



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

(11) PI 0903892-2 B1

(22) Data do Depósito: 24/03/2009

(45) Data de Concessão: 19/12/2017



(54) Título: AÇOS RESISTENTES AO FOGO APRESENTANDO RESISTÊNCIA À FRAGILIZAÇÃO DE REAQUECIMENTO DA JUNTA DA SOLDA E TENACIDADE E MÉTODOS DE PRODUÇÃO DOS MESMOS

(51) Int.Cl.: C22C 38/00; B21B 3/02; C21D 8/02; C22C 38/58

(30) Prioridade Unionista: 04/02/2009 JP 2009-023777, 31/03/2008 JP 2008-090571

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

(72) Inventor(es): YASUSHI HASEGAWA; MASAKI MIZOGUCHI; YOSHIYUKI WATANABE; SUGURU YOSHIDA; TADAYOSHI OKADA

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "AÇOS RESISTENTES AO FOGO APRESENTANDO RESISTÊNCIA À FRAGILIZAÇÃO DE REAQUECIMENTO DA JUNTA DA SOLDA E TENACIDADE E MÉTODOS DE PRODUÇÃO DOS MESMOS".

Campo Técnico

[001] A presente invenção refere-se a um aço resistente ao fogo usado para a conformação de uma estrutura de aço, em particular uma estrutura para um edifício, por soldagem, em particular se refere a um aço resistente ao fogo que tenha um alto limite de escoamento a 600°C e simultaneamente superior em SR (alívio de tensão residual), resistência à fratura (resistência à fragilização no reaquecimento) e tenacidade da junta soldada e a um método de produção do mesmo.

Antecedentes da Técnica

[002] Em uma estrutura soldada que forma uma estrutura de edifício, subentende-se que as características da junta da solda têm que ser superiores. Nos últimos anos, a posse de uma resistência superior à tração a uma alta temperatura, a característica chamada de "aço resistente ao fogo" (desempenho resistente ao fogo), tem sido buscada. Esta é uma característica decidida pelo Japanese Ministry of Land, Infrastructure, Transportation, and Tourism com base na "New Fire-Resistant Design Law" que permite o uso de materiais de aço sem cobertura de resistência ao fogo considerando assuntos ambientais e é baseado no desempenho com base na MLIT Notification nº 333 (2004).

[003] Aqui, "desempenho resistente ao fogo" é o desempenho necessário para permitir que o material de aço continue a apresentar a resistência necessária por um certo tempo quando um material de aço é exposto ao fogo em um estado descoberto e facilitar o escape da residência ao evitar que a estrutura do edifício desmorone durante esse tempo.

[004] Quando um material de aço não é fornecido com uma cobertura resistente ao fogo, vários tamanhos de fogo e temperaturas ambientes no momento do incêndio podem ser previstos, de forma que a resistência à alta temperatura necessária para um material de aço suportar a resistência de uma estrutura precisa ser tão alta quanto possível.

[005] Materiais de aço fornecidos com tal desempenho de resistência ao fogo têm sido de há muito o objetivo de R&D em todos os diferentes campos.

[006] Por exemplo, descrições de invenções relativas a materiais de aço contendo Mo e com alta resistência à alta temperatura podem ser descobertas em (a) Japanese Patent Publication (A) nº 2001-294984, (b) Japanese Patent Publication (A) nº 10-096024, e (c) Japanese Patent Publication (A) nº 2002-115022.

[007] As técnicas descritas nessas PLT's a a c se referem todas a materiais criados em resistência à alta temperatura pelo reforço pela precipitação de carbonetos de Mo ou reforço pela precipitação por outros carbonetos mais o reforço da textura de modo a aumentar a resistência à alta temperatura.

[008] Por outro lado, devido à emergência no fornecimento e demanda de vários tipos de elementos de ligas, industrialmente falando a adição de Mo acaba aumentando os custos dos materiais de aço. Devido a essa razão, descobertas de técnicas empregando outros projetos de liga foram vistas.

[009] Em particular, o exemplo da invenção descrito na (d) Japanese Patent Publication (A) nº 07-286233 adicionado B para melhorar a temperabilidade rápido de modo a garantir a resistência à alta temperatura visando uma temperatura de 600°C ou similar, o exemplo da invenção descrito na (e) Japanese Patent nº 3635208 adicionando fase γ que estabiliza elementos de Cu, Mn, etc, etc podem ser mencio-

nados.

[010] Entretanto, quando involuntariamente se adicionam elementos estabilizadores da fase γ tais como no PLT e ou se adiciona B com o propósito de suprimir a formação e o crescimento de núcleos nas bordas dos grãos para formar uma estrutura transformada a baixa temperatura tal como no PLT d, há o problema de que ocorre uma fragilização notável quando as bordas dos grãos do material de aço são expostas a uma alta temperatura (o fenômeno de ductilidade sendo prejudicado no momento de deformação à alta temperatura, chamado "fragilização de reaquecimento").

[011] De acordo com a pesquisa dos inventores, em tal material de aço, não importando quão alta seja a resistência à alta temperatura, não há quase capacidade de deformação à alta temperatura, então se tornou claro que quando se projeta deformação da estrutura de modo a ser gerada concentradamente nas juntas de soldagem ou quando ocorrem as fraturas, principalmente a HAZ (zona afetada pelo calor) e as bordas dos grãos no lado da HAZ próximo da fronteira com o metal da solda não podem continuar com deformação no momento da alta temperatura de um incêndio e ocorre fratura nas bordas dos grãos em alguns casos.

[012] O fenômeno de fragilização (fenômeno de fragilização de reaquecimento) acima mencionado inclui principalmente casos de fragilização devido à precipitação nas bordas dos grãos e casos de segregação que fazem com que apenas as bordas dos grãos caiam no pinto de transformação, a resistência das partes das bordas dos grãos caindo notavelmente e ocorrendo deformação local, e como resultado ocorrem fraturas tais como descascamento das bordas dos grãos. Ele muda de várias maneiras dependendo dos ingredientes químicos dos materiais de aço. Isto foi esclarecido pelas pesquisas dos inventores.

[013] Da forma acima, quando um material de aço é exposto a

uma alta temperatura e é mantido a uma temperatura próxima de 600°C no momento de um incêndio, a fragilização das bordas dos grãos que ocorrem próximo ao metal da solda de uma HAZ (queda na ductilidade no momento da deformação à alta temperatura) algumas vezes pode levar a uma deformação maior difícil de se prever que ocorre juntamente com modos de fraturas instáveis na junta da solda mesmo quando o material base parte de uma estrutura de aço com resistência à alta temperatura aumentada está sem defeito.

[014] Por esta razão, o projeto da estrutura se torna difícil. Como resultado, mesmo se um material de aço tiver uma resistência à alta temperatura suficiente, a estrutura resistente ao fogo claramente se tornará uma estrutura inadequada.

[015] Nenhum dos aços convencionais resistentes ao fogo descritos nos PLTs a a c acima foram projetados em ligas considerando-se a fragilização das bordas dos grãos no momento do reaquecimento da HAZ (isto é, no momento do incêndio). Eles apenas dão constatações em relação ao projeto da liga quando se focaliza apenas na resistência à alta temperatura, em particular resistência à tração à alta temperatura.

