



INPI
INSTITUTO NACIONAL
DA PROPRIEDADE
INDUSTRIAL
Assinado
Digitalmente

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA, COMÉRCIO EXTERIOR E SERVIÇOS
INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL

CARTA PATENTE Nº PI 0615216-3

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

(21) Número do Depósito: PI 0615216-3

(22) Data do Depósito: 22/08/2006

(43) Data da Publicação do Pedido: 01/03/2007

(51) Classificação Internacional: C22C 38/00; C21D 8/10; C21D 9/08; C22C 38/12; C22C 38/58

(30) Prioridade Unionista: JP 2005-240069 de 22/08/2005

(54) Título: TUBO DE AÇO SEM COSTURA TENDO UMA ESPESSURA DE PAREDE DE PELO MENOS 30 MM PARA TUBO DE TRANSPORTE E PROCESSO PARA SUA PRODUÇÃO

(73) Titular: NIPPON STEEL & SUMITOMO METAL CORPORATION, Sociedade Japonesa. Endereço: 6-1, Marunouchi 2-Chome, Chiyoda-Ku, Tokyo 100-8071, JP-Japão., JAPÃO(JP)

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

Prazo de Validade: 10 (dez) anos contados a partir de 03/04/2018, observadas as condições legais

Expedida em: 03/04/2018

Assinado digitalmente por:
Júlio César Castelo Branco Reis Moreira
Diretor de Patente

15 de Novembro

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL

de 1889

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "TUBO DE AÇO SEM COSTURA TENDO UMA ESPESSURA DE PAREDE DE PELO MENOS 30 MM PARA TUBO DE TRANSPORTE E PROCESSO PARA SUA PRODUÇÃO".

Campo Técnico

[001] A presente invenção refere-se a um tubo de aço sem costura para tubo de transporte tendo resistência, tenacidade, resistência à corrosão e capacidade de soldagem melhoradas e a um processo para produção do mesmo. Um tubo de aço sem costura conforme a presente invenção é um tubo de aço sem costura de alta resistência, alta tenacidade, com paredes grossas, para tubo de transporte tendo uma resistência pelo menos do grau X80 prescrito pelas normas da API (American Petroleum Institute), e especificamente uma resistência do grau X80 (um limite de elasticidade de pelo menos 551 MPa), do grau X90 (um limite de elasticidade de pelo menos 620 MPa), ou do grau X100 (um limite de elasticidade de pelo menos 689 MPa) juntamente com boas tenacidade e resistência à corrosão. Ele é particularmente adequado para uso como tubo de aço para linhas de fluxo no fundo do mar ou tubo de aço para tubos ascendentes.

Antecedentes da Técnica

[002] Em anos recentes, desde que fontes de petróleo bruto e de gás natural em campos petrolíferos localizados em terra ou nos assim chamados mares rasos tendo uma profundidade de água de cerca de 500 metros estão sendo esgotadas, o desenvolvimento de campos petrolíferos no fundo do mar nos assim chamados mares profundos a uma profundidade de 1000-3000 metros, por exemplo, abaixo da superfície do mar está sendo executado ativamente. Com campos petrolíferos de mar profundo, é necessário transferir o petróleo bruto ou o gás natural do cabeçote de poço de um poço de petróleo ou de

um poço de gás natural que esteja instalado no fundo do mar até uma plataforma na superfície da água usando-se tubos de aço referidos como linhas de fluxo e tubos ascendentes.

[003] Tubos de aço que constituem linhas de fluxo instalados profundamente no fundo do mar ou tubos ascendentes são expostos à alta pressão interna de fluido aplicada ao seu interior devido à pressão da formação nas regiões profundas abaixo da superfície e aos efeitos da pressão da água do mar profundo aplicada ao seu exterior quando a operação é interrompida. Tubos de aço constituindo tubos ascendentes são adicionalmente expostos aos efeitos de tensões repetidas aplicadas pelas ondas.

[004] As linhas de fluxo são tubos de aço para transporte que são instalados no solo ou ao longo dos contornos do fundo do mar. Tubos ascendentes são tubos de aço para transporte de petróleo ou gás que sobe da superfície do fundo do mar até uma plataforma na superfície do mar. Quando tais tubos são usados em campos de petróleo no mar profundo, é considerado necessário que a espessura das paredes sejam geralmente de pelo menos 30 mm, e, na verdade, tubos de aço com paredes grossas tendo uma espessura de parede na faixa de 40 mm a 50 mm são geralmente usados. Isto indica que eles são usados sob condições muito severas.

[005] A figura 1 é uma vista explicativa mostrando esquematicamente um exemplo de um arranjo de tubos ascendentes e linhas de fluxo no mar. Na figura, um cabeçote de poço 12 fornecido no fundo do mar 10 e uma plataforma 14 fornecida na superfície da água 13 e imediatamente acima dele são conectados por um tubo ascendente de tensão superior 16. Uma linha de fluxo 18 instalada no fundo do mar e conectada a um cabeçote de poço remoto não ilustrado se estende até a vizinhança da plataforma 14. A extremidade da linha de fluxo 18 está conectada à plataforma 14 por um tubo ascendente de aço

de forma catenária 20 que sobe da vizinhança da plataforma.

[006] O ambiente de uso dos tubos ascendentes e das linhas de fluxo é muito severo, e é dito que a temperatura máxima é de 177°C e a pressão interna máxima é de 1400 atmosferas ou mais. Portanto, os tubos de aço usados nos tubos ascendentes e nas linhas de fluxo devem ser capazes de suportar tal ambiente severo. Um tubo ascendente é também submetido ao estresse de dobramento devido às ondas, então ele deve ser capaz de suportar tais influências externas.

[007] Consequentemente, um tubo de aço que tenha uma alta resistência e alta tenacidade é desejado para uso como tubo ascendente ou linha de fluxo. Para garantir confiabilidade, tubos de aço sem costura são usados nestas aplicações ao invés de tubos de aço soldados.

[008] Para tubos de aço soldados, uma técnica para produção de um tubo de aço tendo uma resistência que exceda o grau X 80 já foi descrito. Por exemplo, o Documento de Patente 1 (JP H9-410674A) descreve um aço que excede o grau X 100 (um limite de elasticidade de pelo menos 689 MPa) apresentado na Norma API. Um tubo soldado é produzido pela produção inicial de uma chapa de aço, laminando-se a chapa de aço, e soldando-se a costura para formar um tubo de aço. Para transmitir propriedades essenciais tais como resistência e tenacidade no momento da produção da chapa de aço, foi empregado o controle da microestrutura submetendo-se a chapa de aço a tratamento termomecânico na etapa de laminação. Também no Documento de Patente 1, as propriedades desejadas de um tubo de aço após a soldagem são garantidas executando-se tratamento termomecânico durante a laminação a quente da chapa de aço de tal forma que a microestrutura seja controlada de modo a incluir a ferrita deformada. Consequentemente, a técnica descrita no Documento de

Patente 1 pode ser realizada apenas por um processo de laminação para formar uma chapa de aço na qual o tratamento termomecânico pode ser facilmente aplicado pela laminação controlada, e portanto ele pode ser aplicado a um tubo de aço soldado, mas não a um tubo de aço sem costura.

[009] No caso de tubos de aço sem costura, um tubo de aço sem costura do grau X 80 foi desenvolvido recentemente. Com tubos de aço sem costura, uma vez que a aplicação da técnica acima descrita incluindo tratamento termomecânico que foi desenvolvido para tubos de aço soldados é difícil, é basicamente necessário alcançar as propriedades desejadas por tratamento térmico após a formação do tubo. Por exemplo, uma técnica para produção de um tubo de aço sem costura do grau X 80 (limite de elasticidade de pelo menos 551 MPa) está descrito no Documento de Patente 2 (JP 2001-288532A). Entretanto, conforme descrito nos exemplos daquele documento, a técnica é meramente demonstrada para um tubo de aço de paredes finas, (com uma espessura de parede de 11,0 mm) para o qual a capacidade de endurecimento é inerentemente boa. Consequentemente, mesmo se a técnica ali descrita for empregada, quando um tubo de aço sem costura com uma espessura de parede em torno de 40-50 mm que é o realmente usado para tubos ascendentes ou linhas de fluxo, há um problema pelo fato de que uma resistência e uma tenacidade adequadas não podem ser alcançadas uma vez que a velocidade de resfriamento no momento do endurecimento é lenta, particularmente na região central de tal tubo de aço com espessura grossa.

Descrição da Invenção

[0010] A presente invenção visa resolver o problema acima descrito. Especificamente, seu objetivo é fornecer um tubo de aço sem costura para tubo de transporte tendo uma alta resistência e uma

tenacidade estável e boa resistência à corrosão, particularmente no caso de um tubo de aço sem costura de parede grossa, bem como um processo para sua produção.

[0011] Em relação a um aço convencional para tubos de transporte, é sabido que a resistência do aço pode ser prevista pela fórmula para o C equivalente mostrada abaixo pela fórmula para o CE(IIW) e a fórmula para Pcm. Com base nessas fórmulas, a resistência do aço foi ajustada e o design do material foi executado.

$$CE(IIW) = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15$$

$$Pcm = C + Si/30 + (Mn + Cu + Cr)/20 + Ni/60 + Mo/15 + V/10 + 5B$$

[0012] Embora essas fórmulas a um aço convencional para tubo de transporte, no caso de um material para tubos de aço de parede grossa tendo uma espessura de parede que exceda 30 mm pretendido para uso como tubos ascendentes ou linhas de fluxo, para os quais uma resistência ainda mais alta foi recentemente demandada, as fórmulas acima não são confiáveis, e foi descoberto que mesmo um material de aço que seja esperado ter uma alta resistência com base nas fórmulas acima podem algumas vezes possuir uma propriedade marcadamente reduzida particularmente na tenacidade. Assim, é insuficiente meramente adicionar-se os elementos de ligação apresentados nas fórmulas para o C equivalente de modo a fornecer um aço com alta resistência, e é também necessário melhorar a sua tenacidade.

[0013] Os presentes inventores analisaram os fatores que controlam a tenacidade de um tubo de aço sem costura de parede grossa. Como resultado, eles descobriram que para fornecer uma alta resistência e uma tenacidade melhorada particularmente com uma grande espessura de parede, é importante conter o teor de C a um nível baixo e adicionar Ca ou REM como elemento essencial de ligação, com o produto da quantidade adicionada de MN multiplicado

pela quantidade adicionada de Mo no percentual em massa sendo pelo menos 0,8. Além disso, se necessário, um ou mais entre Cr, Ti, Ni, Nb, V, Cu, B e Mg podem ser adicionados e, em tais casos, é também importante controlar-se seus teores dentro de faixas prescritas.

