e tenacidade à baixa temperatura do material base, tenacidade do metal de solda e zona afetada pelo calor de solda da fenda (HAZ), soldabilidade de campo, flexibilidade de junção, resistência à fratura do corpo do tubo através de teste de rajada, etc. e excelente na deformação do material base. O desenvolvimento de tubo de

20 linha de parede pesada de alta resistência (sobre X100) que se aproxima é desejado.

SUMÁRIO DA INVENÇÃO

Problema Técnico

A presente invenção provê métodos para a produção de chapas

25 de aço de tubo de linha de alta resistência e um método para produção de chapa de aço de tubo de linha de alta resistência excelente na resistência de material base, tenacidade à baixa temperatura e deformação, possuindo boa soldabilidade de campo, e possuindo uma resistência à tensão de 900 Mpa ou mais (padrão API X120 ou mais).

30 Solução para o problema

Os inventores se envolveram em pesquisa de laboratório sob condições a serem satisfeitas na produção de chapa de aço e tubo de aço

para obter chapa de aço de alta resistência e tubo de aço com uma resistência à tensão de 900 Mpa ou mais e excelente em tenacidade à baixa temperatura e, por conseguinte inventaram um novo método para produção de chapa de aço para tubo de linha de alta resistência e método para
5 produção de tubo de aço para tubo de linha de alta resistência. A essência da presente invenção é como segue.

(1) Um método para produção de chapa de aço para tubo de linha de alta resistência excelente em deformação e tenacidade à baixa temperatura, caracterizado pelo fato de que contém aquecimento de aço, em
10 % em massa, C: 0,03 a 0,07 %, Si: 0,01 a 0,050 %, Mn: 1,5 a 2,5 %, P: $\leq$ 0,01 %, S: $\leq$ 0,0030 %, Nb: 0,0001 a 0,2 %, Al: 0,0005 a 0,03 %, Ti: 0,003 a 0,030%, e B: 0,0001 a 0,0050 % e possuindo um equilíbrio de ferro e impurezas não-disponíveis, laminando-o à quente, resfriando-o à água a uma faixa de temperatura de partida de transformação γ/α ou maior, a seguir
15 reaquecendo-o, a então resfriando-o.

(2) Um método para produção de chapa de aço para tubo de linha de alta resistência excelente em deformação e tenacidade à baixa temperatura, como definido em (1), em que o dito aço inclui adicionalmente, em % em massa, um ou mais de Cu: 0,05 a 1,5 %, Ni: 0,05 a 5,0 %, Cr: 0,02
20 a 1,5 %, Mo: 0,01 a 1,5 %, V: 0,01 a 0,10 %, Zr: 0,001 a 0,050 %, e Ta: 0,0001 a 0,050 %.

(3) Um método para produção de chapa de aço para tubo de linha de alta resistência excelente em deformação e tenacidade à baixa temperatura, como definido em (1) ou (2), em que o dito aço inclui
25 adicionalmente, em % em massa, um ou mais de Mg: 0,0001 a 0,010 %, Ca: 0,0001 a 0,005 %, REM: 0,0001 a 0,005 %, Y: 0,0001 a 0,005 %, Hf: 0,0001 a 0,005 %, e W: 0,0001 a 0,005 %.

(4) Um método para produção de chapa de aço para tubo de linha de alta resistência excelente em deformação e tenacidade à baixa
30 temperatura, como definido em qualquer um de (1) a (3), caracterizado pelo fato de que o dito resfriamento à água após a dita laminação à quente é desempenhado a $1^{\circ}\text{C} / \text{s}$ ou a uma taxa de resfriamento mais rápida.

(5) Um método para produção de chapa de aço para tubo de linha de alta resistência excelente em deformação e tenacidade à baixa temperatura, como definido em qualquer um de (1) a (4), caracterizado pelo fato de que após o dito reaquecimento é desempenhado a uma taxa de resfriamento de 1°C / s ou mais rápida.

(6) Um método para produção de chapa de aço para tubo de linha de alta resistência excelente em deformação e tenacidade à baixa temperatura, como definido em qualquer um de (1) a (5), caracterizado pelo fato de que mantém a temperatura da chapa por 1 segundo ou mais após o dito reaquecimento.

(7) Um método para produção de chapa de aço para tubo de linha de alta resistência excelente em deformação e tenacidade à baixa temperatura, como definido em qualquer um de (1) a (6), caracterizado pelo fato de que a dita temperatura de aquecimento é 1000°C ou maior e uma razão de redução da dita laminação a quente na região de temperatura de não-recristalização é 3 ou mais.

(8) Um método para produção de chapa de aço para tubo de linha de alta resistência excelente em deformação e tenacidade à baixa temperatura, caracterizado pelo fato de que a forma da chapa de aço produzida através de um método para produção, como definido em qualquer um de (1) a (7) em tubo, soldando suas partes limítrofes, então expandindo o tubo.

(9) Um método para produção de chapa de aço para tubo de linha de alta resistência excelente em deformação e tenacidade à baixa temperatura, como definido em (8) caracterizado pelo fato de que um metal de solda quando soldando as ditas partes limítrofes contém, em % em massa, C: 0,01 a 0,010 %, Si: 0,01 a 0,40 %, Mn: 1,0 a 2,2 %, P: ≤ 0,01 %, S: ≤ 0,010 %, Ni: 1,3 a 3,2 %, Cr +Mo +V: 1,0 a 2,9%, Al: 0,0005 a 0,1 %, Ti: 0,003 a 0,050 %, e O: 0,0001 a 0,05 % e possui um equilíbrio de ferro e impurezas não-disponíveis.

(10) Um método para produção de chapa de aço para tubo de linha de alta resistência excelente em deformação e tenacidade à baixa

temperatura, como definido em qualquer um de (8) ou (9), caracterizado pelo fato de que as partes limítrofes são soldadas através de arco submerso soldando de um lado interno e um lado externo utilizando fio e aglomerado de solda ou fluxo fundido.

5 (11) Um método para produção de chapa de aço para tubo de linha de alta resistência excelente em deformação e tenacidade à baixa temperatura, como definido em qualquer um de (8) a (10), caracterizado pelo fato de que o tubo é soldado, as zonas soldadas da fenda são tratadas à quente, então o tubo é expandido.

10 (12) Um método para produção de chapa de aço para tubo de linha de alta resistência excelente em deformação e tenacidade à baixa temperatura, como definido em (11), caracterizado pelo fato de que as ditas zonas de solda são tratadas à quente a 200°C a 500°C.

EFEITOS VANTAJOSOS DA INVENÇÃO

15 A composição química e o método para produção da presente invenção são limitados, o aço é laminado e resfriado à água, a seguir o resfriamento à água é finalizado na faixa de temperatura de partida de transformação γ/α ou maior. Após isto, o aço é novamente aquecido, mantido e então resfriado. Devido a este efeito, a resistência, tenacidade à
20 baixa temperatura, e deformação antes e após o envelhecimento do esforço podem ser melhorados. Como um resultado, a segurança do tubo de linha é amplamente melhorada.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

25 A Figura 1 é um gráfico mostrando a relação entre a energia de Charpy (-20 °C) e os conteúdos de C e B.

DESCRIÇÃO DAS MODALIDADES

Abaixo, o conteúdo da presente invenção será explicado em detalhes.

30 A presente invenção é uma invenção relacionada a métodos para produção de chapa de aço e tubo de aço para tubo de linha de alta resistência excelente em tenacidade à baixa temperatura possuindo uma resistência à tensão (TS) de 900 Mpa ou maior. Este nível de resistência de

tubo de linha de alta resistência, comparado com o tubo de linha X65 de fluxo principal convencional, pode suportar cerca do dobro de pressão, assim cerca do dobro do gás pode ser transportado pelo tubo de mesmo tamanho. No caso de X65, seria necessário aumentar a espessura para elevar a pressão. O custo de material, custo de transporte, e custo de soldagem do campo tornam-se maiores e, portanto o custo de colocação do conduto se eleva amplamente. Esta é a razão porque o tubo de linha de alta resistência excelente em tenacidade à baixa temperatura possuindo uma resistência à tensão (TS) de 900 Mpa ou maior é considerado necessário.