[016] Tais aços convencionais resistentes ao fogo têm Mo ou B adicionado com o propósito de melhorar a resistência à alta temperatura. Nesse ponto, eles são baseados em elementos com altas capacidades para formar carbonetos de Mo ou nitretos de B que se precipitam nas bordas dos grãos à temperatura de 600°C.

[017] Por outro lado, o fenômeno de fragilização por reaquecimento mencionado acima não é manifestado simplesmente por apenas uma fragilização por precipitação. Esse fenômeno foi inicialmente esclarecido como resultado da pesquisa dos inventores e é um novo problema a ser resolvido.

[018] No passado, no campo de aço resistente ao calor, foi sabi-

do que a fragilização por reaquecimento era aliviado pela adição de Cr até 2% ou mais e, além disso, que com uma quantidade de adição de 0,5% ou menos, a fragilização por reaquecimento não ocorreu facilmente.

[019] Se adicionar gradativamente CR ao material de aço que não contém Cr e a quantidade de adição exceder 0,5%, a estrutura facilmente se transforma em bainita e a resistência do material é melhorada. Este é um resultado da melhoria da temperabilidade. Ao mesmo tempo, entretanto, uma estrutura bainita tem velhas bordas γ que permanecem claramente nela, de modo que nas velhas bordas γ , a fragilização é facilmente manifestada e a fragilização por reaquecimento torna-se mais fácil.

[020] Por outro lado, ao adicionar 2% ou mais de Cr, carbonetos comuns, por exemplo, cementita, se tornam instáveis, são formados carbonetos Cr_{23}C_6 , e outros carbonetos, por exemplo, Mo_2C , são similarmente privados de carbono pelo Cr, e o embrutecimento se torna mais difícil nas bordas dos grãos. Devido a isso, foi pensado que a fragilização das bordas dos grãos poderia ser evitada, mas por outro lado os carbonetos Cr_{23}C_6 também se precipitaram facilmente nas bordas dos grãos.

[021] Dessa forma, embora muitas hipóteses como a acima tenham sido propostas, nenhuma interpretação final em relação à relação entre a quantidade de adição de Cr e a fragilização por tenha sido ainda estabelecida.

[022] Sob tais circunstâncias atuais, os inventores etc. se engajaram em uma pesquisa intensiva. Como resultado, eles descobriram que o fenômeno de fragilização por reaquecimento está relacionada com o ponto de transformação do material de aço.

[023] Isto é, a adição de Cr tem o efeito de aumentar o ponto de transformação do material de aço e simultaneamente consumir a solu-

ção sólida C para aumentar o ponto de transformação. Por outro lado, a adição de quantidades maiores de Ni e Mn conhecidos como elementos estabilizadores γ diminui o ponto de transformação. Por essa razão, foi descoberto que quando carbono, etc. se concentra nas bordas dos grãos, na região de alta temperatura coberta pela presente invenção, isto é, a uma temperatura de 600°C, o ponto de transformação e a temperatura de avaliação do limite de escoamento à alta temperatura se aproximam um do outro, parte das bordas dos grãos sofrem transformação $\alpha \rightarrow \gamma$ para já ser mudada de fase, numerosas deslocções são perdidas na estrutura no momento da mudança do arranjo dos átomos, e a resistência cai notavelmente, enquanto a fratura ocorre a partir das bordas dos grãos.

[024] Como resultado, o aumento do ponto de transformação do material de aço é essencial. Simultaneamente, a adição de uma grande quantidade de elementos de alta afinidade com o carbono e que se precipitam facilmente nas bordas dos grãos é eficaz no ponto de aumentar a resistência à alta temperatura, mas simultaneamente a sensibilidade da HAZ à fragilização por reaquecimento acaba sendo aumentada e o projeto da estrutura é tornado mais difícil. Isto se torna claro como um novo problema.

[025] Ainda também, em anos recentes, edifícios maiores em tamanho e maiores em número de andares têm sido construídos com o propósito da utilização eficiente do terreno, mas esse tamanho maior das estruturas solicita um aumento no tamanho dos materiais de construção, isto é, chapas de aço, perfilados de aço ou tubos de aço. Para melhorar a eficiência da produção desses produtos de aço ou melhorar a eficiência do conjunto, a entrada de calor no momento da soldagem tende a ser tornada maior. Por essa razão, para se obter uma resistência suficiente a terremotos mesmo quando a entrada de calor na solda é alta, foi necessário obter uma tenacidade de zona de solda-

gem suficientemente alta.

Descrição da Invenção

[026] A presente invenção foi feita em consideração dos problemas de tal aço convencional resistente ao fogo. Ela tem como seu objetivo fornecer um aço resistente ao calor superior em resistência à fragilização por reaquecimento da junta de soldagem e tenacidade obtendo resistência à alta temperatura e simultaneamente estabelecendo uma resistência à fragilização por reaquecimento da junta de soldagem, um problema que o aço convencional acima mencionado teve dificuldade em resolver, e um método de produção do mesmo.

[027] Os inventores se engajaram em pesquisas intensivas para resolver os problemas acima e identificaram como os assuntos mais importantes na presente invenção a otimização dos ingredientes químicos do material de aço de modo a satisfazer pelo menos 1/2 da resistência prescrita à temperatura ambiente à temperatura de incêndio presumida de 600°C e simultaneamente a realização de um aço resistente ao fogo tendo uma tenacidade suficiente à temperatura de 0°C na ligação da junta de soldagem (parte da borda da HAZ e do metal da solda, a parte também chamada de "linha de fusão") e fornecida com resistência à fragilização por reaquecimento no momento do reaquecimento no momento de um incêndio. Como já explicado, para se obter resistência à alta temperatura, primeiramente é necessário introduzir deslocamentos que administram a resistência do material. Por essa razão, os inventores adicionaram o Mn e o Cr nas quantidades necessárias, adicionaram Mn em excesso, e limitaram a adição de outros elementos estabilizadores γ de Ni e Cu e adicionalmente basicamente não adicionaram B para evitar a formação de BN susceptível de fragilização nas bordas dos grãos. Além disso, eles suprimiram a quantidade de adição de Mo para 0,1% ou menos para suprimir a precipitação bruta nas bordas dos grãos de carbonetos de Mo e assim obtiveram

resistência à fragilização por reaquecimento. Por essa razão, como indicador específico, eles introduziram o valor SRS definido pela fórmula a seguir

$$[\text{SRS}] = 4\text{Cr}[\%] - 5\text{Mo}[\%] - 10\text{Ni}[\%] - 2\text{Cu}[\%] - \text{Mn}[\%]$$

[028] E usaram o valor numérico para limitar quantitativamente os indicadores de projeto de liga.

[029] Além disso, em uma zona de soldagem de grande entrada de calor onde uma entrada de calor de 5 kJ/mm ou mais é adicionada à HAZ, para se obter confiavelmente uma tenacidade suficiente da parte de fronteira da HAZ e do metal da solda, isto é, uma tenacidade suficiente da ligação, os inventores limitaram a quantidade de C para menos de 0,05% para controlá-la em menos que os materiais de aço comuns e também controlaram-na para adicionar 0,01% como limite mínimo da quantidade de adição de C. Ao mesmo tempo, eles concluíram que selecionando-se adequadamente as quantidades de adição de elementos de ligação nas faixas prescritas pela presente invenção, é possível otimizar a composição dos ingredientes químicos para se alcançar tanto resistência à alta temperatura quanto a tenacidade na HAZ com grande entrada de calor. Note que uma resistência à alta temperatura superior não pode ser obtida pelo método de laminação usual e resfriamento passivo dos materiais de aço da presente invenção. Isto é porque as quantidades de elementos de ligação são limitadas para se obter a tenacidade de ligação acima mencionada, de modo que a temperabilidade não é suficiente.