[0014] O mecanismo onde uma alta resistência e melhorias na tenacidade são realizadas na presente invenção não está claro, mas imagina-se que seja como segue, embora a presente invenção não esteja amarrada a esse mecanismo.

[0015] O Mn é eficaz em aumentar a capacidade de endurecimento do aço e serve para aumentar a resistência e a tenacidade por facilitar a formação de uma estrutura transformada fina até o centro do membro de parede grossa. Por outro lado, a adição de Mo, que é eficaz para aumentar a resistência do aço ao amolecimento do revenido, torna possível ajustar uma temperatura mais alta para o revenido para alcançar a mesma resistência objetivada, contribuindo, portanto para um maior aumento na tenacidade. O efeito do Mn ou do Mo acima descrito pode ser obtido mesmo quando qualquer um desses elementos é adicionado sozinho, mas quando esses elementos são adicionados em conjunto pelo menos a um certo nível, devido ao efeito sinérgico de um aumento da capacidade de endurecimento e da capacidade de revenido a uma temperatura mais alta, torna-se possível fornecer um tubo de aço de costura de parede grossa com alta resistência e alta tenacidade de um nível que não pode ser alcançado no passado. Quando o teor de Mn for maior que o da faixa convencional, o MnS que reduz a tenacidade e a resistência à corrosão tende a se precipitar facilmente. A esse respeito, outra melhoria na tenacidade e na resistência à corrosão pode ser alcançada adicionando-se Ca ou REM para evitar a precipitação de MnS e pela redução do teor de C de modo a diminuir a quantidade de

carbonetos precipitados.

[0016] No caso de um material de aço que tenha a composição química descrita acima, um processo de produção incluindo têmpera e revenido após a formação do tubo é adequado para se obter um tubo de aço sem costura de parede grossa tendo alta resistência e tenacidade.

[0017] Um tubo de aço sem costura para tubo de transporte conforme a presente invenção é caracterizado por ter uma composição química contendo, em % em massa, C: 0,02-0,08%, Si: no máximo 0,5%, Mn: 1,5-3,0%, Al: 0,001-0,10%, Mo: maior que 0,4%-1,2%, N: 0,002-0,015%, pelo menos um entre Ca e REM num total de 0,0002-0,007%, e um restante de Fe e impurezas, as impurezas tendo um teor de P: no máximo 0,05%, S: no máximo 0,005%, e O: no máximo 0,005%, e a composição química satisfazendo a seguinte desigualdade:

$$0,8 \leq [\text{Mn}] \times [\text{Mo}] \leq 2,6$$

onde [Mn] e [Mo] são os números equivalentes aos teores de Mn e de Mo, respectivamente, em % em massa.

[0018] A composição química pode também conter um ou mais elementos, em % em massa, selecionados entre Cr: no máximo 1,0%, Ti: no máximo 0,05%, Ni: no máximo 2,0%, Nb: no máximo 0,04%, V: no máximo 0,2%, Cu: no máximo 1,5%, B: no máximo 0,01%, e Mg: no máximo 0,007%.

[0019] A presente invenção também se refere a um processo para um tubo de aço sem costura para tubo de transporte.

[0020] Em uma modalidade, o processo conforme a presente invenção compreende a formação de um tubo de aço sem costura pelo trabalho a quente de uma barra de aço tendo a composição química descrita acima, e então resfriando-se e subsequentemente reaquecendo-se o tubo de aço, e executando-se a têmpera e o

subsequente revenido no tubo de aço.

[0021] Em outra configuração, o processo conforme a presente invenção compreende a formação de um tubo de aço sem costura pelo trabalho a quente de uma barra de aço tendo a composição química descrita acima, e executando-se imediatamente a têmpera e o subsequente revenido no tubo de aço.

[0022] De acordo com a presente invenção, pela prescrição da composição química, isto é, a composição do aço de um tubo de aço sem costura e um processo para sua produção conforme apresentado acima, particularmente no caso de um tubo de aço sem costura de parede grossa tendo uma espessura de pelo menos 30 mm, é possível produzir-se um tubo de aço sem costura para tubo de transporte que tenha uma alta resistência do grau X 80 (limite de elasticidade de pelo menos 551 MPa), do grau X 90 (limite de elasticidade de pelo menos 620 MPa) ou do grau X 100 (limite de elasticidade de pelo menos 689 MPa) e que tenha tenacidade e resistência à corrosão melhoradas apenas pelo tratamento térmico na forma de têmpera e revenido.

[0023] O termo "tubo de transporte" usado aqui refere-se a uma estrutura tubular que se pretende para uso no transporte de fluidos tais como petróleo bruto ou gás natural, não apenas em terra, mas também no mar e no fundo do mar. Um tubo de aço sem costura conforme a presente invenção é particularmente adequado para uso como tubo de transporte tal como a linha de fluxo ou tubo ascendente descritos acima que esteja localizado no mar ou no fundo do mar. Entretanto, seu uso final não está limitado a isto.

[0024] Não há limites particulares na forma ou nas dimensões de um tubo de aço sem costura conforme a presente invenção, mas há restrições no tamanho de um tubo de aço sem costura devido ao seu processo de produção. Geralmente, ele tem um diâmetro externo que tem no máximo cerca de 500 mm e no mínimo cerca de 150 mm. Os

efeitos da presente invenção são particularmente marcados quando a espessura da parede é de pelo menos 30 mm, mas a presente invenção não está limitada a essa espessura de parede.

[0025] Um tubo de aço sem costura conforme a presente invenção pode ser usado para instalação em mares profundos mais severos como linhas de fluxo no fundo do mar. Consequentemente, a presente invenção contribui grandemente para um fornecimento estável de energia. Quando ele é usado como um tubo ascendente ou uma linha de fluxo instalados em mares profundos, ele tem preferivelmente uma espessura de parede de pelo menos 30 mm. O limite superior da espessura da parede não é limitado, mas normalmente a espessura da parede será de no máximo 60 mm.

Breve Descrição dos Desenhos

[0026] A figura 1 é uma vista esquemática explicativa mostrando uma extremidade de um tubo de aço sem costura conforme a presente invenção.

[0027] A figura 2 é um gráfico mostrando a relação entre o valor de $[Mn] \times [Mo]$ e a resistência e tenacidade com base nos resultados de um exemplo.

Melhor Forma de Execução da Invenção

[0028] Serão descritas as razões porque a composição química de um tubo de aço é prescrita da forma acima na presente invenção. Conforme apresentado acima, o percentual em relação ao teor (concentração) de um elemento em uma composição química significa percentual em massa.

C: 0,02-0,08%

[0029] C é um elemento importante para se obter a resistência do aço. O teor de C é de pelo menos 0,02% para aumentar a capacidade de endurecimento e obter uma resistência suficiente de um material de parede grossa. Por outro lado, se seu teor exceder 0,08%, a

tenacidade diminui. Portanto, o teor de C está na faixa de 0,02-0,08%. Do ponto de vista de obtenção da resistência de um material de parede espessa, um limite inferior preferido do teor de C é 0,03% e um limite inferior mais preferido é de 0,04%. Um limite superior mais preferido do teor de C é de 0,06%.

Si: no máximo 0,5%

[0030] Si age como um agente desoxidante durante a produção do aço, e embora sua adição seja necessária, seu teor é preferivelmente tão pequeno quanto possível. Isto é porque ele diminui grandemente a tenacidade, particularmente nas zonas afetadas pelo calor durante a soldagem circunferencial para conectar tubos de transporte. Se o teor de Si exceder 0,5%, a tenacidade é marcadamente reduzida nas zonas afetadas pelo calor durante grandes entradas de calor da soldagem. Portanto, o teor do Si que é adicionado como agente desoxidante é limitado a no máximo 0,5%. Preferivelmente o teor de Si é de no máximo 0,3%, e mais preferivelmente no máximo 0,15%.

Mn: 1,5-3,0%

[0031] Mn deve ser adicionado em uma grande quantidade para aumentar a capacidade de endurecimento do aço de modo que mesmo um material grosso possa ser reforçado até o seu centro e ao mesmo tempo para melhorar a sua tenacidade. Esses efeitos não podem ser obtidos se o seu teor for inferior a 1,5%, enquanto se seu teor exceder 3% a resistência à HIC (fratura induzida pelo hidrogênio) diminui. Portanto, o teor de Mn está na faixa de 1,5-3,0%. O limite inferior do teor de Mn é preferivelmente 1,8%, mais preferivelmente 2,0%, e ainda mais preferivelmente 2,1%. Conforme declarado abaixo, uma vez que a adição de Mn juntamente com Mo fornece um efeito sinérgico na obtenção de alta resistência e alta tenacidade, a quantidade de Mn deve ser decidida levando em consideração a quantidade de Mo adicionado.

Al: 0,001-0,10%

[0032] Al é adicionado como agente desoxidante durante a produção do aço. Para se obter esse efeito, ele é adicionado com um teor de pelo menos 0,001%. Se o teor de Al exceder 0,10%, as inclusões no aço formam grupamentos, fazendo assim com que a tenacidade se deteriore, e um grande número de defeitos de superfície se formem no momento de chanfrar as extremidades de um tubo. Portanto, o teor de Al é 0,001-0,10%. Do ponto de vista de prevenção de defeitos de superfície, é preferível também restringir o limite superior do teor de Al. Um limite superior preferido é 0,05%, e um limite superior mais preferido é 0,03%. Para efetuar completamente a desoxidação e aumentar a tenacidade, um limite inferior preferido do teor de Al é 0,010%. O teor de Al usado aqui indica o teor de Al solúvel em ácido (o assim chamado "sol. Al").