Por outro lado, se tornar maior em resistência, a produção de tubo de aço se tornaria repentinamente difícil. Em particular, quando o esforço baseado no projeto for exigido, é necessário obter as condições de produção dando não apenas um equilíbrio de resistência e tenacidade à baixa temperatura do material base e tenacidade da zona soldada da fenda, mas também as propriedades alvo de deformação após o envelhecimento do esforço, etc. No entanto, satisfazer todas destas propriedades é extremamente difícil.

Os inventores envolvidos em estudo de laboratório e como um resultado, aprenderam que para garantir um equilíbrio de resistência e tenacidade à baixa temperatura do material base e satisfazer a deformação antes do envelhecimento do esforço do material base e a tenacidade da zona soldada da fenda, o aço suprimido na quantidade de C para 0,07 % ou menos é o sistema mais vantajoso de composições. A Figura 1 mostra os efeitos dos conteúdos de C e B sobre a tenacidade da zona afetada pelo calor de solda da fenda. Se fizer a quantidade de C 0,07 % ou menos, e adicionar B, é possível melhorar facilmente a tenacidade da zona afetada pelo calor de solda da fenda. Portanto, o aço é um com uma quantidade de 0,07 % ou menos de C e com B adicionado.

A seguir, a tenacidade à baixa temperatura do material base será explicada. Até aqui, para garantir uma tenacidade à baixa temperatura do material base do aço de alta resistência, foi suficiente para criar uma microestrutura de bainita inferior principal, porém no caso de uma

microestrutura de bainita inferior, torna-se claro que a deformação do material base, em particular a deformação após o envelhecimento do esforço, foi deteriorada. Para melhorar a deformação após o envelhecimento do esforço, é conhecido ser suficiente criar um aço de microestrutura de
5 duas fases de ferrita e bainita (parcialmente incluindo martensita). No entanto, foi extremamente difícil fazer o aço contendo B composto de aço de microestrutura duas fases em aço de alta resistência de 900 Mpa ou maior. Os inventores se envolveram em pesquisas e estudos intensivos e como resultado aprenderam que como as condições para criar uma microestrutura
10 de duas fases neste aço adicionado de B de alta resistência e satisfazer a tenacidade à baixa temperatura, existem as duas seguintes condições.

Primeiramente, para criar uma microestrutura de duas fases com TMCP como é, se laminar a uma temperatura baixa de 800°C ou menor e partir do resfriamento à água a uma temperatura baixa de 650 °C, uma
15 microestrutura de duas fases pode ser criada. No entanto, neste caso, ocorre uma grande variação na resistência à tensão e a tenacidade à baixa temperatura não é muito satisfatória.

Segundo, finalizando a laminação na região de temperatura de austenita de não-recristalização, a seguir resfriamento à água, parando o
20 resfriamento à água na temperatura de partida da temperatura de transformação γ/α ou maior, a seguir reaquecendo e laminando, a seguir resfriando, os inventores sucederam na formação de uma microestrutura de duas fases fina extremamente uniforme. No caso de um aço de microestrutura de duas fases fina uniforme, torna-se claro que a tenacidade
25 à baixa temperatura foi também extremamente boa. Se parar o resfriamento à água a esta temperatura de partida de transformação γ/α ou maior e mantiver o aço nesta temperatura ou maior, uma microestrutura de duas fases extremamente uniforme foi criada. Os inventores consideraram que isto foi devido às seguintes razões.

30 No caso de aço contendo B, os precipitados de B são formados em uma região de temperatura possuindo uma ponta de temperatura de 800°C, um limite superior de 900°C, e um limite inferior de 500 °C. Durante a

laminação na região de temperatura de austenita, os segregados de B nos limites de grão de austenita, porém se o momento de suporte de austenita se tornar longo, o segregado de B nos limites de grão de austenita começa a precipitar nos limites do grão. Utilizando esta característica, o aço foi

5 laminado, a seguir resfriado à água, então o resfriamento à água finalizado na temperatura de partida de transformação γ/α ou mais e o aço reaquescido e mantido na região de temperatura de austenita.

Através disto, o segregado de B nos limites de grão de austenita começa a precipitar. Se os precipitados de B, a energia limitante de grão se

10 eleva e a transformação de α é promovida. Se o resfriamento à água após este transforma α para cerca de 40 a 60 %, torna-se claro a partir de experimentos que uma microestrutura de duas fases de aproximadamente metade de uma fase α e uma metade restante de uma fase de martensita resulta. Se laminar, então inicia o resfriamento à água e para na temperatura

15 de partida de transformação γ/α ou maior, a seguir reaquescer a força de condução γ/α se eleva, assim quanto maior a temperatura, maior a força de condução. Neste caso, a temperatura de suporte não deve ser mantida por muito tempo.

Abaixo, as razões para limitação da composição química do

20 material base da zona afetada pelo calor de solda da fenda da presente invenção serão explicadas.

C: C é um elemento essencial como um elemento básico para melhorar a resistência do material base no aço. Para melhorar a resistência a ser eficaz, 0,03 % ou mais deve ser adicionado, porém se mais de 0,07 %

25 for excessivamente adicionado, ocorre um salto na soldabilidade e tenacidade do material de aço, desse modo o limite superior é 0,07 %. Preferencialmente, este é na faixa de 0,03 a 0,06 %.

Si: Si é um elemento requerido como um elemento desoxidante na produção de aço. 0,01 % ou mais deve ser adicionado no aço, porém se

30 acima de 0,5 %, a tenacidade de HAZ é diminuída, assim este é o limite superior.

Mn: Mn é um elemento requerido para garantir a resistência e

tenacidade do material base. Se acima de 2,5 %, a tenacidade de HAZ é consideravelmente deteriorada, porém de modo oposto, se menos que 1,5 %, se torna difícil garantir a resistência do material base, assim a faixa é de 1,5 a 2,5 %.

5 P: P é um elemento possuindo um efeito sobre a tenacidade do aço. Se incluído acima de 0,01 %, a tenacidade não somente do material base do material de aço, porém também a HAZ é consideravelmente prejudicada, assim o limite superior do conteúdo é 0,01 %.

 S: Se S for excessivamente adicionado sobre 0,0030%, torna-se
10 uma causa da formação de sulfeto grosso tenacidade deteriorada, assim o limite superior é 0,003%;

 Nb: Nb é um elemento de formação de carbonetos e nitrito e possuindo um efeito de melhorar a resistência. Se menos que 0,0001 % for adicionado, não existe efeito de unir o aperfeiçoamento, enquanto se mais
15 de 0,20 % for adicionado, ocorre um salto de tenacidade de 0,20 %, assim a faixa é 0,0001 a 0,20 %.

 Al: Al é usualmente adicionado como um desoxidante, porém na presente invenção, se mais de 0,03 % for adicionado, óxidos baseados em Ti não podem ser produzidos, assim este é o limite superior. Adicionalmente,
20 para reduzir a quantidade de oxigênio no aço derretido, 0,0005 % é necessário. Este é o limite inferior.

 Ti: Ti é um elemento que exhibe um efeito para refinamento do grão cristal como um desoxidante e adicionalmente como um nitrito formando o elemento. A adição de uma grande quantidade causa um salto
25 considerável na tenacidade devido à formação de carbonetos, assim é necessário fazer o limite superior de 0,030 %, porém para obter um efeito predeterminado, deve ser adicionado 0,003 % ou mais. A faixa é de 0,003 a 0,030 %.