[030] O fato de que o resfriamento controlado pode ser usado para complementar a resistência para lidar com esse problema tornou-se claro pela pesquisa dos inventores. Isto é, os inventores descobriram que usando-se o método tal como os itens 1) ou 2) a seguir, é possível realizar uma expressão de resistência a uma alta temperatura juntamente com o fortalecimento a uma alta temperatura.

[031] O método de laminação a quente durante o qual se ajusta uma razão de redução de laminação suficiente, tornando homogênea a estrutura lingotada, terminando a laminação a uma alta temperatura de 800°C ou mais, e então resfriando partes diferentes da chapa de aço a uma velocidade de resfriamento de 2°C/s ou mais por resfriamento controlado, continuando esse resfriamento até uma temperatura de 100°C ou menos de modo a obter uma estrutura bainita e então resfriando-se para melhorar a resistência à temperatura ambiente e simultaneamente manter o limite de escoamento à temperatura ambiente baixo ou o método de revenimento a seguir para otimizar a resistência e a tenacidade em uma combinação de resfriamento controlado e revenimento.

[032] O método de similarmente terminar a laminação a uma temperatura de 800°C ou mais, então similarmente resfriar as partes diferentes da chapa de aço a uma velocidade de resfriamento de 2°C/s ou mais, parando o resfriamento controlado em uma faixa de temperaturas de 400 a 750°C, e então resfriando-se passivamente a chapa para assim se obter o mesmo efeito do revenimento no meio do resfriamento até a temperatura ambiente para resfriamento controlado de um tipo de parada intermediária ou o método também após esse revenimento por tratamento térmico para melhorar confiavelmente a resistência do material de aço e a densidade de precipitação de carbonetos ou nitretos e assim obter uma chapa de aço compreendida substancialmente de 20% ou mais de uma estrutura bainita ou bainita revenida.

[033] Aqui, a resistência necessária à alta temperatura explicada na presente invenção (limite de escoamento à alta temperatura) em princípio significa 1/2 do limite de escoamento prescrito à temperatura ambiente. Por exemplo, quando há uma faixa no limite de escoamento do material de aço prescrita pela norma JIS etc., 1/2 do limite inferior é feito o limite de escoamento requerido. Portanto, o limite de esco-

amento à alta temperatura muda de acordo com a resistência à temperatura ambiente. Com um aço da classe de resistência à tração de 400N/mm^2 , ele se torna $1/2$ do valor do limite inferior do limite de escoamento à temperatura ambiente de 235N/mm^2 , isto é, 117N/mm^2 (arredondado para baixo), enquanto com um aço da classe de resistência à tração de 500N/mm^2 , ele se torna $1/2$ do limite de escoamento à temperatura ambiente de 325N/mm^2 , isto é, 162N/mm^2 .

[034] Essas prescrições da presente invenção não são necessariamente estipuladas nos padrões industriais atuais e são valores estimados dos projetos de cálculos. Eles são diretrizes incluindo margens de segurança. Limites inferiores são ajustados para cada um, mas não há valores de limite superior.

[035] A essência da presente invenção feita com base nos resultados dos estudos acima é como segue:

[1] Um aço resistente ao fogo superior em resistência à fragilização por reaquecimento das juntas de soldagem e tenacidade compreendendo um aço resistente ao fogo de uma resistência à temperatura ambiente da classe de 400 a 600N/mm^2 tendo ingredientes do aço contendo, em % em massa, C: 0,010% a menos de 0,05%, Si: 0,01 a 0,50%, Mn: 0,80 a 2,00%, Cr: 0,50% a menos de 2,00%, V: 0,03 a 0,30%, Nb: 0,01 a 0,10%, N: 0,001 a 0,010%, e Al: 0,005 a 0,10%, limitando-se os teores de Ni, Cu, Mo, e B para Ni: menos de 0,10%, Cu: menos de 0,10%, Mo: 0,10% ou menos, e B: menos de 0,0003%, também limitando teores dos ingredientes de impurezas de P, S, e O para P: menos de 0,020%, S: menos de 0,0050%, e O: menos de 0,010%, tendo um saldo de ferro e as inevitáveis impurezas, onde entre os elementos que formam os ingredientes do aço, os elementos de Cr, Mo, Ni, Cu, e Mn satisfazem a relação expressa pela fórmula (1) a seguir:

$$4\text{Cr}[\%]-5\text{Mo}[\%]-10\text{Ni}[\%]-2\text{Cu}[\%]-\text{Mn}[\%]>0 \quad (1)$$

[036] (onde, na fórmula (1), as unidades das concentrações dos elementos são feitas em % em massa).

[2] Um aço resistente ao fogo superior em resistência à fragilização por reaquecimento das juntas de soldagem e tenacidade conforme apresentado no item [1] acima, também contendo, em % em massa, um ou ambos entre Ti: acima de 0,005% a menos de 0,050% e Zr: 0,002 a 0,010%.

[3] Um aço resistente ao fogo superior em resistência à fragilização por reaquecimento das juntas de soldagem e tenacidade conforme apresentado nos itens [1] ou [2] acima, também contendo, em % em massa, um ou mais entre Mg: 0,0005 a 0,005%, Ca: 0,0005 a 0,005%, Y: 0,001 a 0,050%, La: 0,001 a 0,050%, e Ce: 0,001 a 0,050%.

[4] Um aço resistente ao fogo superior em resistência à fragilização por reaquecimento das juntas de soldagem e tenacidade conforme apresentado em qualquer um dos itens [1] a [3] acima, onde, também, a densidade de deslocamento em uma fase ferrita d material de aço é de $10^{10}/\text{m}^2$ ou mais more.

[5] UM aço resistente ao fogo superior em resistência à fragilização por reaquecimento das juntas de soldagem e tenacidade conforme apresentado em qualquer um dos itens [1] a [4] acima, onde à estrutura do material de aço é dada uma ocupação de bainita ou martensita em uma estrutura vista sob um microscópio ótico de 20% ou mais e é compreendido de uma estrutura resfriada.

[6] Um aço resistente ao fogo superior em resistência à fragilização por reaquecimento das juntas de soldagem e tenacidade conforme apresentado em qualquer um dos itens [1] a [5] acima, onde, no material de aço, carbonetos ou nitretos compreendidos de um ou mais elementos entre Nb, V, Cr, Ti, e Zr são precipitados a uma densidade de $2/\mu\text{m}^2$ ou maior.

[7] Um método de produção de um aço resistente ao fogo superior em resistência à fragilização por reaquecimento e tenacidade compreendendo o aquecimento de uma placa de aço tendo ingredientes de aço conforme indicado em qualquer um dos itens [1] a [3] acima até uma temperatura de 1.150 a 1.300°C, e então trabalhando ou laminando o mesmo a quente a uma temperatura de 800°C ou maior, após isto resfriando-se aceleradamente até uma temperatura de 500°C de forma que a velocidade de resfriamento das diferentes partes do material de aço se torne 2°C/s ou mais, interrompendo o resfriamento acelerado na região de temperatura onde a temperatura da superfície do material de aço se torna 350 a 600°C e, após isto, resfriar passivamente o material.