Mo: maior que 0,4%-1,2%

[0033] Mo é um elemento importante na presente invenção pelo fato de que ele tem um efeito de aumentar a capacidade de endurecimento do aço particularmente mesmo sob condições que tenham uma velocidade lenta de resfriamento, tornando assim possível reforçar até o centro até mesmo de um material grosso, e ao mesmo tempo aumentando a resistência do aço ao amolecimento do revenido, tornando assim possível executar um revenido a uma temperatura mais alta de modo a melhorar a tenacidade. Para se obter esses efeitos, é necessário que o teor de MO seja maior que 0,4%. Um limite inferior mais preferido do teor de Mo é 0,5%, e um limite inferior ainda mais preferido é 0,6%. Entretanto, o Mo é um elemento caro, e seus efeitos saturam a cerca de 1,2%, então o limite superior é tornado 1,2%. Conforme declarado abaixo, o Mo fornece uma alta resistência e uma alta tenacidade por um efeito sinérgico quando adicionado com Mn, e a quantidade de Mo deve ser decidida levando-

se em consideração a quantidade de Mn adicionado.

N: 0,002-0,015%

[0034] O teor de N é feito pelo menos 0,002% para aumentar a capacidade de endurecimento do aço de forma que uma resistência suficiente possa ser obtida em um material grosso. Por outro lado, se o teor de N exceder 0,015%, a tenacidade diminui. Portanto, o teor de N está na faixa de 0,002-0,015%.

[0035] Pelo menos um entre Ca e REM: 0,0002-0,007% no total

[0036] Esses elementos são adicionados para melhorar a tenacidade e a resistência à corrosão do aço através do controle da forma das inclusões e para melhorar as propriedades de lingotamento pela supressão do entupimento de um bocal no momento do lingotamento. Para se obter esses efeitos, pelo menos um entre Ca e REM é adicionado em uma quantidade total de pelo menos 0,0002%. Se a quantidade total desses elementos exceder 0,007%, os efeitos acima descritos aturam, e não apenas há um outro efeito não exibido, mas torna-se fácil para as inclusões formarem grupos, fazendo assim com que a tenacidade e a resistência a HIC diminuam. Consequentemente, esses elementos são adicionados de forma que o teor total de um ou mais desses esteja na faixa de 0,0002-0,007% e preferivelmente 0,0002-0,005%. REM é um nome genérico para os 17 elementos incluindo os elementos da série lantanóide, Y e Sc. Na presente invenção, o teor dos REM se refere à quantidade total de pelo menos um desses elementos.

[0037] Um tubo de aço sem costura para tubo de transporte conforme a presente invenção contém os elementos acima descritos, e um restante de Fe e impurezas. Entre as impurezas, um limite superior é ajustado no teor de cada um entre P, S e O como segue.

P: no máximo 0,05%

[0038] P é um elemento impureza que diminui a tenacidade do

aço, então seu teor é preferivelmente tornado tão baixo quanto possível. Se seu teor exceder 0,05%, o aço tem uma tenacidade marcadamente diminuída, então o limite superior permissível de P é tornado 0,05%. Preferivelmente o teor de P é no máximo 0,02% e mais preferivelmente no máximo 0,01%.

S: no máximo 0,005%

[0039] S é também um elemento impureza que diminui a tenacidade do aço, então seu teor é preferivelmente tornado tão pequeno quanto possível. Se seu teor exceder 0,005%, o aço tem uma tenacidade marcadamente diminuída, então o limite superior permissível de S é tornado 0,005%. Preferivelmente ele é tornado no máximo 0,003%, e mais preferivelmente no máximo 0,001%.

O: no máximo 0,005%

[0040] O é também um elemento impureza que diminui a tenacidade do aço, então seu teor é preferivelmente tornado o menor possível. Se seu teor exceder 0,005%, a tenacidade diminui marcadamente, então o limite superior permissível de O é tornado 0,005%. Seu teor é preferivelmente no máximo 0,003% e mais preferivelmente no máximo 0,002%.

[0041] Em adição às limitações de cada um dos elementos acima descritos, os teores de Mn e de Mo de um tubo de aço sem costura para tubo de transporte conforme a presente invenção são ajustados de modo a satisfazer a seguinte fórmula:

$$0,8 \leq [\text{Mn}] \times [\text{Mo}] \leq 2,6$$

onde [Mn] e [Mo] são os números equivalentes aos teores de Mn e Mo expressos em percentual em massa.

[0042] Tendo-se teores de Mn e Mo que estejam dentro das respectivas faixas prescritas acima e que satisfaçam a fórmula acima, um tubo de aço sem costura tendo uma alta resistência e alta tenacidade conforme objetivada pela presente invenção pode ser

obtido. Em geral, um aço tendo um valor maior para $[Mn] \times [Mo]$ tem uma maior resistência e uma maior tenacidade. Preferivelmente o valor é pelo menos 0,9, mais preferivelmente pelo menos 1,0, e ainda mais preferivelmente pelo menos 1,1. Se o valor de $[Mn] \times [Mo]$ exceder 2,6, a tenacidade começa a diminuir, então o seu limite superior é tornado 2,6.

[0043] Um tubo de aço sem costura para tubo de transporte conforme a presente invenção pode alcançar uma resistência ainda maior, uma tenacidade maior, e/ou uma maior resistência à corrosão pela adição de um ou mais dos seguintes elementos conforme necessários à composição química prescrita na maneira acima.

Cr: no máximo 1,0%

[0044] O Cr não precisa ser adicionado, mas ele pode ser adicionado para aumentar a capacidade de endurecimento do aço, aumentando assim a resistência de um membro de aço de parede grossa. Entretanto, se seu teor se tornar excessivo, ele acaba diminuindo a tenacidade. Assim, quando o Cr é adicionado, seu teor é no máximo de 1,0%. Não há limite inferior particular de Cr, mas seus efeitos tornam-se particularmente marcados quando seu teor é de pelo menos 0,02%. Um limite inferior preferido do teor de Cr quando ele é adicionado é de 0,1% e um mais preferido é 0,2%.

Ti: no máximo 0,05%

[0045] O Ti não precisa ser adicionado para se alcançar os efeitos de evitar defeitos de superfície no momento do lingotamento contínuo e fornecer uma alta resistência com o refino dos grãos de cristal. Se o teor de Ti exceder 0,05%, a tenacidade diminui, então seu limite superior é 0,05%. Não há limite inferior particular no teor de Ti, mas para se obter seus efeitos, ele é preferivelmente pelo menos 0,003%.

Ni: no máximo 2,0%

[0046] O Ni não precisa ser adicionado, mas pode ser adicionado

de modo a aumentar a capacidade de endurecimento do aço, aumentando, portanto, a resistência de um membro de aço de paredes grossas, e também para aumentar a tenacidade do aço. Entretanto, o Ni é um elemento caro, e se for contido em grande quantidade, seu efeito satura, então quando ele é adicionado, seu limite superior é 2,0%. Não há limite inferior particular do teor de Ni, mas seus efeitos são particularmente marcados quando seu teor é de pelo menos 0,02%.

Nb: no máximo 0,04%

[0047] O Nb não precisa ser adicionado, mas pode ser adicionado para se obter o efeito de aumentar a resistência e refinar os grãos de cristal. Se o teor de Nb exceder 0,04%, a tenacidade diminui, então, quando ele é adicionado, seu limite superior é 0,04%. Não há nenhum limite inferior particular do teor de Nb, mas para se obter os efeitos acima, seu teor é preferivelmente pelo menos 0,003%.

V: no máximo 0,2%

[0048] A adição de V é determinada pelo equilíbrio entre resistência e tenacidade. Quando uma tenacidade suficiente é obtida pelos outros elementos de ligação, uma boa tenacidade é obtida não se adicionando V. Quando o V é adicionado como elemento para aumentar a resistência, seu teor é preferivelmente pelo menos 0,003%. Se o teor exceder 0,2%, a tenacidade diminui acentuadamente, então quando ele é adicionado, o limite superior do teor de V é de 0,2%.

Cu: no máximo 1,5%

[0049] O Cu não precisa ser adicionado, mas pode ser adicionado para melhorar a resistência a HIC. O teor mínimo de Cu para exibir uma melhoria na resistência a HIC é de 0,02%. Seu efeito satura quando o teor de Cu excede 1,5%, então quando ele é adicionado, o teor de Cu é preferivelmente 0,02-1,5%.

B: no máximo 0,01%

[0050] O B não precisa ser adicionado, mas ele melhora a capacidade de endurecimento do aço quando adicionado mesmo em uma quantidade mínima, então é eficaz adicionar-se B quando uma maior resistência for necessária. Para se obter esse efeito, é desejável adicionar-se pelo menos 0,0002% de B. Entretanto, uma adição excessiva de B diminui a tenacidade, então quando o B é adicionado, seu teor é no máximo 0,01%.

Mg: no máximo 0,007%

[0051] O Mg não precisa ser adicionado, mas ele aumenta a tenacidade quando adicionado mesmo em quantidades mínimas, então é eficaz adicionar-se Mg, particularmente quando se deseja obter tenacidade na zona de soldagem. Para se obter esses efeitos, é desejável que o teor de Mg seja de pelo menos 0,0002%. Entretanto, uma adição excessiva acaba diminuindo a tenacidade, então quando o Mg é adicionado, seu teor é de no máximo 0,007%.

[0052] A seguir, será explicado um processo de produção de um tubo de aço sem costura conforme a presente invenção. Nesta invenção, não há limitações particulares no processo de produção em si, e um processo usual para a produção de um tubo de aço sem costura pode ser empregado. De acordo com a presente invenção, uma alta resistência, alta tenacidade e boa resistência à corrosão são alcançadas submetendo-se um tubo de aço tendo uma espessura de parede de pelo menos 30 mm, à têmpera e então ao revenido. Abaixo, serão descritas as condições de produção preferidas para um processo de produção conforme a presente invenção.

[0053] Formação do tubo de aço sem costura

[0054] Aço fundido preparado de modo a ter uma composição química conforme descrito acima é, por exemplo, lingotado por lingotamento contínuo para formar uma massa lingotada tendo uma

seção transversal redonda, que é diretamente usado como material para laminação (barra), ou para formar uma massa lingotada tendo uma seção transversal retangular, que é então conformada por laminação em uma barra tendo uma seção transversal redonda. A barra resultante é submetida à perfuração, laminação e dimensionamento sob condições de trabalho a quente para formar um tubo de aço sem costura.

[0055] As condições de trabalho para formar o tubo podem ser as mesmas como convencionalmente empregadas na produção de um tubo de aço sem costura por trabalho a quente, e não há limitações particulares para elas na presente invenção. Entretanto, para se alcançar o controle da forma das inclusões de modo a garantir a capacidade de endurecimento do aço no momento do tratamento térmico subsequente, é preferível que o trabalho a quente para a formação do tubo seja executado com uma temperatura de aquecimento para perfuração a quente de pelo menos 1150°C e uma temperatura de laminação de acabamento de no máximo 1100°C.