 B: B é um elemento que geralmente aumenta a rigidez se formar
30 uma solução sólida, porém diminui a solução sólida N como BN e melhora a tenacidade da zona afetada pelo calor de solda. Portanto, com a adição de 0,0001% ou mais, aquele efeito pode ser utilizado, porém a adição excessiva

convida um salto em tenacidade, assim o limite superior é 0,0050%.

Note que, na presente invenção, como os elementos para melhorar a resistência e tenacidade, um ou mais elementos dentre Cu, Ni, Cr, Mo, V, Zr, e Ta podem ser adicionados.

5 Cu: Cu é um elemento eficaz para elevar a resistência sem reduzir a tenacidade. Se menos de 0,05 % não há efeito na melhora da resistência. Se acima de 1,5 %, racha a forma mais fácil no momento de aquecimento da lajota ou no momento de soldagem. Portanto, o conteúdo é de 0,05 a 1,5%.

10 Ni: Ni é um elemento eficaz para melhora da tenacidade e resistência. Para obter a tenacidade e resistência necessárias, 0,05 % ou mais deve ser adicionado, porém com adição de mais de 5,0 %, a soldabilidade cai, assim o limite superior é 5,0 %.

15 Cr: Cr melhora a resistência de aço através da resistência à precipitação. Para isto, a adição 0,02 % ou mais é eficaz, porém se adicionada em grande quantidade, eleva a rigidez, causa a formação de uma microestrutura de bainita, e deteriora a tenacidade. Portanto, o limite superior é 1,5 %.

20 Mo: Mo é um elemento que melhora a rigidez e simultaneamente forma carbonetos e melhora a resistência. Para obter a resistência necessária, a adição de 0,01 % ou mais se torna necessário, porém a adição de uma grande quantidade acima de 1,5 % aumenta a resistência mais que necessária e também causa um salto considerável na tenacidade, assim a faixa é 0,01 a 1,5%.

25 V: V é um elemento que forma carbonetos e nitritos e possui o efeito de melhora da resistência. Se adicionado menos que 0,01 %, não existe efeito de melhora da resistência, enquanto se mais de 0,10 % for adicionado, ao contrário, ocorre um salto na tenacidade, assim a faixa é de 0,01 a 0,10%.

30 Zr, Ta: Zr e Ta, são elementos que também, como Nb, formam carbonetos e nitritos e possuem o efeito de melhora da resistência. Se adicionado menos que 0,0001 %, não existe efeito de melhora da

resistência, enquanto se adicionado acima de 0,050%, ao contrário ocorre um salto na tenacidade, assim a faixa é de 0,0001 a 0,050 %.

Adicionalmente, Mg, Ca, REM, Y, Hf, W, e Re podem ser adicionados.

5 Mg: Mg é um elemento de liga principal da presente invenção e é principalmente adicionado como um desoxidante. Se adicionado mais de 0,010 %, óxidos grossos se formam facilmente e é causada uma redução no material base e tenacidade HAZ. No entanto, se menos de 0,0001% for
10 requeridas como partículas definhadas podem não ser suficientemente esperadas, assim a faixa de adição é limitada a 0,0001 a 0,010 %.

Ca, REM, Y, Hf, W, e Re: Ca, REM, Y, Hf, W, e Re formam sulfetos e, por conseguinte suprimem a formação de MnS alongado e melhoram as propriedades do material de aço na direção de espessura, em
15 particular a resistência de rasgo lamelar. Se Ca, REM, Y, Hf, W, e Re são todos menos de 0,0001 %, este efeito não pode ser obtido, assim o valor de limite inferior é de 0,0001 %. Ao contrário, se mais de 0,0050 %, o número de partículas de óxido de Ca, REM, Y, Hf, W, e Re aumentam e o número de partículas superfinais de óxido contendo Mg diminui, assim o limite superior é
20 0,0050%. Note que "REM" significa La, Ce, ou outro elemento terroso raro.

O aço contendo as composições acima foi produzido no processo de fabricação de aço, então continuamente escolhido, etc. para dentro da chapa e aquecido e laminado. Neste caso, se fizer a temperatura de aquecimento A_{c3} ou mais, fazer a razão de redução na região de
25 recristalização 2 ou mais, e fazer a razão de redução na região de recristalização 3 ou mais, a média do tamanho do grão de austenita anterior se torna 20 μm ou menos. Após isto, a laminação é encerrada, a seguir é desempenhado resfriamento à água, porém é necessário fazer parar o resfriamento à água na temperatura ou menos que a temperatura de partida
30 de transformação γ/α ou maior, a seguir novamente aquecer o aço e manter aquecendo-o, a seguir resfriá-lo à água.

A temperatura de reaquecimento da lajota da chapa deve ser feita de 1000°C ou mais. Se a temperatura de reaquecimento se tornar muito alta, a aspereza dos grãos γ aquecidos, assim a temperatura de aquecimento máxima é preferencialmente feita a 1250 °C ou menos.

- 5 Considerando a razão de redução na região de recristalização, se a razão de redução for menor que 2, não ocorre recristalização suficiente, assim a razão de redução é de 2 ou mais.

- Se fizer a relação de redução na razão de redução na região de recristalização 3 ou mais, o tamanho médio do grão de austenita anterior se torna 20 μm ou mais, assim a razão de redução é 3 ou mais. Preferencialmente, se 4 ou mais, adicionalmente, o tamanho médio do grão de austenita é de 10 μm ou menos.
- 10

- Considerando a temperatura de partida de resfriamento à água, o aço deve ser resfriado à água a partir da região de austenita. Isto é, é resfriado a partir do ponto Ae_3 ou mais. Se ocorrer a transformação γ/α , uma microestrutura irregular é formada após a parada de resfriamento à água, assim para baixar a tenacidade de temperatura baixa, a temperatura de partida de resfriamento à água é a região de temperatura de austenita ou mais.
- 15

- 20 Considerando a temperatura de parada de resfriamento, o resfriamento é encerrado à temperatura de partida de transformação γ/α ou maior. Se a temperatura de parada do resfriamento à água for abaixo da temperatura de partida de transformação de γ/α , a quantidade de segregados de B nos limites de grão se tornam irregulares e uma microestrutura de duas fases uniforme fina não pode ser criada, assim esta é a razão porque a temperatura de parada do resfriamento à água ser o ponto de transformação γ/α ou maior. A taxa de resfriamento até o ponto de partida de transformação γ/α após o rolamento ser de 1° C/s ou mais rápida. Se menos de 1° C/s, ocorre transformação γ/α durante o resfriamento e uma microestrutura de duas fases uniforme não pode ser obtida, assim o limite inferior é 1° C/s.
- 25
- 30

A temperatura de reaquecimento após a parada do resfriamento à água é o ponto de transformação de γ/α ou maior. O limite superior da temperatura de reaquecimento é 900 °C. Se acima de 900 °C, a precipitação de B nos limites de grão não ocorre facilmente, assim o limite superior foi de 900° C.

O tempo de suporte é de 1 segundo a 10 minutos. Se menos que 1 segundo, o tempo de suporte é curto e a transformação de α não é suficientemente promovida. Preferencialmente, deve ser de 30 segundos ou mais. Por outro lado, se acima de 10 minutos, a precipitação se torna áspera, a taxa de transformação de α se torna muito rápida, e uma microestrutura de duas fases fina uniforme não pode ser obtida, assim o tempo de suporte é de 1 segundo a 10 minutos.

Considerando a taxa de resfriamento após o reaquecimento, a taxa de resfriamento até a temperatura final de transformação γ/α é de 1° C/s ou mais rápida. Se menos que 1° C/s, uma resistência de 900 Mpa ou mais não pode ser obtida, assim a taxa de resfriamento é de 1° C/s ou mais rápida.