[8] Um método de produção de aço resistente ao fogo superior em resistência à fragilização por reaquecimento e tenacidade compreendendo o aquecimento de uma placa de aço tendo ingredientes de aço conforme apresentado em qualquer um dos itens [1] a [3] acima até uma temperatura de 1150 a 1300°C, então trabalhando ou laminando a placa a quente, terminando o trabalho ou a laminação a quente a uma temperatura de 800°C ou maior, após isto, resfriando-se aceleradamente até uma temperatura de 500°C de modo que a velocidade de resfriamento das diferentes partes do material de aço se torne 2°C/s ou mais, interrompendo-se o resfriamento acelerado na região de temperaturas onde a temperatura da superfície do material de aço se torna 100°C até a temperatura ambiente e, após isto, resfriando-se passivamente o material para se obter uma estrutura resfriada onde, na estrutura do material de aço, uma ocupação de bainita ou martensita na estrutura vista sob um microscópio ótico se torna 20% ou mais.

[9] Um método de produção de aço resistente ao fogo superior em resistência à fragilização por reaquecimento e tenacidade compreendendo a aplicação do método de produção conforme apre-

sentado no item [7] ou [8] acima, e então revenindo-se o material de aço em uma faixa de temperaturas de 400°C a 750°C por um tempo de 5 minutos a 360 minutos de modo a produzir carbonetos ou nitretos compreendidos de um ou mais elementos entre Nb, V, Cr, Ti, e Zr precipitados no material de aço a uma densidade de $2/\mu\text{m}^2$ ou maior.

[037] De acordo com o aço resistente ao fogo da presente invenção, a resistência a uma temperatura de 600°C, em particular o limite de resistência à tração e elasticidade, é pelo menos 1/2 do tempo da temperatura ambiente, a ligação na HAZ não sofrerá fragilização por reaquecimento mesmo à temperatura presumida de incêndio, e uma tenacidade de ligação da zona de soldagem com grande entrada de calor de 5 kJ/mm ou mais podem ser obtidas simultaneamente.

[038] Além disso, de acordo com o método de produção do aço resistente ao fogo da presente invenção, é possível produzir um aço resistente ao fogo onde a resistência à temperatura de 600°C, em particular o limite de resistência à tração e elasticidade, é de pelo menos 1/2 do tempo da temperatura ambiente, a ligação HAZ não sofrerá fragilização por reaquecimento mesmo à temperatura presumida de incêndio, e uma tenacidade de ligação da zona de soldagem de grande entrada de calor de 5 kJ/mm ou mais podem ser simultaneamente obtidas.

[039] Portanto, de acordo com a presente invenção, o fornecimento de um aço resistente ao fogo para uso em edifícios superior em resistência à alta temperatura e superior em resistência à fragilização por reaquecimento e tenacidade da junta de soldagem se torna possível.

[040] Note que, o limite de elasticidade à alta temperatura muda para cada temperatura devido à composição do material de aço. A uma temperatura de 700°C ou maior, um material de aço superior em limite de elasticidade à alta temperatura não pode necessariamente

apresentar o limite de elasticidade à alta temperatura a menos de 700°C de temperatura. Isto é porque, quando um material é exposto ao um ambiente de fogo, a qual região de temperaturas a precipitação de carbonetos etc. contidos previamente como ingredientes de ligas (chamado "endurecimento secundário") ocorre e afeta grandemente a o limite de elasticidade à alta temperatura. A presente invenção propõe recentemente um material de aço para se obter um limite de elasticidade à alta temperatura superior a 600°C e é baseada numa idéia de projeto diferente dos materiais de aço superiores em limite de elasticidade à alta temperatura em outras regiões de temperatura.

Breve Descrição dos Desenhos

[041] A figura 1 é uma vista explicando esquematicamente um exemplo de aço resistente a o fogo conforme a presente invenção e é um gráfico mostrando a relação entre o teor de MO e a redução de área (redução de área SR) de uma junta soldada no momento do teste de tração da HAZ reproduzida a 600°C.

[042] A figura 2 é uma vista explicando esquematicamente um exemplo de aço resistente ao fogo de acordo com a presente invenção e é um gráfico mostrando a relação entre o teor de B e a redução de área (redução de área SR) de uma junta de soldagem no momento do teste de tração da HAZ reproduzida a 600°C.

[043] A figura 3 é uma vista explicando esquematicamente um exemplo de um método de produção de aço resistente ao fogo conforme a presente invenção e é um gráfico mostrando a relação entre a temperatura de revenimento e o limite de escoamento e tração à alta temperatura a 600°C quando do revenimento dos aços da invenção (interrompendo o resfriamento a água a meio caminho).

[044] A figura 4 é uma vista explicando esquematicamente um exemplo de aço resistente ao fogo conforme a presente invenção e é um gráfico mostrando a relação entre o valor indicador de resistência à

fragilização por reaquecimento SRS e a redução de área no momento de um teste para avaliação da resistência à fragilização por reaquecimento de uma HAZ reproduzida.

Melhor Forma de Execução da Invenção

[045] Abaixo, uma configuração do aço resistente ao fogo da presente invenção superior em resistência à fragilização por reaquecimento da junta de soldagem e tenacidade e um método de produção do mesmo serão explicados. Note que essa configuração é explicada em detalhes para permitir que a essência da invenção seja melhor entendida, então, a menos que particularmente especificado, não limita a presente invenção.

[046] O aço resistente ao fogo superior em resistência à fragilização por reaquecimento das juntas de soldagem e tenacidade conforme a presente invenção compreende um aço resistente ao fogo de uma resistência à temperatura ambiente da classe de 400 a 600N/mm² tendo ingredientes do aço contendo, em % em massa, C: 0,010% a menos de 0,05%, Si: 0,01 a 0,50%, Mn: 0,80 a 2,00%, Cr: 0,50% a menos de 2,00%, V: 0,03 a 0,30%, Nb: 0,01 a 0,10%, N: 0,001 a 0,010%, e Al: 0,005 a 0,10%, limitando-se os teores de Ni, Cu, Mo, e B a Ni: menos de 0,10%, Cu: menos de 0,10%, Mo: 0,10% ou menos, e B: menos de 0,0003%, também limitando teores de ingredientes de impureza de P, S, e O a P: menos de 0,020%, S: menos de 0,0050%, e O: menos de 0,010%, e tendo um saldo de ferro e as inevitáveis impurezas, onde entre os elementos que formam os ingredientes de aço, os elementos Cr, Mo, Ni, Cu e Mn satisfazem a relação expressa pela fórmula (1) a seguir:

$$4\text{Cr}[\%]-5\text{Mo}[\%]-10\text{Ni}[\%]-2\text{Cu}[\%]-\text{Mn}[\%]>0 \quad (1)$$

{onde, na fórmula (1), as unidades das concentrações dos elementos são em % em massa}

[047] Ingredientes de aço do aço resistente ao fogo (Composição

dos Ingredientes Químicos)

[048] Inicialmente serão explicadas as razões para a limitação das faixas dos ingredientes químicos básicos da presente invenção. Note que, na explicação a seguir, as quantidades de adição dos diferentes elementos são todas expressas em % em massa.