[0056] Tratamento térmico após a formação do tubo:

[0057] O tubo de aço sem costura produzido pela formação de tubo é submetido à têmpera e ao revenido para tratamento térmico. A têmpera pode ser executada ou por um processo no qual uma vez o tubo de aço conformado a quente é resfriado, ele é reaquecido e então resfriado bruscamente para endurecimento, ou um processo no qual a têmpera para endurecimento é executada imediatamente após a formação do tubo, sem reaquecimento, para explorar o calor do tubo de aço conformado a quente.

[0058] Quando o tubo de aço é resfriado antes da têmpera, a temperatura de acabamento do resfriamento não é limitada. Por exemplo, o tubo pode ser deixado resfriar até a temperatura ambiente antes de ser reaquecido para a têmpera, ou ele pode ser resfriado até

cerca de 500°C, temperatura em que a transformação ocorre, antes de ser reaquecido para a têmpera, ou ele pode ser resfriado durante o transporte até o forno de reaquecimento, onde ele é imediatamente aquecido para a têmpera. A temperatura de reaquecimento é preferivelmente de 880-1000°C.

[0059] A têmpera é seguida do revenido, que é preferivelmente executado a uma temperatura de 550-700°C. Na presente invenção, o aço tem uma composição química contendo uma quantidade relativamente grande de Mo, que garante o aço com uma alta resistência ao amolecimento do revenido e torna possível executar-se o revenido a uma temperatura mais alta de modo a melhorar a tenacidade. Para se explorar esse efeito, é preferido que o revenido seja executado a uma temperatura de 600°C ou maior. A temperatura para revenido é preferivelmente de 600-650°C.

[0060] Dessa forma, de acordo com a presente invenção, um tubo de aço sem costura para tubo de transporte que tenha uma alta resistência pelo menos do grau X 80 e tenacidade e resistência à corrosão melhoradas, mesmo com uma grande espessura de parede, pode ser produzido estavelmente. O tubo de aço sem costura pode ser usado como tubo de transporte em mares profundos, especialmente como tubo ascendente ou linha de fluxo, de forma que a presente invenção tem grande significância prática.

[0061] O exemplo a seguir pretende demonstrar os efeitos da presente invenção e não pretende restringir a invenção de forma alguma.

Exemplo

[0062] Como materiais para laminação a quente, barras tendo uma seção transversal redonda e as composições de aço mostradas na Tabela 1 foram preparados por um processo convencional incluindo derretimento, fusão, e laminação bruta. Nas barras resultantes, foi

executado trabalho de conformação de tubos a quente inclusive perfuração, laminação (estampagem), e dimensionamento usando-se um equipamento de formação de tubos do tipo laminador de mandril Mannesmann para produzir tubos de aço sem costura tendo um diâmetro externo de 219,1 mm e uma espessura de parede de 40 mm. Para cada tubo, a temperatura de aquecimento para perfuração estava na faixa de 1150°C a 1270°C, e a temperatura da laminação de acabamento no dimensionamento foi conforme mostrado na Tabela 2.

[0063] Os tubos de aço resultantes foram submetidos à têmpera e ao revenido sob as condições mostradas na Tabela 2. Na Tabela 2 aqueles aços para os quais os valores da temperatura de resfriamento de acabamento (temperatura de acabamento no resfriamento) e a temperatura de reaquecimento são indicadas significa que após a laminação a quente, os tubos de aço foram resfriados e então reaquecidos para a têmpera. Por outro lado, aqueles aços para os quais os valores da temperatura de acabamento e a temperatura de reaquecimento não são indicadas significa que os tubos de aço foram resfriados imediatamente após a laminação a quente. A têmpera foi executada por resfriamento a água. O revenido foi executado colocando-se os tubos de aço em um forno de reaquecimento no qual cada tubo de aço foi tratado isotermicamente por 15 minutos na temperatura indicada.

[0064] Cada um dos tubos de aço resultantes foi testado em relação à resistência, à tenacidade, e à resistência à corrosão da forma a seguir. Os resultados dos testes estão também mostrados na Tabela 2.

[0065] A resistência foi avaliada pelo limite de elasticidade (YS) medido em um teste de tração, que foi executado de acordo com a JIS Z 2241 usando a uma peça JIS nº 12 de teste de tração tirada do tubo de aço a ser testado.

[0066] A tenacidade foi avaliada pela temperatura de transição no aparecimento de fratura (FATT) determinada em um teste de impacto Charpy. O teste foi executado usando-se um corpo de prova de impacto que media 10 mm (largura) x 10 mm (espessura) com uma fenda de 2 mm em forma de V e foi tirado do centro da espessura da parede na direção longitudinal do tubo de aço de acordo com um corpo de prova nº 4 da JIS Z 2202. Quanto menor essa temperatura de transição, melhor a tenacidade.

[0067] A resistência à corrosão foi avaliada pela resistência à fratura por estresse por sulfeto (SSC) determinada por um teste usando como solução de teste uma solução aquosa a 5% de NaCl que foi saturada com H_2S à pressão atmosférica e a qual foram adicionados 0,5% de uma solução de CH_3COOH [a assim chamada NACE (National Association of Corrosion Engineers), temperatura = 25°C, pH = 2,7-4,0]. Três corpos de prova retangulares de 4 pontos de dobramento que mediam uma espessura de 2 mm, uma largura de 10 mm, e um comprimento de 100 mm e que foram tirados, cada um, do centro da espessura da parede de cada tubo de aço na direção longitudinal foram imersos em uma solução de teste por 720 horas enquanto um estresse equivalente a 90% do limite de escoamento do tubo foram aplicados a cada corpo de prova, e a resistência SSC foi avaliada com base no fato de que foram descobertas quaisquer fraturas após a imersão.

[0068] Na Tabela 2, os resultados da avaliação estão indicados por um X quando houve fratura observada e por um círculo (O) quando não houve fratura. O caso em que os três corpos de prova estavam todos sem uma fratura foi indicado como "OOO", e o caso em que todos os três corpos de prova tiveram fraturas foi indicado por "XXX".

Tabela 1

Aço nº	composição química do aço (% em massa, saldo Fe e impurezas; entre os elementos indicados abaixo, P, S e O são impurezas)										
	C	Si	Mn	sol.Al	P	S	Mo	N	Ca	REM	O
1	0,06	0,28	2,16	0,021	0,008	0,0006	0,64	0,0031	0,0023	-	0,0023
2	0,05	0,17	1,95	0,027	0,006	0,0013	0,55	0,0045	0,0015	-	0,0021
3	0,03	0,25	2,01	0,025	0,004	0,0006	0,80	0,0034	0,0017	-	0,0017
4	0,05	0,35	2,82	0,021	0,005	0,0012	0,55	0,0032	0,0012	-	0,0017
5	0,03	0,017	2,66	0,0022	0,008	0,0012	0,46	0,039	0,0025	-	0,0028
6	0,05	0,12	2,46	0,028	0,005	0,0010	0,66	0,0041	0,0022	-	0,0027
7	0,06	0,17	1,86	0,019	0,006	0,0009	0,71	0,0059	0,0018	-	0,0011
8	0,04	0,40	2,48	0,027	0,014	0,0013	0,47	0,0057	0,0011	-	0,0018
9	0,07	0,23	2,73	0,017	0,008	0,0006	0,44	0,0034	0,0012	-	0,0024
10	0,06	0,10	2,52	0,025	0,015	0,0009	0,50	0,0057	0,0024	-	0,0027
11	0,04	0,25	2,94	0,026	0,008	0,0013	0,31	0,0059	0,0017	-	0,0025
12	0,06	0,26	2,06	0,023	0,017	0,0009	0,65	0,0043	0,0015	-	0,0019
13	0,04	0,31	1,77	0,024	0,018	0,0014	0,67	0,0040	0,0018	-	0,00147
14	0,05	0,18	2,67	0,029	0,019	0,0010	0,75	0,0057	0,0009	-	0,0011
15	0,07	0,33	2,59	0,027	0,006	0,0013	0,62	0,0050	0,0022	-	0,0028
16	0,05	0,18	2,58	0,015	0,016	0,0013	0,67	0,0038	0,0026	-	0,0023

Tabela 1 -continuação-

Aço nº	composição química do aço (% em massa, saldo Fe e impurezas; entre os elementos indicados abaixo, P, S e O são impurezas)										
	C	Si	Mn	sol.Al	P	S	Mo	N	Ca	REM	O
17	0,07	0,29	1,83	0,022	0,018	0,0016	0,64	0,0049	0,0025	-	0,0024
18	0,07	0,029	2,63	0,026	0,017	0,0008	0,57	0,0057	0,0017	-	0,0030
19	0,05	0,34	2,12	0,020	0,006	0,0013	0,61	0,0044	0,0018	-	0,0013
20	0,07	0,21	1,71	0,021	0,005	0,0007	0,64	0,0059	0,0016	-	0,0013
21	0,06	0,14	2,86	0,016	0,012	0,0008	0,74	0,0057	0,0027	-	0,0027
22	0,05	0,16	2,06	0,020	0,007	0,0013	0,70	0,0036	0,0008	-	0,0026
23	0,07	0,24	2,48	0,017	0,006	0,0005	0,50	0,033	0,0017	-	0,0021
24	0,04	0,21	2,25	0,018	0,007	0,0010	0,41	0,005	0,0027	-	0,0028
25	0,04	0,11	1,96	0,028	0,010	0,006	0,53	0,0051	0,0011	-	0,0021
26	0,06	0,37	2,21	0,018	0,018	0,0006	0,60	0,0049	0,0023	0,0007	0,0021
27	0,04	0,27	1,65	0,017	0,008	0,0008	0,54	0,0049	0,0027	-	0,0027
28	0,06	0,29	2,08	0,021	0,017	0,0011	0,57	0,0057	0,0015	-	0,0016
29	0,06	0,19	1,96	0,017	0,004	0,0010	0,53	0,0039	0,0026	-	0,0012
30	0,05	0,40	2,30	0,021	0,006	0,0013	0,44	0,0058	0,0015	-	0,0023
31	0,06	0,13	2,88	0,024	0,008	0,0016	0,48	0,0045	0,0013	-	0,0011