A chapa de aço acima é moldada em tubo, as partes limítrofes são soldadas a partir das superfícies internas e externas, a seguir o tubo é expandido para obter o tubo de aço do tubo de linha. A localização soldada a partir das superfícies interna e externa é chamada o "metal de solda".

O fio utilizado para a soldagem, considerando a diluição de composições através do material base, é preferencialmente feito da composição química do metal de solda, a faixa explicada abaixo. Isto é, ele é composto de uma composição química contendo, em % em massa, C: 0,01 a 0,12%, Si: 0,05 a 0,5%, Mn: 1,0 a 2,5%, e Ni: 2,0 a 8,5% e possuindo um equilíbrio de ferro e impurezas não-evitadas. Como o fluxo utilizado para a soldagem, foi utilizado tanto o fluxo fundido ou fluxo aglomerado.

Abaixo, as razões para limitação da composição química do metal de solda serão explicadas.

A quantidade de C é limitada a 0,01 a 0,10%. C é extremamente eficaz para a melhora da resistência do aço. Para obter a resistência

almejada em uma estrutura de martensita - bainita, um mínimo de 0,01 % e necessário. No entanto, se a quantidade de C for muito grande, a baixa temperatura de solda facilmente ocorre rachadura. Este convida uma elevação na rigidez máxima da HAZ da assim chamada "parte transversal em T" onde a zona soldada de cinturão e a solda da fenda se intersectam, assim o limite superior é de 0,010%. Preferencialmente, o limite superior pode ser de 0,05%.

Si deve ser de 0,01 % ou mais para evitar furos de sopro, porém se o conteúdo for grande, a tenacidade de baixa temperatura é consideravelmente deteriorada, assim o limite superior é de 0,4%. Em particular, quando a soldagem nas superfícies interna e externa e múltiplas camadas de soldagem, a tenacidade de baixa temperatura das zonas reaquecidas se deteriora.

Mn é um elemento essencial para garantir um equilíbrio excelente de resistência e tenacidade de baixa temperatura e adicionalmente é um elemento essencial como uma inclusão formando bainita nos grãos. O limite inferior é de 1,0%. No entanto, se Mn for muito, a segregação é promovida, a tenacidade de baixa temperatura se deteriora, e também a produção do material de soldagem se torna difícil, assim o limite superior é de 2,2%.

P é um elemento que afeta a tenacidade. Se incluir mais de 0,01%, a tenacidade do metal de solda consideravelmente se deteriora, assim o limite superior é de 0,01%.

Se S for adicionado em excesso de mais de 0,010%, torna-se uma causa da formação de sulfetos grossos e diminui a tenacidade, assim o limite superior é de 0,010%.

A finalidade de adicionar o Ni é para elevar a rigidez para garantir a resistência e, adicionalmente, melhorar a tenacidade de baixa temperatura. Se menos de 1,3%, é difícil para obter a resistência alvo e tenacidade de baixa temperatura. Por outro lado, se o conteúdo for muito, existe um perigo de rachar à alta temperatura, assim o limite superior é de 3,2%.

Não é possível diferenciar estritamente as diferenças nos efeitos de Cr, Mo, e V, porém cada um é adicionado para elevar a rigidez e obter a alta resistência. Se o total de Cr, Mo, e V (Cr+Mo+V) for menos que 1,0%, o efeito não é suficiente. Se adicionar uma grande quantidade, a tenacidade
5 de baixa temperatura se deteriora, assim o limite superior é de 2,9%.

Ti é essencial como uma composição principal de inclusões formando bainita intragranular, assim o limite inferior é de 0,003%. Se o Ti for muito, uma grande quantidade de carbonetos de Ti é formada e a tenacidade de baixa temperatura se deteriora, assim o limite superior é
10 0,05%.

O: O é um elemento essencial para formar óxidos contendo Ti. Se a quantidade de oxigênio que finalmente permanece no aço for menor que 0,0001%, o número de partículas de óxido não será suficiente, assim 0,0001% é o valor de limite inferior. Por outro lado, se mantendo em mais de
15 0,05%, os óxidos ásperos se tornam maiores causando um salto na tenacidade da zona de metal de solda. Portanto, o valor de limite superior é de 0,050%.

O metal de solda algumas vezes contém Al, Zr, Nb, Mg, e os outros elementos adicionaram como necessário para melhorar o refinamento e solidificação no momento de soldagem. Note que, para formar bainita intragranular, a formação de óxidos de Ti é necessária. Al é preferencialmente tão baixo quanto possível. Adicionalmente, as quantidades de P e S são preferencialmente menores a fim de reduzir a deteriorização da tenacidade de baixa temperatura e a susceptibilidade de
20 rachar a baixa temperatura.

A seguir, a microestrutura de metal de solda será definida. Para fazer a resistência à tensão da resistência do metal de solda de 900 Mpa ou maior, a estrutura deve ser dada por uma porcentagem de martensita ou bainita de 80% ou mais. Adicionalmente, para melhorar a tenacidade de
30 baixa temperatura do metal de solda, a porcentagem de bainita intragranular é preferencialmente tão grande quanto possível. 50% ou mais é preferível.

Finalmente, as condições de tratamento a quente do tubo serão explicadas. Após a soldagem e antes da expansão do tubo, se aquecer a zona de solda para 200 °C a 500 °C na temperatura, o MA áspero formado ao longo dos limites do grão de austenita anterior irá se decompor em cementita fina. Se menos de 200 °C, o MA áspero não irá se decompor em cementita, assim o valor limite inferior é de 200 °C. Adicionalmente, se o tratamento a quente da zona de solda acima de 500 °C, a zona de metal de solda irá se deteriorar em tenacidade, assim o limite superior é de 500 °C.

Para fazer a resistência à tensão na direção circunferencial do tubo de aço de 900 Mpa ou maior e garantir uma boa tenacidade, é preferível fazer um ou ambos do equivalente de carbono C_{eq} e o parâmetro de rigidez P_{cm} calculado a partir da composição química do material base e do metal de solda em uma faixa adequada.

O equivalente de Carbono C_{eq} é calculado pela fórmula a seguir (1). No material base, é preferivelmente de 0,30 a 0,70 na faixa, enquanto no metal de solda, é preferivelmente de 0,8 a 1,2.

$$C_{eq} = C + Mn/6 + (Cu + Ni)/15 + (Cr + Mo + V)/5 \dots (1)$$

onde C, Mn, Cu, Ni, Cr, Mo, e V são os conteúdos dos elementos (% em massa).

Adicionalmente, o parâmetro de rigidez P_{cm} é calculado pela seguinte fórmula (2). No material base, é preferencialmente na faixa de 0,150 a 0,250, enquanto no metal de solda, é preferivelmente de 0,300 a 0,400.

$$P_{cm} = C + Si/30 + (Mn + Cu + Cr)/20 + Ni/60 + Mo/15 + V/10 + 5XB \dots (2)$$

onde C, Si, Mn, Cr, Ni, Mo, V, e B são os conteúdos dos elementos (% em massa).

Exemplos

A seguir, os exemplos da presente invenção serão explicados.

Uma lajota de cada uma das composições da tabela 1 possuindo uma espessura de 240 mm foi aquecida a 1100 a 1210 °C, a seguir laminada a quente a 70 a 100 mm por uma temperatura de recristalização de 950 °C ou mais. Adicionalmente, esta chapa foi laminada a quente

- descentemente para 12 a 25 mm na faixa de temperatura de 880 °C a 750 °C na região de não-recristalização. Após isto, foi resfriada à água partindo de 650 °C a 750 °C. O resfriamento à água foi parado à temperatura de partida de transformação γ/α ou mais em temperatura. Após isto, a chapa foi
- 5 reaquescida ao ponto de transformação γ/α para 900°C, a seguir foi resfriada,

A Tabela 1 também mostra a composição química do material base, enquanto a Tabela 2 mostra as condições de laminação do material base.