C: 0,010% a menos de 0,05%

[049] C é um elemento eficaz para a melhoria da temperabilidade rápido de um material de aço e é um elemento essencial para simultaneamente formar carbonetos. Em um material de aço, no mínimo, para provocar a precipitação de carbonetos estáveis a uma temperatura de 600°C, C tem que ser adicionado a 0,010% ou mais. Além disso, se se adicionar C a 0,05% ou mais, a uma grande entrada de calor na HAZ, uma grande quantidade de austenita residual ou carbonetos precipitados é formada e a tenacidade da ligação é feita para deteriorar notavelmente na HAZ. Portanto, a faixa de adição foi definida como 0,010% a menos de 0,05%. Considerando-se o caso em que a entrada de calor na solda torna-se ainda maior, quanto menor o teor de C, melhor. O teor de C pode ser limitado a 0,015% ou mais ou 0,020% ou mais. Além disso, para melhorar a tenacidade da ligação, o teor de C pode ser limitado a 0,040% ou menos.

Si: 0,01 a 0,50%

[050] Si é um elemento desoxidante e é um elemento que contribui também para a melhoria da temperabilidade, mas a menos que pelo menos 0,01% ou mais sejam adicionados, o efeito não será expresso. Por outro lado, se adicionar-se Si até acima de 0,50%, uma vez que o Si é um elemento que aumenta a estabilidade da austenita residual, em particular que diminui a tenacidade da HAZ, a faixa de adição foi definida como 0,01 a 0,50%. Para executar a desoxidação mais confiavelmente, o Si pode também ser limitado a 0,05% ou mais, 0,10% ou mais, ou 0,15% ou mais. Também, para melhorar a tenaci-

dade da HAZ, o teor de Si pode ser limitado a 0,45% ou menos ou 0,40% ou menos.

Mn: 0,80% ou mais até 2,00%

[051] Mn é um elemento estabilizador da fase γ . Ele contribui para a melhoria da temperabilidade brusco, mas em um material de aço contendo Cr como na presente invenção, se não se adicionar Mn a 0,80% ou mais, o efeito está sujeito a não ser expresso. Também se adicionar-se mais de 2,0% de Mn, o ponto de transformação Ac1 cai notavelmente. No momento do reaquecimento até 600°C, na segregação as bordas dos grãos que acompanham a HAZ, ao mesmo tempo do reaquecimento, a transformação local $\alpha \rightarrow \gamma$ ocorre e uma queda notável na resistência nas bordas dos grãos é provocada. Além disso, a precipitação de carbonetos nas bordas dos grãos é promovida enquanto ocorre a fragilização por precipitação. Também a resistência à fragilização por reaquecimento, julgada pela redução de área no momento de um teste de tração a alta temperatura de uma estrutura correspondente ao ciclo de calor reproduzido da HAZ, acaba se tornando 15% ou menos. Portanto, a faixa de adição foi limitada a 0,80 a 2,0%. Para utilizar mais ativamente o efeito da temperabilidade brusco do Mn, o teor de Mn pode ser limitado a 0,90% ou mais, 1,05% ou mais, ou 1,20% ou mais. Além disso, para evitar uma queda no ponto de transformação Ac1 etc., ele pode ser limitado a 1,80% ou menos ou 1,60% ou menos.

Cr: 0,50% a menos de 2,00%

[052] Cr, quando adicionado até 0,50% ou mais, tem o efeito de aumentar a temperabilidade brusco do material de aço. Além disso, ele também tem afinidade com o carbono e tem o efeito de suprimir o embutecimento de elementos com afinidade extremamente alta com o C tais como Nb, V, ou Ti. Em adição, ele apresenta o efeito notável de mudar a fase do próprio diagrama de fase de um tipo eutético à base

de ferro-carbono para o tipo γ -loop e aumentar o ponto de transformação em particular nas bordas dos grãos. Entretanto, se acima de 2,00% de Cr forem adicionados, não há nenhum problema particular nas características do material de aço, mas há problemas na fabricação do aço, isto é, devido ao prolongamento do tempo de remoção das impurezas, a temperatura do aço fundido acaba caindo durante o refino, a capacidade de lingotamento é degradada, e por sua vez um aumento do custo no momento da produção é provocado, então o limite superior de adição foi limitado em 2,00%. Note que, na presente invenção, quando se adiciona uma grande quantidade de V ou Si, a quantidade de adição de Cr mais preferivelmente tem que ser controlada para 0,50 a 1,50%. Entretanto, a adição de Cr algumas vezes diminui a temperatura do aço fundido no momento da produção do aço e refino, então para reduzir o aumento dos custos, o Cr pode ser limitado a 1,80% ou menos, 1,50% ou menos, ou 1,40% ou menos. Além disso, para aumentar a temperabilidade brusco, o Cr pode ser limitado a 0,75% ou mais ou 1,00% ou mais.

V: 0,03 a 0,30%

[053] V forma carbonetos que se dispersam facilmente e finalmente nos grãos e são extremamente eficazes para melhorar o limite de elasticidade à alta temperatura. O efeito aparece com a adição de 0,03% ou mais. Além disso, se adicionarmos acima de 0,30%, a precipitação e o embrutecimento nas bordas dos grãos se tornam notáveis e a resistência à fragilização por reaquecimento é tornada pior, então a faixa de adição foi limitada a 0,03 a 0,30%. Entretanto, no processo de revenimento, carbonetos de V tendem a se precipitar nas bordas dos grãos, então o teor de V deve ser limitado 0,25% ou menos ou 0,20% ou menos. Além disso, para melhorar o limite de elasticidade à alta temperatura, o teor de V deve ser limitado a 0,05% ou mais ou 0,08% ou mais.

Nb: 0,01 a 0,10%

[054] Nb se liga com o carbono em um tempo curto para precipitar como NbC e contribui para a melhoria da resistência à temperatura ambiente e para a resistência à alta temperatura. Simultaneamente, ele aumenta notavelmente a temperabilidade brusco do material de aço, contribui para a melhoria da densidade de deslocamento, e melhora o efeito de melhoria da resistência dos materiais de aço devido ao resfriamento controlado. Entretanto, se a quantidade de adição de Nb for menor que 0,01%, o efeito não é visto. Também, se adicionado acima de 0,10%, ocorre a precipitação de NbC bruto nas bordas dos grãos, é provocada a fragilização por reaquecimento, e uma fratura instável da junta de soldagem a uma alta temperatura é propensa de ser agravada, então a faixa de adição foi limitada a 0,01 a 0,10%. Para utilizar melhor o efeito de melhoria da resistência pelo Nb, o teor de Nb pode ser limitado a 0,02% ou mais, 0,03% ou mais, ou 0,04% ou mais. Também, para evitar a fragilização por reaquecimento, o teor de Nb pode ser limitado a 0,08% ou menos ou 0,06% ou menos.

N: 0,001 a 0,010%

[055] N não é adicionado deliberadamente na presente invenção e é um elemento que deve ser controlado de forma que nitretos brutos não sejam formados. Entretanto, se o N for adicionado em uma quantidade excelente, uma vez que ele é quimicamente mais estável que os carbonetos, ele se precipita como nitretos e contribui para a melhoria do limite de elasticidade à temperatura em alguns casos. Por esta razão, a quantidade de adição de N é prescrita como 0,001% como um limite industrial. Além disso, como limite superior da quantidade de adição, 0,010% é prescrito para suprimir a formação de nitretos brutos. Para melhorar o limite de elasticidade à alta temperatura, N pode ser limitado a 0,080% ou menos ou 0,060% ou menos.