Tabela 1 -continuação-

Aço nº	composição química do aço (% em massa, saldo Fe e impurezas; entre os elementos indicados abaixo, P, S e O são impurezas)										
	C	Si	Mn	sol.Al	P	S	Mo	N	Ca	REM	O
32	0,04	0,29	2,66	0,020	0,010	0,0015	0,60	0,0044	0,0021	-	0,0011
33	0,04	0,12	2,98	0,015	0,013	0,0007	0,50	0,0031	0,0009	-	0,0019
34	0,06	0,11	2,83	0,026	0,017	0,0011	0,56	0,0057	0,0014	-	0,0010
35	0,06	0,27	2,17	0,027	0,010	0,0013	0,58	0,0036	0,0018	-	0,0012
36	0,07	0,12	2,10	0,021	0,013	0,0004	0,70	0,0048	0,0026	-	0,0024
37	0,06	0,15	1,67	0,024	0,015	0,0009	0,59	0,0047	0,0008	-	0,0020
38	0,07	0,24	1,91	0,020	0,011	0,0015	0,59	0,0042	0,0021	-	0,0013
39	0,07	0,18	1,66	0,026	0,013	0,0012	0,69	0,0047	0,0010	-	0,0027
40	0,04	0,15	1,83	0,021	0,013	0,0008	0,53	0,0035	0,0025	-	0,0011
41	0,06	0,31	2,95	0,019	0,009	0,0005	0,77	0,0054	0,0024	-	0,0017
42	0,05	0,24	2,39	0,020	0,016	0,0007	0,44	0,0060	0,0027	0,0018	0,0012
43	0,06	0,20	1,74	0,024	0,014	0,0005	0,72	0,0033	0,0011	-	0,0018
44	0,03	0,32	1,92	0,023	0,015	0,0007	0,43	0,0042	0,0025	-	0,0016
45	0,04	0,29	2,86	0,023	0,017	0,0010	0,60	0,0056	0,0015	0,0016	0,0016
46	0,06	0,20	1,65	0,023	0,006	0,0009	0,64	0,0054	0,008	-	0,0022

Tabela 1 -continuação-

Aço nº	composição química do aço (% em massa, saldo Fe e impurezas; entre os elementos indicados abaixo, P, S e O são impurezas)										
	C	Si	Mn	sol.Al	P	S	Mo	N	Ca	REM	O
47	0,04	0,15	2,83	0,023	0,007	0,0012	0,73	0,0046	0,0013	-	0,0017
48	0,04	0,19	2,71	0,023	0,013	0,0005	0,79	0,0037	0,0024	-	0,0021
49	0,04	0,11	3,00	0,026	0,008	0,0009	0,71	0,0057	0,0028	-	0,0029
50	0,06	0,15	2,08	0,030	0,013	0,0015	0,57	0,0037	0,0027	-	0,0010
51	0,04	0,22	1,91	0,017	0,004	0,0011	0,46	0,0058	0,0023	-	0,0021
52	0,06	0,35	1,87	0,018	0,005	0,0016	0,59	0,0050	0,0023	-	0,0020
53	0,07	0,39	1,77	0,020	0,014	0,0012	0,76	0,0037	0,0015	-	0,0013
54	0,04	0,36	2,38	0,016	0,011	0,0007	0,49	0,0047	0,0026	-	0,0017
55	0,04	0,35	1,79	0,017	0,005	0,0013	0,31	0,0046	0,0010	-	0,0012
56	0,07	0,22	2,03	0,030	0,014	0,0013	0,75	0,0054	0,0022	-	0,0026
57	0,06	0,29	2,71	0,022	0,007	0,0016	0,76	0,0052	0,0027	-	0,0021
58	0,07	0,32	1,84	0,017	0,011	0,0006	0,70	0,0058	0,0021	-	0,0029
59	0,04	0,13	2,63	0,023	0,018	0,0012	0,60	0,0038	0,0008	-	,0014
60	0,04	0,20	1,63	0,017	0,012	0,0013	0,73	0,0041	0,0015	-	0,0028
61	0,04	0,38	2,33	0,015	0,008	0,0011	0,61	0,0057	0,0015	-	0,0012

Tabela 1 -continuação-

Aço nº	composição química do aço (% em massa, saldo Fe e impurezas; entre os elementos indicados abaixo, P, S e O são impurezas)										
	C	Si	Mn	sol.Al	P	S	Mo	N	Ca	REM	O
62	0,07	0,29	2,71	0,029	0,018	0,0014	0,56	0,0040	0,0017	0,0015	0,0025
63	0,05	0,22	1,82	0,024	0,007	0,0004	0,45	0,0038	0,0013	-	0,0017
64	0,06	0,16	1,69	0,026	0,011	0,0015	0,64	0,0036	0,0027	-	0,0013
65	0,04	0,29	2,69	0,028	0,014	0,0006	0,80	0,0059	0,0017	-	0,0025
66	0,03	0,18	1,67	0,026	0,015	0,0013	0,71	0,0030	0,0013	-	0,0013
67	0,03	0,28	1,96	0,025	0,010	0,0013	0,63	0,0039	0,0012	-	0,0023
68	0,03	0,18	1,98	0,021	0,011	0,0012	0,57	0,0046	0,0027	-	0,0029
69	0,03	0,35	2,98	0,020	0,016	0,0011	0,72	0,0054	0,0017	-	0,0018
70	0,03	0,29	2,19	0,030	0,007	0,0009	0,71	0,0053	0,0016	-	0,0029
71	0,05	0,31	2,86	0,017	0,007	0,0007	0,45	0,0050	0,0027	-	0,0018
72	0,04	0,24	1,79	0,016	0,008	0,0016	0,78	0,0038	0,0015	-	0,0019
73	0,04	0,20	1,63	0,020	0,013	0,0006	0,54	0,0032	0,0012	-	0,0016
74	0,04	0,31	1,78	0,022	0,014	0,0007	0,46	0,0053	0,0023	0,0027	0,0023
75	0,04	0,33	1,65	0,023	0,018	0,0004	0,69	0,0044	0,0026	-	0,0026
76	0,06	0,33	1,71	0,019	0,012	0,0014	0,64	0,0040	0,0026	-	0,0027

Tabela 1 -continuação-

Aço nº	composição química do aço (% em massa, saldo Fe e impurezas; entre os elementos indicados abaixo, P, S e O são impurezas)										
	C	Si	Mn	sol.Al	P	S	Mo	N	Ca	REM	O
77	0,04	0,31	2,93	0,025	0,015	0,0015	0,69	0,0031	0,0024	-	0,0025
78	0,04	0,22	2,80	0,17	0,008	0,0005	0,44	0,0055	0,0022	-	0,0019
79	0,06	0,10	2,19	0,017	0,008	0,0007	0,55	0,0053	0,0012	-	0,0026
80	0,08	0,25	2,42	0,015	0,005	0,0012	0,47	0,0049	0,0022	-	0,0015
81	0,06	0,27	2,50	0,021	0,004	0,0013	0,77	0,0038	0,0018	-	0,0019
82	0,05	0,16	2,64	0,022	0,006	0,0008	0,64	0,0053	0,0021	-	0,0015
83	0,04	0,18	1,71	0,026	0,011	0,0013	0,58	0,0037	0,0023	-	0,0015
84	0,07	0,23	1,92	0,028	0,007	0,0009	0,75	0,0059	0,0012	-	0,0011
85	0,05	0,25	2,60	0,029	0,013	0,0011	0,72	0,0037	,0012	-	0,0027
86	0,04	0,20	1,93	0,023	0,006	0,0013	0,63	0,0044	0,0025	0,0022	0,0025
87	0,06	0,12	1,77	0,019	0,010	0,0012	0,58	0,0036	0,0017	-	0,0016
88	0,05	0,10	2,53	0,026	0,017	0,009	0,64	0,0052	0,0011	-	0,0019
89	0,07	0,13	2,08	0,020	0,018	0,0012	0,58	0,0059	0,0025	-	0,0020
90	0,07	0,30	2,65	0,020	0,006	0,0009	0,77	0,0036	0,0025	-	0,,0016
91	0,06	0,23	2,94	0,024	0,005	0,0014	0,79	0,0031	0,0018	-	0,0023

Tabela 1 -continuação-

Aço nº	composição química do aço (% em massa, saldo Fe e impurezas; entre os elementos indicados abaixo, P, S e O são impurezas)										
	C	Si	Mn	sol.Al	P	S	Mo	N	Ca	REM	O
92	0,05	0,28	2,02	0,022	0,009	0,0009	0,76	0,0044	0,0013	-	0,0014
93	0,03	0,35	2,93	0,029	0,0	0,012	0,0016	0,64	0,0041	0,0024	
94	0,05	0,12	2,16	0,022	0,015	0,0010	0,59	0,0051	0,0023	-	0,0012
95	0,07	0,30	2,85	0,028	0,015	0,0009	0,53	0,0048	0,0021	-	0,0020
96	0,06	0,32	2,14	0,020	0,016	0,0008	0,68	0,0057	0,0009	-	0,0026
97	0,03	0,38	1,85	0,019	0,014	0,0012	0,68	0,0056	0,0028	-	0,0015
98	0,05	0,36	2,13	0,023	0,013	0,0008	0,68	0,0045	0,0010	-	0,0022
99	0,12	0,14	2,51	0,022	0,008	0,0010	0,51	0,0040	0,0016	-	0,0023
100	0,04	0,62	2,01	0,016	0,011	0,0005	0,56	0,0047	0,0026	-	0,0015
101	0,06	0,31	1,01	0,024	0,006	0,0014	0,81	0,0056	0,0011	-	0,0013
102	0,05	0,14	2,24	0,122	0,011	0,0014	0,72	0,0050	0,0009	0,0027	0,0013
103	0,05	0,35	2,13	0,028	0,066	0,0008	0,44	0,0041	0,0016	-	0,0028
104	0,04	0,16	1,90	0,023	0,010	0,0072	0,68	0,0047	0,0026	-	0,0025
105	0,07	0,29	2,47	0,026	0,009	0,0007	0,37	0,0037	0,0021	-	0,0024