No.	App	C	SI	Mn	P	S	Al	Ti	B	Ni	Cu	Cr	Mo	Nb	V	Zr	Ta	Hf	Co	Rh	Cd	Pb	
1	A	0.035	0.10	1.95	0.005	0.0005	0.004	0.012	0.0010	0.50		0.30	0.30	0.030	0.060			0.0053				0.525	0.190
2	B	0.055	0.13	1.81	0.008	0.0006	0.013	0.003	0.0008	0.40			0.45	0.040	0.060			0.0012				0.485	0.197
3	C	0.040	0.08	1.90	0.003	0.0008	0.008	0.012	0.0030	0.30	0.30		0.45	0.030	0.040					0.0008	0.495	0.207	
4	D	0.056	0.07	2.12	0.004	0.0003	0.010	0.016	0.0009	0.40		0.30		0.060	0.050	0.0051						0.633	0.241
5	E	0.060	0.25	1.85	0.009	0.0006	0.007	0.012	0.0020	0.30		0.30		0.12	0.060		0.0032					0.460	0.197
6	F	0.045	0.10	1.85	0.026	0.0004	0.016	0.012	0.0004	0.35	0.35	0.60	0.45	0.026	0.000	0.0012			0.0023			0.610	0.226
7	G	0.036	0.02	1.80	0.003	0.0006	0.005	0.013	0.0015			0.30		0.030	0.060			0.0038				0.408	0.155
8	H	0.035	0.15	1.90	0.007	0.0005	0.013	0.008	0.0003	0.50	0.30	0.30	0.30	0.030	0.100			0.0022				0.545	0.205
9	I	0.036	0.17	1.90	0.005	0.0002	0.013	0.010	0.0008	0.20			0.35	0.030	0.050							0.446	0.172
10	J	0.050	0.20	2.20	0.008	0.0004	0.004	0.030	0.0008	0.30	0.30	0.60	0.40	0.050	0.070			0.0018	0.0024			0.571	0.254
11	K	0.056	0.22	1.85	0.002	0.0003	0.004	0.024	0.0026	0.30		0.20		0.110	0.060							0.602	0.190
12	L	0.040	0.25	2.12	0.004	0.0006	0.010	0.012	0.0006	0.40		0.50	0.40	0.030	0.060	0.0137						0.620	0.230
13	M	0.035	0.31	1.86	0.006	0.0008	0.015	0.024	0.0025			0.40	0.40	0.010	0.090							0.523	0.207
14	N	0.046	0.09	2.12	0.006	0.0006	0.001	0.013	0.0005	0.35	0.30	0.60	0.45	0.040	0.000			0.0033	0.0035			0.653	0.239
15	O	0.040	0.28	2.00	0.004	0.0004	0.006	0.012	0.0010	0.50	0.30	0.25	0.30	0.012	0.000							0.537	0.210
16	P	0.050	0.32	2.00	0.003	0.0006	0.006	0.008	0.0000	0.80	0.40	0.70	0.18	0.006	0.000							0.0007	0.639
17	Q	0.060	0.48	1.96	0.002	0.0006	0.003	0.010	0.0019			0.30	0.30	0.028	0.000	0.0008						0.507	0.219
18	R	0.035	0.24	2.20	0.004	0.0006	0.003	0.006	0.0000	0.50	0.30		1.20	0.070	0.000		0.0229					0.695	0.256
19	S	0.035	0.28	2.30	0.017	0.0003	0.016	0.024	0.0045	0.40		0.30		0.013	0.000							0.0006	0.505
20	T	0.030	0.12	2.20	0.003	0.0005	0.022	0.012	0.0000	0.80	0.50	0.60	0.20	0.024	0.050			0.0029	0.0017			0.653	0.231
21	U	0.036	0.31	1.80	0.002	0.0008	0.003	0.017	0.0026		0.05		0.80	0.060	0.050							0.509	0.210
22	V	0.034	0.31	1.96	0.004	0.0025	0.025	0.018	0.0000	1.00	0.00	1.00	0.00	0.150	0.000			0.0021				0.627	0.209
23	W	0.005	0.18	2.20	0.005	0.0026	0.005	0.012	0.0026	0.80	0.50	0.50	0.40	0.050	0.050							0.648	0.229
24	X	0.210	0.45	1.75	0.007	0.0015	0.016	0.013	0.0012					0.030	0.200			0.0013				0.542	0.339
25	Y	0.040	0.12	3.50	0.015	0.0021	0.017	0.008	0.0029					0.014	0.000				0	0.0012		0.623	0.234
26	Z	0.060	0.25	1.93	0.040	0.0026	0.009	0.019	0.0008			0.60	0.60	0.040	0.060							0.634	0.245
27	AA	0.045	0.17	1.86	0.003	0.0031	0.005	0.017	0.0027	0.30	0.30	0.30	0.30	0.021	0.000			0.0005				0.515	0.212
28	AB	0.060	0.05	1.96	0.005	0.0030	0.100	0.023	0.0060			0.30	0.30	0.030	0.080							0.523	0.233
29	AC	0.059	0.09	2.40	0.003	0.0009	0.003	0.064	0.0009	0.60		0.30	0.30	0.030	0.000			0.0017				0.619	0.232
30	AD	0.046	0.12	1.85	0.024	0.0008	0.014	0.002	0.0021	0.13	0.40	0.60	0.00	0.014	0.000							0.510	0.205
31	AE	0.060	0.05	1.96	0.002	0.0016	0.160	0.010	0.0000	1.50	0.50	0.30	0.30	0.030	0.000							0.0007	0.640
32	AF	0.055	0.12	1.93	0.007	0.0021	0.020	0.015	0.0012	0.50		0.50	0.10	0.015	0.000							0.550	0.202
33	AG	0.045	0.15	1.85	0.009	0.0015	0.015	0.012	0.0008	0.10	0.20			0.030	0.030							0.379	0.161
34	AH	0.062	0.20	1.89	0.010	0.0013	0.013	0.010	0.0013	0.60	0.40		0.15	0.040	0.000							0.464	0.200
35	AI	0.036	0.15	1.92	0.006	0.0009	0.026	0.009	0.0012	0.50		0.40		0.026	0.040							0.477	0.175
36	AJ	0.034	0.26	1.89	0.008	0.0006	0.014	0.015	0.0015		0.50			0.015	0.020							0.473	0.192
37	AK	0.049	0.08	1.86	0.006	0.0008	0.012	0.012	0.0012	0.50	0.30			0.016	0.000							0.412	0.174
38	AM	0.045	0.19	1.90	0.007	0.0010	0.016	0.014	0.0012				0.25	0.023	0.030							0.418	0.172