Al: 0,005 a 0,10%

[056] Al é um elemento necessário para a desoxidação do material de aço e para fazer o tamanho de grão menor pela formação de AlN. Em particular, em um material de aço contendo Cr, ele é adicionado como principal elemento de desoxidação de modo a evitar que o Cr se oxide durante o refino e se torne mais duro para adicionar ao material de aço. Esse efeito de permitir o controle da concentração de oxigênio no aço fundido pelo Al sozinho é obtido pela adição de 0,005% ou mais, de modo que o valor do limite inferior de Al foi feito 0,005%. Por outro lado, se o teor de Al exceder 0,10%, grupos de óxidos brutos são formados e a tenacidade do material de aço é algumas vezes prejudicada, então o valor do limite superior foi definido como 0,10%. Para uma desoxidação e refino de grão mais confiáveis pela formação de AlN, o teor de Al deve ser limitado a 0,010% ou mais, 0,015% ou mais, ou 0,020% ou mais. Além disso, para evitar uma queda na tenacidade do material de aço devido à formação de grupos de óxidos brutos, o Al deve ser limitado a 0,08% ou menos ou 0,06% ou menos.

Ni: menos de 0,10%

Cu: menos de 0,10%

Mo: 0,10% ou menos

B: menos de 0,003%

[057] Ni, Cu, Mo, e B são todos eficazes para melhorar a temperabilidade brusco, mas são limitados em teor conforme explicado abaixo.

[058] Ni e Cu, como já explicado, são elementos que fazem o ponto de transformação Ac1 cair notavelmente e dão a possibilidade de promover a fragilização por reaquecimento pela transformação local nas bordas dos grãos. Por essa razão, esses elementos, mesmo se incluídos nas impurezas, têm que ser removidos ou a etapa de refino tem que ser planejada para evitar sua entrada. O limite superior per-

missível é, em cada caso, 0,10%, então o limite do teor foi definido como menos de 0,10% considerando uma margem de segurança na produção industrial.

[059] Da mesma forma, do ponto de vista de evitar a fragilização por reaquecimento da zona de soldagem após um incêndio, a inclusão de Mo e B não é preferível. Mesmo sua entrada como impurezas tem que ser evitada, então os inventores esclareceram os limites estritos dos teores através de experiências.

[060] A figura 1 é um gráfico que mostra a redução de área no momento de um teste de tração à alta temperatura de 600°C da estrutura correspondente ao ciclo de calor da HAZ para avaliação da adição de Mo ao material de aço da invenção e como seu teor afeta a resistência à fragilização por reaquecimento no momento do suposto reaquecimento com fogo. Aqui, quando a redução de área é de 15% ou menos, uma clara ruptura nas bordas dos grãos pode ser observada em metade ou mais da face da fratura. Pode ser considerado que a resistência à fragilização por reaquecimento é degradada.

[061] Especificamente, a HAZ reproduzida preparada dando-se um ciclo de aquecimento da HAZ reproduzida supondo-se uma entrada de calor de soldagem de 2 kJ/mm (aquecimento até uma temperatura de 1400°C a 150°C/s, mantendo por 2 segundos, e então passando de uma faixa de temperatura de 800°C a 500°C em cerca de 16 segundos) foi aumentada da temperatura ambiente até a temperatura suposta de incêndio de 600°C por 1 hora e mantida durante 30 minutos, e então foi aplicada tensão ao corpo de prova por pressão hidráulica e a tensão aumentada até o corpo de prova se romper como teste (abaixo, chamado de "teste de redução de área SR"). Como resultado do teste, a face da fratura de um corpo de prova partido foi observada e a redução de área expressa pelo valor da área da face de fratura dividido pela área da seção transversal da parte paralela do corpo de

prova antes do teste (0 to 100%: abaixo, algumas vezes abreviado como "redução de área SR") foi avaliada.

[062] Do gráfico da figura 1, verifica-se que com uma adição de Mo acima de 0,10% a redução de área se torna 15% ou menos. Além disso, na face da fratura onde a redução de área SR foi 15% ou menos, as fraturas nas bordas dos grãos foram confirmadas mais da metade da face da fratura.

[063] Além disso, da mesma forma, a relação da redução de área SR a 600°C quando se adiciona B ao material de aço da presente invenção é mostrada no gráfico da figura 2. Além disso, da mesma forma, a relação da redução de área SR a 600°C quando se adiciona B ao material de aço da presente invenção está mostrada no gráfico da figura 2. É verificado que devido à leve adição de 0,0003%, o B reduz a redução de área SR para 15% ou menos.

[064] Com base nos resultados das experiências, os limites de Mo: 0,10% ou menos e B: menos de 0,0003% foram definidos. Devido a essa prescrição, torna-se possível evitar a fragilização por reaquecimento da junta de soldagem.

[065] Para obter suficientemente o efeito da presente invenção, é necessário cuidar suficientemente da entrada de B. É necessário controlar estritamente a quantidade de adição de B para menos de 0,0003% incluindo a entrada a partir de matérias primas de sucata, minério, ou materiais de ligas ou contaminação por materiais do forno, etc. Quando capaz de selecionar estritamente os materiais da produção do aço, o valor do limite superior permissível de B, considerando-se a flutuação dos valores de análise na indústria, é de menos de 0,0002%.

[066] Note que, para fazer confiavelmente o indicador para avaliação da resistência à fragilização por reaquecimento, isto é, a redução de área SR, maior que 15%, na presente invenção, o valor SRS ex-

presso pela fórmula a seguir {[SRS]=4Cr[%]-5Mo[%]-10Ni[%]-2Cu[%]-Mn[%]} (correspondendo à fórmula (1) acima) foi usado para definir a composição dos ingredientes químicos.

[067] Essa fórmula [SRS], como já declarado, analisa as faixas dos ingredientes químicos onde não ocorre amolecimento local das bordas dos grãos devido à transformação parcial das bordas dos grãos a uma alta temperatura devido à prevenção da fragilização por precipitação nas bordas dos grãos e Ni, Cu, e Mn elementos estabilizadores da fase γ pela análise de regressão múltipla usando-se os resultados experimentais, aproxima linearmente a região limite tornando a redução de área SR maior que 15%, e arredonda o coeficiente para um valor substancialmente total.

[068] Além disso, na fórmula [SRS], é necessário que a relação {[SRS]>0} permaneça. É apenas pela satisfação tanto da provisão dessa fórmula quanto da provisão da composição dos ingredientes químicos da presente invenção que a prevenção da fragilização por reaquecimento pode ser realizada confiavelmente.

[069] A figura 4 é um gráfico mostrando a relação entre os resultados das experiências conduzidas quando se definem os valores SRS, isto é, os valores SRS dos materiais de aço que diferem na redução de área SR, e a fronteira de uma redução de área SR de 15%. Com base nesse gráfico, o coeficiente da fórmula SRS foi determinado pelo método acima.

[070] Na presente invenção, devido à correlação de Mo, Ni, e Cu que entram como impurezas e o Mn e o Cr adicionados intencionalmente, mesmo se dentro dos ingredientes químicos prescritos, a redução de área SR no momento de um teste de redução de área SR algumas vezes cai levemente abaixo de 15%. Para evitar isso, isto foi definido pela fórmula [SRS].