Tabela 1 -continuação-

Aço nº	composição química do aço (% em massa, saldo Fe e impurezas; entre os elementos indicados abaixo, P, S e O são impurezas)										
	C	Si	Mn	sol.Al	P	S	Mo	N	Ca	REM	O
106	0,05	0,31	1,79	0,021	0,016	0,0016	0,77	0,0258	0,0028	-	0,0019
107	0,03	0,18	2,39	0,019	0,011	0,0013	0,77	0,0035	-	-	0,0022
108	0,05	0,18	2,98	0,016	0,015	0,0012	0,68	0,0045	0,0010	-	0,0081
109	0,07	0,42	1,57	0,025	0,022	0,0014	0,42	0,0048	0,0015	-	0,0018
110	0,07	0,34	1,53	0,022	0,023	0,0014	0,42	0,0052	0,0017	-	0,0021
111	0,03	0,25	1,60	0,026	0,020	0,0015	0,41	0,0049	0,0013	-	0,0015

Tabela 1 -continuação-

Aço nº	Composição química do aço (% em massa, saldo Fe e impurezas; entre os elementos indicados abaixo, P, S e O são impurezas)								[Mn] x [Mo]	nota
	Cr	Ti	Ni	Nb	V	Cu	B	Mg		
1	0,20	0,0081	-	0,011	0,05	0,30	0,0014	0,0038	1,38	da invenção
2	0,15	-	-	-	0,12	0,30	-	-	1,07	da invenção
3	0,49	-	-	0,015	-	0,32	-	0,0027	1,61	da invenção
4	0,43	0,0060	-	-	-	0,12	-	0,0012	1,55	da invenção
5	0,22	-	-	0,018	0,11	0,25	0,0014	-	1,22	da invenção
6	0,23	0,0139	0,19	-	0,11	0,30	0,0015	0,0021	1,62	da invenção
7	0,49	0,0073	-	-	0,07	-	0,0007	0,0010	1,32	da invenção
8	0,11	0,0086	0,29	-	-	0,27	-	-	1,17	da invenção
9	-	-	-	-	-	-	-	-	1,20	da invenção
10	0,22	0,0147	-	0,013	0,07	-	0,0016	0,0031	1,26	da invenção
11	0,49	-	-	0,013	0,10	-	0,0017	0,0022	1,79	da invenção
12	0,21	-	-	0,022	0,08	-	-	0,0013	1,34	da invenção
13	0,39	-	-	0,009	0,09	-	-	-	1,19	da invenção
14	0,11	0,0125	0,30	-	0,08	0,31	-	0,0016	2,00	da invenção
15	0,18	0,0112	0,21	0,022	-	0,21	0,0009	-	1,61	da invenção

Tabela 1 -continuação-

Aço nº	Composição química do aço (% em massa, saldo Fe e impurezas; entre os elementos indicados abaixo, P, S e O são impurezas)								[Mn] x [Mo]	nota
	Cr	Ti	Ni	Nb	V	Cu	B	Mg		
16	0,43	0,0117	0,28	-	-	0,38	-	0,0015	1,73	da invenção
17	0,33	0,0089	-	0,012	-	-	-	-	1,17	da invenção
18	0,35	0,0097	0,15	-	-	-	-	-	1,50	da invenção
19	0,48	-	-	-	0,12	-	-	0,0011	1,29	da invenção
20	0,40	0,042	-	0,018	-	0,25	-	0,0019	1,09	da invenção
21	0,27	0,0091	-	-	0,10	-	-	-	2,12	da invenção
22	0,12	0,0098	-	0,009	-	-	-	0,0034	1,44	da invenção
23	0,23	0,0079	-	-	0,09	0,37	-	-	1,24	da invenção
24	0,26	0,0070	-	-	-	-	0,008	0,0038	0,92	da invenção
25	0,38	0,0093	-	-	0,07	-	-	0,0037	1,04	da invenção
26	0,31	0,0139	0,13	-	0,10	0,17	-	-	1,33	da invenção
27	0,27	0,0064	0,13	0,009	0,11	0,14	0,0015	-	0,89	da invenção
28	0,13	-	-	0,015	0,06	-	0,0012	-	1,19	da invenção
29	-	-	-	-	-	-	-	-	1,04	da invenção
30	0,38	0,0146	0,26	0,009	-	-	0,0019	0,0035	1,01	da invenção

Tabela 1 -continuação-

Aço nº	Composição química do aço (% em massa, saldo Fe e impurezas; entre os elementos indicados abaixo, P, S e O são impurezas)								[Mn] x [Mo]	nota
	Cr	Ti	Ni	Nb	V	Cu	B	Mg		
31	0,42	-	-	0,007	-	-	-	0,0035	1,38	da invenção
32	0,48	0,0073	-	0,0073	-	0,019	-	-	1,60	da invenção
33	0,12	0,0145	-	0,017	-	0,32	-	-	1,49	da invenção
34	0,66	-	-	-	0,07	-	0,0013	0,0036	1,58	da invenção
35	0,21	0,0125	-	-	0,11	0,21	0,0018	-	1,26	da invenção
36	0,48	0,0091	0,36	0,017	-	0,25	-	0,0035	1,47	da invenção
37	0,49	0,0101	0,13	-	-	-	-	0,0035	1,47	da invenção
38	0,12	-	-	-	0,08	-	0,0005	-	1,13	da invenção
39	0,41	0,0096	0,12	-	-	0,12	0,0018	-	1,15	da invenção
40	0,34	0,0113	0,19	0,025	0,05	-	0,0015	0,0035	0,97	da invenção
41	0,25	0,0087	0,26	-	0,06	-	0,0014	0,0034	2,27	da invenção
42	0,18	-	-	-	-	0,12	0,0007	0,0022	1,05	da invenção
43	0,28	-	-	-	0,08	0,30	-	0,0014	1,25	da invenção
44	0,25	-	-	0,023	-	0,30	0,0019	-	0,83	da invenção
45	0,30	0,0065	0,31	0,013	0,10	-	-	0,0011	1,72	da invenção

Tabela 1 -continuação-

Aço nº	Composição química do aço (% em massa, saldo Fe e impurezas; entre os elementos indicados abaixo, P, S e O são impurezas)								[Mn] x [Mo]	nota
	Cr	Ti	Ni	Nb	V	Cu	B	Mg		
46	0,37	0,0088	0,08	0,022	-	0,29	-	-	1,06	da invenção
47	0,21	0,0053	0,36	0,012	0,06	-	-	-	2,07	da invenção
48	0,10	0,0092	-	0,017	0,08	0,14	-	-	2,14	da invenção
49	0,33	0,0096	0,20	0,015	-	-	-	-	2,13	da invenção
50	0,37	0,0079	0,31	0,015	-	-	0,0016	-	1,19	da invenção
51	0,14	-	-	-	-	-	0,0006	-	0,88	da invenção
52	0,43	-	-	-	0,07	0,13	0,0013	-	1,10	da invenção
53	0,26	-	-	-	0,09	-	-	-	1,35	da invenção
54	0,42	0,0111	-	-	-	0,28	-	-	1,17	da invenção
55	0,30	-	-	0,008	-	-	0,0013	-	1,09	da invenção
56	0,36	0,108	0,10	0,016	0,13	0,23	-	0,0007	1,52	da invenção
57	0,44	0,0133	-	-	-	-	-	0,0013	2,06	da invenção
58	0,49	0,0110	0,09	0,020	0,09	0,11	0,0008	0,0013	1,29	da invenção
59	0,46	-	-	-	-	0,32	0,0006	-	1,58	da invenção
60	0,13	0,0129	-	0,019	0,11	-	-	-	1,19	da invenção

Tabela 1 -continuação-

Aço nº	Composição química do aço (% em massa, saldo Fe e impurezas; entre os elementos indicados abaixo, P, S e O são impurezas)										[Mn] x [Mo]	nota
									Mg			
	Cr	Ti	Ni	Nb	V	Cu	B					
61	0,35	0,0133	-	-	0,12	-	0,0008	-	-	1,42	da invenção	
62	0,13	-	-	-	-	0,29	-	-	-	1,52	da invenção	
63	0,36	-	-	0,025	-	0,12	-	-	-	0,82	da invenção	
64	0,47	0,0069	-	0,018	-	-	0,0017	0,0035	-	1,08	da invenção	
65	0,34	-	-	0,014	-	-	0,0012	0,0029	-	2,15	da invenção	
66	0,23	-	-	0,010	0,11	0,36	-	0,0021	-	1,19	da invenção	
67	0,32	-	-	-	-	-	-	-	-	1,23	da invenção	
68	0,50	0,0086	-	-	-	-	-	-	-	1,13	da invenção	
69	0,37	-	-	-	0,11	0,22	0,0019	0,0007	-	2,15	da invenção	
70	0,15	-	-	0,024	0,12	0,19	-	-	-	1,55	da invenção	
71	0,26	0,0124	0,23	0,022	0,07	0,39	-	-	-	1,29	da invenção	
72	0,39	0,0134	-	-	-	0,11	0,0006	0,0020	-	1,40	da invenção	
73	0,49	0,0066	0,11	-	0,07	-	-	0,0012	-	0,88	da invenção	
74	0,10	0,0131	0,21	0,024	0,10	-	0,0013	-	-	0,82	da invenção	
75	0,26	0,0084	0,27	-	0,13	0,24	0,0006	-	-	1,14	da invenção	

Tabela 1 -continuação-

Aço nº	Composição química do aço (% em massa, saldo Fe e impurezas; entre os elementos indicados abaixo, P, S e O são impurezas)								[Mn] x [Mo]	nota
	Cr	Ti	Ni	Nb	V	Cu	B	Mg		
76	0,16	-	-	-	-	-	-	0,0018	1,09	da invenção
77	0,23	0,0076	-	-	0,12	0,22	0,0015	0,0008	2,02	da invenção
78	0,10	0,0098	-	0,026	0,12	0,24	0,0014	-	1,23	da invenção
79	0,40	0,0072	-	-	-	0,36	0,0006	-	1,20	da invenção
80	0,43	0,0101	0,26	-	-	-	0,0014	-	1,14	da invenção
81	0,32	-	-	0,008	0,12	0,13	0,0011	0,0014	1,93	da invenção
82	0,16	0,0082	-	-	0,06	0,12	-	0,0037	1,69	da invenção
83	0,41	0,0084	-	0,008	-	0,37	0,008	0,0036	0,99	da invenção
84	0,16	0,0101	-	-	-	-	0,0018	-	1,44	da invenção
85	0,38	0,0143	-	0,023	0,12	-	0,0019	-	1,87	da invenção
86	0,16	0,0071	0,17	0,026	-	-	-	0,0035	1,22	da invenção
87	0,15	0,0128	0,33	-	0,12	-	0,0012	-	1,03	da invenção
88	0,37	0,0075	-	0,015	0,06	0,39	-	0,0029	1,62	da invenção
89	0,48	-	-	0,010	-	-	-	-	1,21	da invenção
90	0,41	-	-	0,017	-	0,24	0,0015	0,0015	2,04	da invenção