Tabela 1

No.	Apo	Espessura da laje, mm	Espessura de transporte, mm	Espessura de chapa	Temperatura de aquecimento, °C	Raio de curvatura de resistência,	Raio de curvatura de pte- resistência	temperatura de partida de resfriamento a água, °C	Temperatura final de resfriamento a água, °C	potência por unidade de transformação V/1x	temperatura de resfriamento, °C	Tempo de resfriamento, s	taxa de resfriamento °C/s	Eficácia de aquecimento solução de calor	tratamento a quente após soldagem
1	A	240	70	14	1100	3,4	5,0	700	500	487	550	60	10	2,4	
2	B	240	100	25	1150	2,4	4,0	670	490	488	540	120	20	3,3	
3	C	240	80	16	1150	3,0	5,0	730	520	488	570	100	30	2,4	
4	D	240	75	15	1200	3,2	5,0	750	480	467	530	180	15	2,3	
5	E	240	95	19	1100	2,5	5,0	770	500	485	550	90	20	2,6	400
6	F	240	85	17	1150	2,8	5,0	650	510	478	560	100	25	2,5	
7	G	240	75	15	1200	3,2	5,0	800	510	498	560	180	15	2,4	
8	H	240	80	16	1150	3,0	5,0	750	550	484	600	240	20	2,4	
9	I	240	100	21	1200	2,4	4,8	770	520	495	570	150	30	2,8	
10	J	240	100	23	1100	2,4	4,3	760	530	470	580	200	18	3,3	
11	K	240	75	15	1150	3,2	5,0	790	550	487	600	300	16	2,4	
12	L	240	80	16	1200	3,0	5,0	810	600	476	650	400	24	2,5	
13	M	240	85	17	1180	2,8	5,0	800	500	493	550	200	26	2,6	
14	N	240	95	19	1150	2,5	5,0	780	500	472	560	150	24	2,8	
15	O	240	100	24	1200	2,4	4,2	810	520	480	570	300	19	3,2	
16	P	240	80	16	1180	3,0	5,0	730	500	466	550	400	21	2,4	
17	Q	240	95	19	1150	2,5	5,0	720	500	484	550	450	22	2,8	300
18	R	240	100	20	1100	2,4	5,0	810	510	476	560	460	30	2,8	
19	S	240	80	16	1200	3,0	5,0	790	510	481	560	500	15	2,4	
20	T	240	100	21	1150	2,4	4,8	750	520	468	570	420	18	3,2	
21	U	240	65	13	1180	3,7	5,0	730	510	497	590	400	20	2,2	
22	V	240	85	17	1150	2,8	5,0	700	550	471	600	300	15	2,8	
23	W	240	75	15	1180	3,2	5,0	690	510	477	560	100	10	2,4	
24	X	240	80	16	1200	3,0	5,0	700	490	446	540	200	20	2,6	
25	Y	240	100	21	1180	2,4	4,8	720	530	461	580	180	15	3,2	
26	Z	240	100	23	1280	2,4	4,3	740	520	480	570	240	24	3,5	
27	AA	240	75	15	1100	3,2	5,0	760	550	484	600	150	30	2,4	
28	AB	240	85	17	1150	2,8	5,0	800	540	485	590	90	15	2,6	
29	AC	240	95	19	1150	2,5	5,0	790	600	467	650	400	10	3	
30	AD	240	100	23	1100	2,4	4,3	780	520	482	570	240	16	3,5	
31	AE	240	80	16	1150	3,0	5,0	760	500	459	550	150	17	2,6	
32	AF	240	90	18	1300	2,7	5,0	750	490	478	540	160	16	2,8	
33	AG	240	60	25	1150	4,0	2,4	770	500	494	560	90	14	3	
34	AH	240	95	19	1150	2,5	5,0	680	490	481	580	80	19	3	
35	AI	240	80	16	1100	3,0	5,0	760	400	487	550	120	20	2,5	
36	AJ	240	80	16	1200	3,0	5,0	770	480	487	1200	160	15	2,4	
37	AL	240	75	15	1180	3,2	5,0	730	520	486	570	1000	10	2,4	
38	AM	240	70	14	1150	3,4	5,0	700	510	493	560	180	0,9	2,2	

Tabela 2

A seguir, esta chapa de aço foi moldada e soldada para formar tubo de aço. Este foi desempenhado sob condições de um calor de entrada de solda da fenda de 2.0 a 5.0 KJ/mm como mostrado na Tabela 2. Um teste de tensão da chapa de aço foi desempenhado utilizando uma amostra levada na direção L a partir da posição de 3 horas quando projetando a zona soldada da fenda do tubo de aço como 0 hora. Adicionalmente, este tubo de aço foi tratado à quente a 240°C (resfriado a ar após manter o aquecimento por 5 minutos), a seguir uma amostra levada a partir da mesma posição em cada caso e submetida a um teste de tensão. Adicionalmente, a chapa de aço foi submetida a um teste de Charpy e a um teste de DWTT. Adicionalmente, a tenacidade do metal de solda (posição de amostra da peça de teste da parte central de $\frac{1}{2}t$ parte do metal de solda) e a tenacidade HAZ (posição de amostra da peça de teste de FL+1mm) foi avaliada.

A Tabela 3 mostra os resultados da propriedade mecânica do material base.

Apq No.	Resistência de produto, Mpa	Resistência a tensão, Mpa	Taxa de produção, %	Energia de Cisalh/ (3000), J	Taxa de ruptura DMT (2000), %	Temperatura de cura até a 240°C pelo calor de solta, (15-30), J	Resistência de produto após aquecimento de 240°C, Mpa	Resistência a tensão após aquecimento de 240 °C, Mpa	Taxa de produção após aquecimento de 240 °C, %
1 A	790	915	86	280	89	120	830	930	89
2 B	800	923	87	230	75	90	840	938	90
3 C	810	945	86	245	75	130	850	960	89
4 D	790	932	85	230	78	105	830	947	88
5 E	800	915	87	230	82	160	840	930	90
6 F	780	910	86	250	75	95	820	925	89
7 G	810	950	85	270	78	110	850	965	88
8 H	810	920	88	265	80	125	850	935	91
9 I	820	940	87	260	76	110	870	955	91
10 J	810	925	88	250	81	95	860	940	91
11 K	800	956	84	235	80	90	850	971	88
12 L	880	1000	88	250	78	105	930	1015	92
13 M	840	950	88	270	77	110	890	965	92
14 N	830	945	88	265	79	108	880	960	92
15 O	810	923	88	260	81	110	860	938	92
16 P	820	924	89	250	80	108	870	939	91
17 Q	800	940	85	230	75	150	850	955	89
18 R	810	915	89	230	76	110	860	930	92
19 S	820	926	89	260	78	100	870	941	92
20 T	825	930	89	275	81	120	875	945	93
21 U	800	915	87	255	80	125	850	930	91
22 V	800	915	87	270	79	110	850	930	91
23 W	600	750	80	250	100	56	650	755	85
24 X	1100	1150	96	80	30	25	1150	1165	99
25 Y	900	1020	88	120	45	35	950	1035	92
26 Z	810	915	89	10	10	10	860	930	92
27 AA	805	925	87	10	10	5	855	940	91
28 AB	810	915	89	14	80	50	860	930	92
29 AC	820	930	88	170	84	40	870	945	92
30 AD	1050	1100	95	110	83	45	1100	1115	99
31 AE	780	880	89	100	81	50	820	895	92
32 AF	800	925	86	170	79	90	1070	1100	97
33 AG	820	930	88	90	40	95	870	945	92
34 AH	810	915	89	120	45	100	940	1020	92
35 AI	930	1000	93	260	79	110	960	1015	97
36 AJ	930	1020	91	230	78	95	980	1040	94
37 AL	900	970	93	245	81	100	940	980	96
38 AM	780	830	94	250	85	105	800	848	95

Tabela 3

Os aços 1 a 22 mostram exemplos da presente invenção. Como fica claro a partir da Tabela 3, estas chapas de aço, em todas as composições químicas, condições de laminação, e calor de entrada de solda, tiveram resistências à tensão de 900 Mpa ou mais, energias de Charpy de -30° C de 200 J ou mais, áreas de partição de DWTT de 75 % ou mais, tenacidade da zona afetada pelo calor de solda da fenda de 50 J ou mais, e razões de produção para tensão antes e após o envelhecimento do esforço de 93% ou menos.

De maneira oposta a isto, os aços 23 a 38 são exemplos comparativos excedendo o método da presente invenção. Isto é, os aços 24, 25, 27, 28, e 29 são exemplos onde alguns dos elementos dentre as composições ou elementos opcionais são adicionados durante os requerimentos da invenção. Uma vez que os elementos são excessivamente adicionados, a deteriorização da energia de Charpy, a área de partição de DWTT, tenacidade da zona afetada pelo calor de solda da fenda, e razão produção para tensão antes e após o envelhecimento do esforço ser promovido. Por outro lado, os aços 23, 30 e 31 são exemplos onde alguns dos elementos nas composições químicas básicas ou elementos opcionais não satisfazem os requerimentos da invenção. Devido aos elementos não serem adicionados, a resistência não é satisfeita. Os aços 32 a 38 são exemplos onde algumas das condições de laminação são fora dos requerimentos da invenção. A deterioração da energia de Charpy, a área de partição de DWTT, tenacidade da zona afetada pelo calor de solda da fenda, e produção para razão de tensão antes e após o envelhecimento do esforço ser promovido.