[071] Por exemplo, quando contém Ni, Cu, e Mo em seus respec-

tivos valores limite superiores de 0,1%, mesmo se a quantidade de Mn for feita 1,8%, SRS se torna negativa quando Cr for 0,8%. Nesse caso, a fragilização por precipitação e o amolecimento local ocorrem simultaneamente e a fragilização por reaquecimento não pode ser evitada. Reciprocamente, quando se adiciona Cr em 1,5%, a fragilização por reaquecimento pode ser evitada mesmo quando se adicionam outros elementos aos valores limite superiores.

[072] Dessa forma, a presente invenção não mostra um material de aço capaz de evitar completamente a fragilização por reaquecimento pela simples limitação da composição dos ingredientes químicos, mas adiciona indicadores para a otimização da composição dos ingredientes químicos que forma a fórmula SRS (correspondente à fórmula (1) da reivindicação 1) e define as faixas de ingredientes de liga para suprimir a fragilização por reaquecimento.

P: menos de 0,020%

S: menos de 0,0050%

O: menos de 0,010%

[073] P, S, e O têm enormes efeitos na tenacidade do próprio material de aço como impurezas e também afetam a fragilização por reaquecimento no momento de um incêndio, então foram limitados a, como limites superiores de seus teores confirmados experimentalmente, P: menos de 0,020%, S: menos de 0,0050%, e O: menos de 0,010%. Para maior melhoria da tenacidade, é também possível limitar o P a menos de 0,015% ou menos de 0,010%, S a menos de 0,004% ou menos de 0,003%, e O a menos de 0,0050% ou menos de 0,0030%.

[074] Prescrevendo-se os ingredientes do aço conforme explicado acima, na presente invenção, é possível realizar um material de aço superior em resistência à fragilização por reaquecimento da junta de soldagem do material de aço no momento de um incêndio, simultane-

amente superior em tenacidade da HAZ com grande entrada de calor de 5 kJ/mm, e alto em limite de elasticidade à alta temperatura a uma temperatura de 600°C.

[075] A seguir serão explicadas as razões para limitação da faixa de adição de elementos opcionais na presente invenção.

Ti: acima de 0,005% a 0,050%

Zr: 0,002 a 0,010%

[076] Ti e Zr são elementos formadores de carbonetos e nitretos. Adicionando-se os mesmos, é possível usa-los para fortalecer a precipitação. Na presente invenção, para manifestar a capacidade de fortalecimento da precipitação, Ti tem que ser adicionado em mais de 0,050%, carbonetos brutos se precipitam nas bordas dos grãos e a resistência à fragilização por reaquecimento é degradada, então a faixa de adição foi limitada a acima de 0,005% a 0,050%. Também o Zr foi limitado a 0,002 a 0,010% exatamente pelas mesmas razões do Ti. É possível adicionar seletivamente um ou mais dos dois elementos opcionais acima.

Mg: 0,0005 a 0,005%

Ca: 0,0005 a 0,005%

Y: 0,001 a 0,050%

La: 0,001 a 0,050%

Ce: 0,001 a 0,050%

[077] Das limitações acima mencionadas de S e da quantidade de adição de Mn no material de aço da presente invenção, a formação de MnS na parte segregada central é basicamente pequena, mas no momento da produção em massa, pode não ser necessariamente completamente eliminado. Portanto, para reduzir o efeito que os sulfetos têm na tenacidade do material de aço, a adição de um elemento controlador da formação de sulfetos torna-se possível. Simultaneamente, o efeito da presente invenção pode também ser melhorado.

[078] Isto é, na presente invenção, é possível selecionar e incluir um ou mais entre Mg: 0,0005 a 0,005%, Ca: 0,0005 a 0,005%, Y: 0,001% a 0,050%, La: 0,001% a 0,050%, e Ce: 0,001% a 0,050%.

[079] Se a quantidade de adição de qualquer um desses elementos for menor que o valor do limite inferior, o efeito não é expresso. Além disso, se o limite superior de adição for excedido, são formados grupos de óxidos brutos e há a possibilidade de fraturas instáveis do material de aço, então os elementos foram limitados às faixas acima. Note que, Mg e Ca podem ser limitados a 0,003% ou menos e Y, La, e Ce a 0,020% ou menos.

Estrutura do Material de Aço

[080] Em geral, é bem conhecido que juntamente com o aumento da temperatura ambiente, a contribuição do reforço da textura para a resistência à alta temperatura de um material de aço é reduzida. Isto se dá porque juntamente com o aumento da temperatura ambiente, a recuperação estrutural (promoção do fenômeno de fusão e desaparecimento ou dispersão acompanhando o movimento crescente das deslocações) progride. Por essa razão, para expressão da manutenção da resistência à alta temperatura, a manutenção da tensão interna de um material à temperatura ambiente, (resistência à deformação dos materiais determinada geralmente pelo mecanismo de administração entre o reforço da deslocação, reforço da precipitação e outros fatores de reforço do material) é importante.

[081] Isto é, inicialmente, a presença de fatores que introduzem a quantidade de deslocações necessárias para conseguir a resistência do material a ser expressa no material de aço e evitar que as deslocações desapareçam numa região de alta temperatura, por exemplo, deslocações imóveis de alta densidade ou precipitados dispersos em uma alta densidade, torna-se importante.

[082] Por essa razão, na presente invenção, em adição à provi-

são acima de ingredientes de aço, é mais preferível prescrever a estrutura do material de aço como segue.

Densidade de Deslocação

[083] No aço resistente ao fogo da presente invenção, preferivelmente a densidade de deslocação na fase ferrita do material de aço é $10^{10}/\text{m}^2$ ou mais. Se a densidade de deslocação na fase ferrita do material de aço estiver nessa faixa, é obtido um aço resistente ao fogo superior em características de resistência à alta temperatura.

[084] Os ingredientes do aço da presente invenção (composição dos ingredientes químicos) é feita a composição ótima para introduzir fatores de reforço de precipitação evitando a recuperação da estrutura de deslocação de modo a melhorar a resistência à fragilização por reaquecimento e não se tornar causa de uma queda na tenacidade na HAZ que recebe o efeito do calor a uma soldagem com uma grande entrada de calor de 5 kJ/mm.

[085] Portanto, no estado anterior ao aço resistente ao fogo ser exposto a uma alta temperatura, isto é, no ambiente de temperatura comum antes da ocorrência de um incêndio, é necessário que as deslocações introduzidas de modo a permitir uma resistência suficiente sejam apresentadas mesmo a uma alta temperatura.

[086] Na presente invenção, por tal razão, a densidade de deslocação na fase ferrita do material de aço é definida como $10^{10}/\text{m}^2$ ou mais para realizar características de resistência à alta temperatura (veja também a descrição do método de produção explicado mais tarde). Se a densidade de deslocação na fase ferrita do material de aço for menor que $10^{10}/\text{m}^2$, o efeito se torna difícil de ser obtido.