Tabela 1 -continuação-

Aço nº	Composição química do aço (% em massa, saldo Fe e impurezas; entre os elementos indicados abaixo, P, S e O são impurezas)								[Mn] x [Mo]	nota
	Cr	Ti	Ni	Nb	V	Cu	B	Mg		
91	0,44	0,0067	0,15	-	-	-	0,0014	0,0023	2,32	da invenção
92	0,28	0,0144	0,35	-	0,08	-	-	-	1,54	da invenção
93	0,0019	0,32	-	-	-	-	0,0008	0,0039	1,88	da invenção
94	0,30	0,0075	-	0,013	-	0,38	0,0012	-	1,27	da invenção
95	0,15	-	-	-	-	0,28	-	0,0016	1,51	da invenção
96	0,36	0,0095	-	0,013	0,07	-	-	0,0031	1,46	da invenção
97	0,20	0,0080	0,14	-	-	0,12	0,0010	0,0006	1,26	da invenção
98	0,43	0,0094	0,07	0,024	-	0,31	0,0006	0,0033	1,45	da invenção
99	0,33	0,0080	0,28	-	-	-	-	-	1,28	comparativo
100	0,21	0,0089	-	-	-	-	-	-	1,13	comparativo
101	0,26	0,0081	-	-	-	-	-	-	0,82	comparativo
102	0,49	0,0088	-	-	-	-	-	-	1,61	comparativo
103	0,38	0,0091	-	-	-	-	-	-	0,94	comparativo

Tabela 1 -continuação-

Aço nº	Composição química do aço (% em massa, saldo Fe e impurezas; entre os elementos indicados abaixo, P, S e O são impurezas)								[Mn] x [Mo]	nota
	Cr	Ti	Ni	Nb	V	Cu	B	Mg		
104	0,32	0,0075	0,09	-	-	-	-	-	1,29	comparativo
105	0,15	0,0076	0,19	-	-	-	-	-	0,91	comparativo
106	0,25	0,0085	-	-	-	-	-	-	1,38	comparativo
107	0,34	0,0083	-	-	-	-	-	-	1,84	comparativo
108	0,49	0,0084	-	-	-	-	-	-	2,03	comparativo
109	0,53	0,0072	0,75	-	-	0,64	-	-	0,66	comparativo
110	0,39	0,0083	0,48	-	-	0,32	-	-	0,64	comparativo
111	0,30	0,0087	0,24	-	-	-	-	-	0,66	comparativo

Tabela 2

Aço nº	Temperatura da laminação de acabamento (°C)	Temperatura final de resfriamento (°C)	Temperatura de reaquecimento (°C)	Temperatura de revenido (°C)	Limite de elasticidade (mpa)	Fatt de charpy* (°C)	Resistência à ssc	Notas
1	1050	900	920	630	642	-65	OOO	da invenção
2	950	900	920	630	615	-62	OOO	da invenção
3	950	---	---	630	686	-76	OOO	da invenção
4	1050	900	920	610	732	-66	OOO	da invenção
5	1000	950	980	630	662	-56	OOO	da invenção
6	1050	900	920	630	694	-61	OOO	da invenção
7	950	900	920	630	633	-64	OOO	da invenção
8	1050	R.T.	920	630	615	-76	OOO	da invenção
9	1000	950	980	630	676	-60	OOO	da invenção
10	1050	900	920	630	694	-62	OOO	da invenção
11	1050	---	---	610	752	-65	OOO	da invenção
12	1000	---	---	630	616	-73	OOO	da invenção
13	950	900	920	630	644	-67	OOO	da invenção
14	1050	900	920	630	736	-67	OOO	da invenção
15	950	900	920	630	691	-70	OOO	da invenção
16	1000	R.T.	920	610	730	-67	OOO	da invenção
17	950	900	920	630	611	-63	OOO	da invenção
18	950	900	920	630	691	-63	OOO	da invenção
19	1000	950	980	630	682	-64	OOO	da invenção
20	1000	---	---	630	610	-73	OOO	da invenção
21	1050	900	920	630	764	-74	OOO	da invenção
22	1050	900	920	630	600	-70	OOO	da invenção
23	950	900	920	630	700	-64	OOO	da invenção
24	950	R.T.	920	630	610	-64	OOO	da invenção
25	1000	950	980	630	631	-61	OOO	da invenção
26	1050	---	---	630	685	-69	OOO	da invenção
27	1050	900	920	640	584	-64	OOO	da invenção
28	950	900	920	640	596	-75	OOO	da invenção
29	1050	900	920	640	565	-75	OOO	da invenção

Tabela 2 -continuação-

Aço nº	Temperatura da laminação de acabamento (°C)	Temperatura final de resfriamento (°C)	Temperatura de reaquecimento (°C)	Temperatura de revenido (°C)	Limite de elasticidade (mpa)	Fatt de charpy* (°C)	Resistência à ssc	Notas
30	1050	900	920	630	628	-61	OOO	da invenção
31	1000	950	980	610	710	-54	OOO	da invenção
32	1000	R.T.	920	610	713	-65	OOO	da invenção
33	1050	900	920	610	715	-65	OOO	da invenção
34	1050	900	920	630	756	-57	OOO	da invenção
35	950	---	---	630	666	-52	OOO	da invenção
36	100	---	---	630	719	-63	OOO	da invenção
37	950	900	920	630	615	-65	OOO	da invenção
38	1000	950	980	630	609	-67	OOO	da invenção
39	1050	R.T.	920	630	628	-66	OOO	da invenção
40	950	900	920	630	608	-58	OOO	da invenção
41	950	900	920	630	761	-78	OOO	da invenção
42	950	900	920	630	637	-54	OOO	da invenção
43	1050	---	---	630	612	-78	OOO	da invenção
44	1000	950	980	630	600	-61	OOO	da invenção
45	1050	900	9+20	610	762	-58	OOO	da invenção
46	1000	R.T.	920	630	638	-65	OOO	da invenção
47	950	R.T.	920	600	749	-67	OOO	da invenção
48	1000	950	980	630	719	-69	OOO	da invenção
49	950	900	920	630	757	-69	OOO	da invenção
50	1050	900	920	630	630	-64	OOO	da invenção
51	1050	900	920	640	558	-69	OOO	da invenção
52	1050	900	920	630	647	-54	OOO	da invenção
53	1000	---	---	630	610	-69	OOO	da invenção
54	1050	---	---	630	678	-53	OOO	da invenção
55	1050	---	---	630	565	-78	OOO	da invenção
56	950	900	920	630	721	-54	OOO	da invenção
57	1000	950	980	630	736	-77	OOO	da invenção
58	950	900	920	630	673	-66	OOO	da invenção

Tabela 2 -continuação-

Aço nº	Temperatura da laminação de acabamento (°C)	Temperatura final de resfriamento (°C)	Temperatura de reaquecimento (°C)	Temperatura de revenido (°C)	Limite de elasticidade (mpa)	Fatt de charpy* (°C)	Resistência à ssc	Notas
59	1050	900	920	630	717	-57	OOO	da invenção
60	1050	900	920	630	596	-65	OOO	da invenção
61	950	900	920	630	659	-61	OOO	da invenção
62	950	900	920	630	712	-68	OOO	da invenção
63	1050	---	---	630	587	-68	OOO	da invenção
64	950	900	920	630	611	-75	OOO	da invenção
65	1000	R.T.	920	620	721	-75	OOO	da invenção
66	1000	950	980	630	607	-77	OOO	da invenção
67	950	900	920	630	607	-67	OOO	da invenção
68	1050	---	---	630	620	-62	OOO	da invenção
69	1050	900	920	610	788	-69	OOO	da invenção
70	1000	950	980	630	640	-74	OOO	da invenção
71	950	900	920	630	748	-51	OOO	da invenção
72	1000	950	980	630	627	-70	OOO	da invenção
73	950	900	920	630	617	-52	OOO	da invenção
74	100	R.T.	920	640	561	-76	OOO	da invenção
75	950	900	920	630	637	-64	OOO	da invenção
76	950	900	920	630	591	-66	OOO	da invenção
77	1050	900	920	610	741	-66	OOO	da invenção
78	1050	900	920	630	684	-49	OOO	da invenção
79	1000	950	980	630	672	-59	OOO	da invenção
80	950	---	---	630	712	-55	OOO	da invenção
81	950	900	920	630	700	-66	OOO	da invenção
82	950	900	920	630	708	-67	OOO	da invenção
83	1050	900	920	630	623	-65	OOO	da invenção
84	1050	900	920	630	608	-76	OOO	da invenção
85	1000	950	980	600	744	-72	OOO	da invenção
86	950	900	920	630	611	-78	OOO	da invenção
87	950	R.T.	920	630	624	-67	OOO	da invenção

Tabela 2 -continuação-

Aço nº	Temperatura da laminação de acabamento (°C)	Temperatura final de resfriamento (°C)	Temperatura de reaquecimento (°C)	Temperatura de revenido (°C)	Limite de elasticidade (mpa)	Fatt de charpy* (°C)	Resistência à ssc	Notas
88	1000	---	---	630	723	-59	OOO	da invenção
89	1000	950	980	630	636	-62	OOO	da invenção
90	1050	900	920	600	758	-66	OOO	da invenção
91	1000	950	980	600	769	-69	OOO	da invenção
92	1000	950	980	630	669	-77	OOO	da invenção
93	950	900	920	630	697	-69	OOO	da invenção
94	1050	---	---	630	636	-70	OOO	da invenção
95	950	900	920	630	695	-54	OOO	da invenção
96	1050	R.T.	920	630	693	-58	OOO	da invenção
97	1000	950	980	640	579	-76	OOO	da invenção
98	1050	900	920	630	673	-68	OOO	da invenção
99	1000	950	980	630	707	12	OOO	Comparativo
100	1000	950	980	630	588	-30	OOO	Comparativo
101	1050	900	920	630	495	-45	OOO	Comparativo
102	950	900	920	630	671	-21	OOO	Comparativo
103	1050	900	920	630	612	-18	X X X	Comparativo
104	1050	900	920	630	639	-4	X X X	Comparativo
105	950	900	920	590	626	-21	OO x	Comparativo
106	1050	900	920	630	599	-36	OOO	Comparativo
107	1050	900	920	630	678	5	X X X	Comparativo
108	1050	900	920	630	741	21	OOO	Comparativo
109	1050	900	920	630	669	-12	OOO	Comparativo
110	1050	900	920	630	617	-33	OOO	Comparativo
111	1050	900	920	600	557	-46	OOO	Comparativo

* FATT = Temperatura de transição no aparecimento da fratura

[0069] Como pode ser visto dos resultados dos aços n^{os} 1 a 98 na Tabela 2, os tubos de aço sem costura conforme a presente invenção tem uma alta resistência correspondendo ao grau X 80 (limite de elasticidade de pelo menos 551 MPa) a X 100 (limite de elasticidade de pelo menos 689 MPa) da norma API bem como tenacidade melhorada (temperatura de transição no aparecimento da fratura de -50°C ou menor) e uma resistência à corrosão melhora da (resistência a SSC indicada por "OOO" em todos os aços).