A seguir, a tenacidade do metal de solda será avaliada.

Previamente, foram preparados os Aços laminados produzidos A a V e o fio de solda e fluxo, os aços foram moldados em anéis, e as partes limítrofes foram soldadas a partir das superfícies interna e externa através da soldagem do arco submerso. As composições químicas dos metais de solda após a soldagem estão mostradas na Tabela 4. Adicionalmente, os metais de solda foram medidos para tenacidade e resistência. Os resultados

estão mostrados na Tabela 4.

Considerando a tenacidade do metal de solda, como será entendido a partir da Tabela 4, os metais de solda 1 a 14 são exemplos da presente invenção. Estes metais de solda exibem valores de alta tenacidade de energias de absorção de Charpy de -40°C de mais de 50 J para todas as entradas de calor.

De modo oposto a isto, os metais de solda 55 a 65 são exemplos comparativos fora dos métodos da presente invenção. Isto é, os aços 56 a 60, 62, 64, e 65 são exemplos onde alguns dos elementos dentre as composições básicas ou elementos ópticos são adicionados fora dos requerimentos da invenção. Devido aos elementos serem excessivamente adicionados, a deteriorização da tenacidade do metal de solda a uma entrada de calor ao meio é promovido. Por outro lado, os aços 55, 61, e 63 são exemplos onde algumas das composições químicas básicas ou elementos opcionais não satisfazem os requerimentos da invenção. Devido aos elementos não serem adicionados, a resistência do metal de solda não é satisfeita.

A Tabela 4 mostra a composição química do metal de solda.

No. Apo	C	Si	Mn	P	S	Ti	Al	Ni	Cr+Mo+V	O	Ceq	Pcm	Tratado ao metal de solda, 45-50 J	Resistência ao metal de solda, TS	Remarques
41 A	0.055	0.25	1.63	0.005	0.0005	0.020	0.010	3.00	2.40	0.0250	1.006	0.341	120	1056	
42 B	0.044	0.20	1.43	0.008	0.0006	0.018	0.008	2.90	2.56	0.0230	0.988	0.329	130	1037	
43 C	0.100	0.08	1.40	0.003	0.0008	0.025	0.005	2.50	2.24	0.0221	0.949	0.350	125	995	
44 D	0.070	0.05	1.50	0.004	0.0003	0.026	0.004	2.40	2.16	0.0195	0.912	0.321	135	959	
45 E	0.060	0.35	1.52	0.009	0.0006	0.021	0.056	3.00	2.28	0.0235	0.969	0.342	145	1018	
46 F	0.140	0.10	1.25	0.005	0.0004	0.026	0.003	2.45	2.26	0.0185	0.964	0.383	124	1012	
47 G	0.045	0.02	2.15	0.003	0.0006	0.021	0.035	2.65	2.01	0.0212	0.982	0.324	135	1031	
48 H	0.080	0.15	1.80	0.007	0.0005	0.026	0.001	1.40	2.48	0.0231	0.969	0.352	105	1019	
49 T	0.070	0.17	1.65	0.005	0.0002	0.030	0.003	3.00	2.35	0.0225	1.015	0.356	124	1066	
50 J	0.130	0.30	2.10	0.008	0.0004	0.035	0.012	3.00	1.07	0.0265	0.894	0.359	125	939	
51 K	0.040	0.22	1.40	0.002	0.0003	0.024	0.001	2.80	2.86	0.0175	1.032	0.348	150	1084	
52 L	0.050	0.25	1.56	0.004	0.0006	0.024	0.005	2.50	2.59	0.0301	0.995	0.331	110	1044	
53 M	0.060	0.31	1.43	0.006	0.0008	0.045	0.012	2.50	2.79	0.0285	1.023	0.359	151	1074	
54 N	0.060	0.20	1.56	0.006	0.0006	0.025	0.007	2.13	2.35	0.0234	0.932	0.339	115	979	
55 O	0.005	0.28	1.42	0.004	0.0004	0.026	0.013	2.56	2.14	0.0234	0.840	0.259	120	882	
56 P	0.200	0.32	1.45	0.003	0.0006	0.023	0.002	2.45	2.25	0.0245	1.035	0.455	30	1108	
57 Q	0.050	0.24	2.50	0.004	0.0006	0.020	0.006	2.56	2.13	0.0254	1.063	0.354	30	1117	
58 R	0.100	0.80	1.45	0.003	0.0005	0.035	0.024	3.00	1.97	0.0265	0.936	0.366	35	982	
59 S	0.080	0.31	1.60	0.020	0.0008	0.020	0.026	2.56	2.19	0.0221	0.955	0.355	24	1003	
60 T	0.080	0.31	1.63	0.004	0.0200	0.025	0.021	2.85	2.29	0.0215	1.000	0.358	45	1550	
61 U	0.130	0.18	2.20	0.005	0.0175	0.016	0.023	0.50	2.06	0.0216	0.942	0.389	25	890	
62 V	0.060	0.15	1.75	0.007	0.0002	0.018	0.021	4.00	1.78	0.0216	0.974	0.327	24	1023	Ala quebrado
63 A	0.040	0.12	1.65	0.005	0.0003	0.020	0.003	2.56	0.00	0.0265	0.486	0.184	42	870	
64 B	0.060	0.25	1.63	0.005	0.0006	0.036	0.033	2.85	4.16	0.0234	1.364	0.418	10	1421	
65 C	0.060	0.15	1.56	0.002	0.0006	0.100	0.032	2.85	2.10	0.0215	0.930	0.316	45	977	

Tabela 4

Aplicabilidade Industrial

A composição química e método de produção da presente invenção estão limitados, o aço é laminado e resfriado à água, a seguir o resfriamento à água é encerrado na temperatura de partida de transformação γ/α ou maior. Após isto, o aço é novamente aquecido para a temperatura de partida de transformação γ/α ou maior, mantida, a seguir resfriada. Devido a este efeito, a resistência, tenacidade à baixa temperatura, e deformação antes e após o envelhecimento do esforço podem ser melhoradas. Como um resultado, a segurança do tubo de linha é grandemente melhorada.

Lista de Citação

Literatura de não-Patente

- NPL 1: NKK Technical Review No. 138 (1992), pp. 24 -31
- NPL 2: The 7th Offshore Mechanics and Arctic Engineering (1988), Volume V, pp. 179 – 185
- NPL 3: Nippon Steel Monthly No. 380 (2004), pp. 76 –81
- NPL 4: Nippon Steel Monthly No. 380 (2004), pp. 70 -75

REIVINDICAÇÕES

1. Método para produção de chapa de aço para tubo de linha de alta resistência excelente em deformação e tenacidade à baixa temperatura, caracterizado pelo fato de que contém aquecimento de aço em % em massa,

C: 0,03 a 0,07%,

Si: 0,01 a 0,050%

Mn: 1,5 a 2,5%,

P: $\leq$ 0,01%

S: $\leq$ 0,0030%

Nb: 0,0001 a 0,2%,

Al: 0,0005 a 0,03%,

Ti: 0,003 a 0,030%, e

B: 0,0001 a 0,0050%

e possuindo um equilíbrio de ferro e impurezas não-disponíveis, laminando-o a quente, resfriando-o à água até uma temperatura de partida de transformação de γ/α ou maior, a seguir reaquecendo-o, a seguir resfriando-o.

2. Método para produção de chapa de aço para tubo de linha de alta resistência excelente em deformação e tenacidade à baixa temperatura, de acordo com a reivindicação 1, em que o dito aço inclui adicionalmente, em % em massa, um ou mais de

Cu: 0,05 a 1,5%,

Ni: 0,05 a 5,0%,

Cr: 0,02 a 1,5%,

Mo: 0,01 a 1,5%,

V: 0,01 a 0,10%,

Zr: 0,0001 a 0,050%, e

Ta: 0,0001 a 0,050%.

3. Método para produção de chapa de aço para tubo de linha de alta resistência excelente em deformação e tenacidade à baixa temperatura, de acordo com a reivindicação 1 ou 2, em que o dito aço inclui

adicionalmente, em % em massa, um ou mais de

Mg: 0,0001 a 0,010%,

Ca: 0,0001 a 0,005%,

REM: 0,0001 a 0,005%,

5 Y: 0,0001 a 0,005%,

Hf: 0,0001 a 0,005%,

Re: 0,0001 a 0,005%, e

W: 0,0001 a 0,005%.

4. Método para produção de chapa de aço para tubo de linha de
10 alta resistência excelente em deformação e tenacidade à baixa temperatura,
de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, caracterizado pelo
fato de que o dito resfriamento à água após a dita laminação à quente é
desempenhado a 1°C / s ou uma taxa de resfriamento mais rápida.

5. Método para produção de chapa de aço para tubo de linha de
15 alta resistência excelente em deformação e tenacidade à baixa temperatura,
de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 4, caracterizado pelo
fato de que o dito resfriamento após o dito reaquecimento é desempenhado
a 1°C / s ou uma taxa de resfriamento mais rápida.

6. Método para produção de chapa de aço para tubo de linha de
20 alta resistência excelente em deformação e tenacidade à baixa temperatura,
de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 5, caracterizado pelo
fato de que mantém a temperatura da chapa por 1 segundo ou mais após o
dito reaquecimento.

7. Método para produção de chapa de aço para tubo de linha de
25 alta resistência excelente em deformação e tenacidade à baixa temperatura,
de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 6, caracterizado pelo
fato de que a dita temperatura de aquecimento é 100°C ou maior e uma
razão de redução da dita laminação à quente na região de temperatura de
recristalização é 3 ou mais.

30 8. Método para produção de chapa de aço para tubo de linha de
alta resistência excelente em deformação e tenacidade à baixa temperatura,
caracterizado pelo fato de que a forma da chapa de aço produzida através

de um método para produção, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 7 em tubo, soldando suas partes limítrofes, então expandindo o tubo.

- 5 9. Método para produção de chapa de aço para tubo de linha de alta resistência excelente em deformação e tenacidade à baixa temperatura, de acordo com a reivindicação 8, caracterizado pelo fato de que um metal de solda quando soldando as ditas partes limítrofes contém, em % em massa,

C: 0,01 a 0,010%,

Si: 0,01 a 0,040%,

10 Mn: 1,0 a 2,2%,

P: $\leq$ 0,01%,

S: $\leq$ 0,010%,

Ni: 1,3 a 3,2%

Cr +Mo +V: 1,0 a 2.9%,

15 Al: 0,0005 a 0,1%,

Ti: 0,003 a 0,050%, e

O: 0,0001 a 0,050%

e possuindo um equilíbrio de ferro e impurezas não-disponíveis.

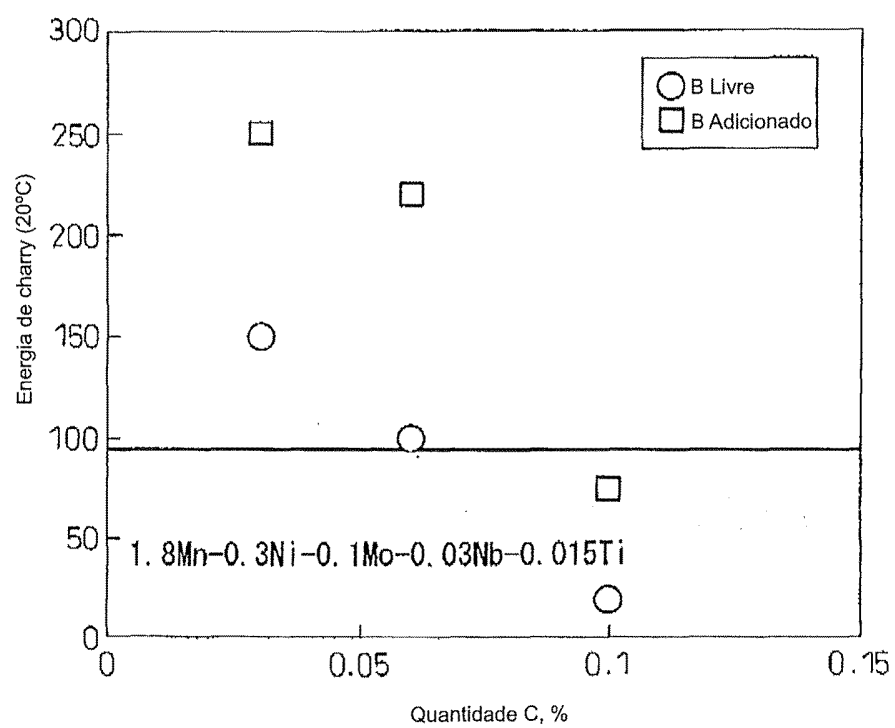
- 20 10. Método para produção de chapa de aço para tubo de linha de alta resistência excelente em deformação e tenacidade à baixa temperatura, como definido em com qualquer uma das reivindicações 8 ou 9, caracterizado pelo fato de que as partes limítrofes são soldadas através de arco submerso soldando a partir de um lado interno e um lado externo utilizando fio e aglomerado de solda ou fluxo fundido.

- 25 11. Método para produção de chapa de aço para tubo de linha de alta resistência excelente em deformação e tenacidade à baixa temperatura, como definido em qualquer uma das reivindicações 8 a 10, caracterizado pelo fato de que o tubo é soldado, as zonas soldadas da fenda são tratadas à quente, então o tubo é expandido.

- 30 12. Método para produção de chapa de aço para tubo de linha de alta resistência excelente em deformação e tenacidade à baixa temperatura, como definido na reivindicação 11, caracterizado pelo fato de

que as ditas zonas soldadas da fenda são tratadas à quente a 200°C a 500°C.

Fig.1



RESUMO

Patente de Invenção: **"MÉTODO PARA PRODUÇÃO DE CHAPA DE AÇO E TUBO DE AÇO PARA TUBO DE LINHA DE ALTA RESISTÊNCIA EXCELENTE EM DEFORMAÇÃO E TENACIDADE À BAIXA TEMPERATURA"**.

A presente invenção refere-se a um método para produção de chapa de aço para tubo de linha de alta resistência e um método para produção de tubo de aço para tubo de linha de alta resistência superior em resistência e tenacidade à baixa temperatura e a deformação do material base, possuindo soldabilidade de bom campo e possuindo uma resistência à tensão de 900 Mpa ou mais (padrão API X12 ou mais) são providos como um objetivo. Esta tarefa pode ser manuseada através de um método para produção de tubo de aço para tubo de linha de alta resistência excelente em deformação e tenacidade à baixa temperatura, etc. caracterizado pelo fato de que contém aquecimento de aço em % em massa, C: 0,03 a 0,07%, Si: 0,01 a 0,050%, Mn: 1,5 a 2,5%, P: $\leq$ 0,01%, S: $\leq$ 0,0030%, Nb: 0,0001 a 0,2%, Al: 0,0005 a 0,03%, Ti: 0,003 a 0,030%, e B: 0,0001 a 0,0050% e possuindo um equilíbrio de ferro e impurezas não-disponíveis, laminando-o a quente, resfriando-o à água até uma temperatura de partida de transformação de γ/α ou maior, reaquentando-o, a seguir resfriando-o.