[0070] Em contraste, os aços n^{os} 99-108, que são exemplos comparativos nos quais a composição química estava fora da faixa definida pela presente invenção tiveram propriedades inferiores em relação a pelo menos um entre resistência, tenacidade, e resistência à corrosão.

[0071] Os aços n^{os} 109-111 são exemplos comparativos nos quais os teores dos elementos individuais de ligação estavam dentro da faixa definida pela presente invenção, mas o valor de $[Mn] \times [Mo]$ foi menor que o limite inferior de 0,8, definido pela presente invenção. A Figura 2 é um gráfico obtido plotando-se os resultados de resistência e tenacidade desses aços juntamente com aqueles de alguns aços da invenção conforme a presente invenção. Deve ser notado que na ordenada desta figura, que é a temperatura de transição no aparecimento da fratura indicativa da tenacidade, quanto maior na ordenada (quanto maior a temperatura), menor a tenacidade.

[0072] Em geral, a relação entre resistência e temperatura de transição no aparecimento da fratura é uma relação linear que se inclina para cima para a direita, indicando que a tenacidade diminui à medida que a resistência aumenta. Entretanto, à medida que o valor de $[Mn] \times [Mo]$ aumenta, as plotagens mudam para a direita nessa figura, indicando que a resistência aumenta sem uma diminuição na tenacidade ou que a resistência pode ser aumentada mantendo-se um

equilíbrio com a tenacidade. Assim, pode ser visto desta figura que o equilíbrio entre resistência e tenacidade é controlado por $[Mn] \times [Mo]$. Para os aços n^{os} 109 a 111 nos quais o valor de $[Mn] \times [Mo]$ foi menor que 0,8, sua tenacidade é significativamente inferior àquela dos aços da invenção que tenham a mesma resistência, indicando que o equilíbrio entre resistência e tenacidade não foi bom.

REIVINDICAÇÕES

1. Tubo de aço sem costura tendo uma espessura de parede de pelo menos 30 mm, para tubo de transporte, caracterizado pelo fato de que tem uma composição química consistindo, em % em massa, de C: 0,02-0,08%, Si: no máximo 0,5%, Mn: 1,5-3,0%, Al: 0,001-0,10%, Mo: maior que 0,6%-1,2%, N: 0,002-0,015%, pelo menos um entre Ca e REM em uma quantidade total de 0,0002-0,007%, Cr: 0-1,0%, Ti: 0-0,05%, Ni: 0-2,0%, Nb: 0-0,04%, V: 0-0,2%, Cu: 0-1,5%, B: 0-0,01%, Mg: 0-0,007%, e um restante de Fe e impurezas, com as impurezas tendo o teor de P: no máximo 0,05%, S: no máximo 0,005%, e O: no máximo 0,005%, e a composição química satisfazendo a seguinte desigualdade:

$$1,1 \leq [\text{Mn}] \times [\text{Mo}] \leq 2,6$$

em que [Mn] e [Mo] são os números equivalentes aos teores de Mn e de Mo, respectivamente, em % em massa.

2. Tubo de aço sem costura para tubo de transporte, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a composição química contém um ou mais elementos, em % em massa, selecionados de Cr: 0,02-1,0%, Ti: 0,003-0,05%, Ni: 0,02-2,0%, Nb: 0,003-0,04%, V: 0,003-0,2%, Cu: 0,02-1,5%, B: 0,0002-0,01%, e Mg: 0,0002-0,007%.

3. Processo para a produção de um tubo de aço sem costura para tubo de transporte, tendo uma composição química como definida na reivindicação 1 ou 2, formando um tubo de aço sem costura sob condições de trabalho a quente, a partir de uma barra de aço, sendo a temperatura de aquecimento para perfuração a quente na faixa de 1150°C a 1270°C e uma temperatura de laminação de acabamento na faixa de 950°C a 1100°C, caracterizado pelo fato de que o tubo é submetido a uma das seguintes etapas (a) e (b):

(a) resfriamento, após a laminação de acabamento, a uma

faixa de temperatura abaixo da temperatura de laminação de acabamento, reaquecimento a uma temperatura na faixa de 880°C a 1000°C, antes de ser submetido a têmpera, têmpera por resfriamento com água, e revenido do tubo de aço resultante da têmpera, o revenido sendo executado a uma temperatura na faixa de 550-700°C;

(b) têmpera do tubo imediatamente após a laminação de acabamento por resfriamento com água, e revenido do tubo de aço resultante da têmpera, o revenido sendo executado a uma temperatura na faixa de 550-700°C.

35
✓

Fig.1

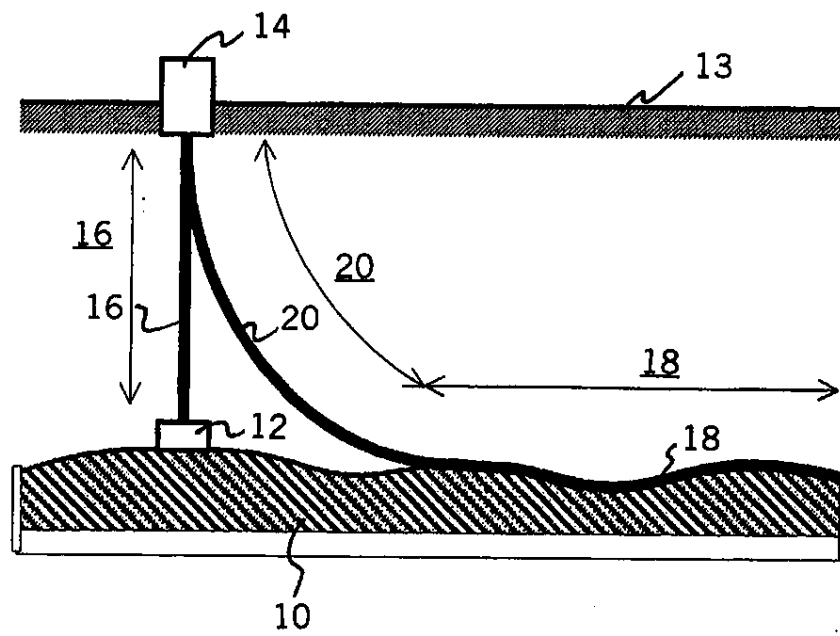
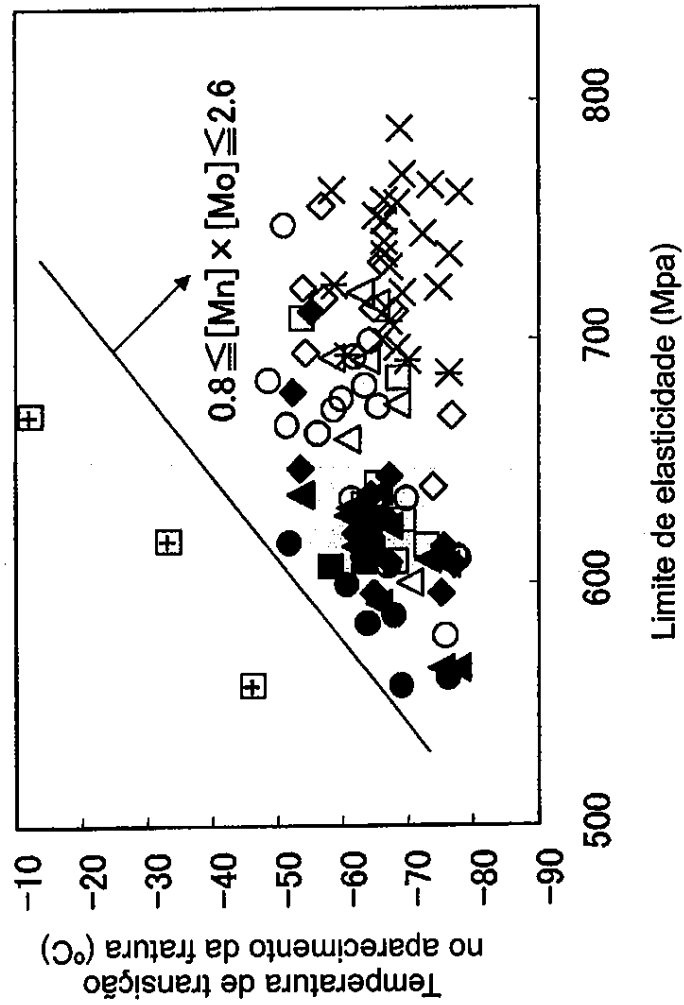


Fig.2



⊕	$[\text{Mn}] \times [\text{Mo}] < 0.8$
●	$0.8 \leq [\text{Mn}] \times [\text{Mo}] < 0.9$
■	$0.9 \leq [\text{Mn}] \times [\text{Mo}] < 1.0$
▲	$1.0 \leq [\text{Mn}] \times [\text{Mo}] < 1.1$
◆	$1.1 \leq [\text{Mn}] \times [\text{Mo}] < 1.2$
○	$1.2 \leq [\text{Mn}] \times [\text{Mo}] < 1.3$
□	$1.3 \leq [\text{Mn}] \times [\text{Mo}] < 1.4$
△	$1.4 \leq [\text{Mn}] \times [\text{Mo}] < 1.5$
◇	$1.5 \leq [\text{Mn}] \times [\text{Mo}] < 1.6$
×	$1.6 \leq [\text{Mn}] \times [\text{Mo}] < 1.7$
×	$1.7 \leq [\text{Mn}] \times [\text{Mo}] \leq 2.6$