[087] Aqui, como método para medir a densidade de deslocação de um material de aço, o método de avaliação da metade da largura do pico de difração de raio-x (veja a Literatura de Referência 1 a seguir) pode ser usado. Especificamente, o material do corpo de prova

foi cortado com 10 mm×10 mm×2 mm, então a superfície principal foi polida até um acabamento espelhado, e então foi polida quimicamente ou polida eletroliticamente para remover a superfície polida espelhada para 50 μm ou mais. Além disso, essa amostra foi colocada em um sistema de difração de raio-x onde sua superfície principal polida foi irradiada com raios-x característicos Cr-K_α ou Cu-K_α , e a superfície traseira refletida com o método de difração de raio-x foi usada para medir os raios difratados nas faces $\alpha\text{-Fe}(110)$, (211) , e (220) . Raios-x característicos Cr-K_α ou Cu-K_α são compreendidos de raios vizinhos $\text{K}_{\alpha 1}$ e $\text{K}_{\alpha 2}$. Por esta razão, o método de Rachinger (veja a Literatura de Referência 2, a seguir) foi usado para subtrair as alturas dos picos de difração de raios $\text{K}_{\alpha 2}$ nos picos de difração das faces do cristal para avaliar o pico de difração do raio $\text{K}_{\alpha 1}$ a meia largura. Esse pico de difração a meia largura é proporcional à tensão média ε no cristal, de forma que o método Williamson-Hall (veja a Literatura de Referência 3, a seguir) pode ser usado para descobrir ε a partir do pico de difração a meia largura.

[088] Além disso, da tensão média ε , a fórmula (10) $\{\rho=14.4\varepsilon^2/b^2\}$ da descrição da Literatura de Referência 1 a seguir (pgs. 396-399) é usada para descobrir a densidade de deslocação ρ ($/\text{m}^2$). Aqui, "b" na fórmula acima é o tamanho do vetor de Burgers ($=0.248\times 10^{-9}\text{m}$).

[089] Literatura de Referência 1: Koichi Nakajima e outros, "Estimation of dislocation density by X-ray diffraction method", Current Advance in Materials and Process, Iron and Steel Institute of Japan, Vol. 17 (2004), nº 3, pgs. 396-399

[090] Literatura de Referência 2: Guinier, A., conforme tradução de Kazutake Kohra e outros, "Theory and Practice of X-ray Crystallography, Revised 3rd Edition", Rigaku Industrial (1967), pg. 406

(3) Literatura de Referência 3: G. K. Williamson and W. H. Hall, Acta Metall., 1 (1953), pg.22

Ocupação de Bainita ou Martensita na Estrutura

[091] O aço resistente ao fogo da presente invenção é preferivelmente uma estrutura resfriada bruscamente com uma ocupação de bainita ou martensita na estrutura do material de aço de 20% ou mais. Se a ocupação de bainita ou martensita na estrutura do material de aço estiver nessa faixa, torna-se possível obter um material de aço que tenha a densidade de deslocação prescrita acima. Se a ocupação da bainita ou martensita na estrutura do material de aço for menor que 20%, a densidade de deslocação acima na fase ferrita do material de aço ($10^{10}/\text{m}^2$ ou mais) é difícil de se obter.

Densidade de Precipitação de Carbonetos ou Nitretos

[092] O aço resistente ao fogo da presente invenção tem preferivelmente carbonetos ou nitretos de um ou mais elementos entre Nb, V, Cr, Ti, e Zr precipitados no material de aço a uma densidade de $2/\mu\text{m}^2$ ou mais. Na presente invenção, precipitados compreendidos dos carbonetos ou nitretos acima mencionados e que prejudicam o movimento das deslocações para expressar a resistência à alta temperatura são precipitados no material de aço pela faixa de densidade e são interpostos nas deslocações em um estado adequadamente disperso, enquanto o efeito de melhoria do limite de elasticidade à alta temperatura é confiavelmente obtida. Se a densidade de carbonetos ou nitretos no material de aço for menor que $2/\mu\text{m}^2$, torna-se possível obter o efeito de melhoria do limite de elasticidade à alta temperatura explicado acima.

Método de Produção de Aço Resistente ao Fogo

[093] Abaixo, explicaremos as razões para limitação do método de produção do aço resistente ao fogo superior em resistência à fragilização por reaquecimento das juntas de soldagem e tenacidade da presente invenção.

[094] O método de produção de aço resistente ao fogo superior

em resistência à fragilização por reaquecimento da junta de soldagem e tenacidade de acordo com a presente invenção compreende o aquecimento de uma placa de aço tendo os ingredientes de aço acima explicados até uma temperatura de 1.150 a 1.300°C, então trabalhando a quente ou laminando a quente, terminando o trabalho a quente ou a laminação a quente a uma temperatura de 800°C ou mais, após isto, resfriando aceleradamente o material de aço até uma temperatura de 500°C de forma que a velocidade de resfriamento das diferentes partes do material de aço se torna 2°C/s ou mais, interrompendo o resfriamento acelerado na região de temperatura onde a temperatura da superfície do material de aço se torna 350 a 600°C, e, após isto, resfriando passivamente o material.

[095] A presente invenção propõe ingredientes de aço (composição de ingredientes químicos), mas se apenas laminar-se o tal material de aço para produção, os efeitos da presente invenção não podem ser estavelmente obtidos. Isto se dá porque a composição dos ingredientes químicos da presente invenção é principalmente prescrito focalizando na prevenção da fragilização por reaquecimento e aquisição da tenacidade HAZ e as especificações da resistência à temperatura ambiente, razão de rendimento, e resistência à alta temperatura algumas vezes não são satisfeitas apenas pela faixa prescrita da composição dos ingredientes químicos.

[096] Conforme explicado acima, juntamente com o aumento na temperatura ambiente, a contribuição do reforço da textura para a resistência à alta temperatura de um material de aço é reduzida, de modo a expressar a resistência à alta temperatura, é desejado manter a tensão interna de um material à temperatura ambiente. Por esta razão, a presença de fatores que introduzem a quantidade de deslocamentos necessárias para obter a resistência do material a ser expressa no material de aço e evitar que as deslocamentos desapareçam a uma alta

temperatura, por exemplo, deslocamentos imóveis de alta densidade ou precipitados dispersos em uma alta densidade, se torna necessário.

[097] A composição dos ingredientes químicos prescrita na presente invenção é feita a composição ótima para introduzir fatores de reforço da precipitação de modo a melhorar a resistência à fragilização por reaquecimento e não se torna a causa de uma queda na tenacidade na HAZ que recebe o efeito do calor da soldagem com grande entrada de calor. Portanto, no estado antes de o aço resistente ao fogo ser exposto a uma alta temperatura, isto é, em um ambiente de temperatura comum antes da ocorrência de fogo, é necessário que as deslocamentos sejam introduzidas de modo a permitir que uma resistência suficiente seja exibida mesmo a uma alta temperatura.

[098] Por essa razão, a adoção do método de resfriar aceleradamente o material de aço para estabilizar o estado excessivamente resfriado da composição é adequado do ponto de vista industrial. Entretanto, industrialmente falando, resfriar-se uniformemente uma chapa de aço com uma espessura grossa não é uma tecnologia simples. É necessário usar um mecanismo de resfriamento uniforme de chapa de aço chamado "resfriamento controlado".

[099] Aqui, quando se aplica um material de aço a uma estrutura real de um edifício, é necessário cortar a chapa de aço produzida nas formas desejadas e criar os membros componentes, mas desse ponto de vista, é necessário que todos os locais do material de aço, isto é, as diferentes partes do material de aço como um todo, tenham estruturas similares.

[0100] A presente invenção enfatiza esse ponto e faz a velocidade de resfriamento controlado 2°C/s para obter uma densidade de deslocamento suficiente na composição dos ingredientes químicos da presente invenção de $10^{10}/\text{m}^2$ ou mais como condição necessária.

[0101] Note que, a menos que se mantenha a velocidade de res-

friamento pelo menos no ponto de início da transformação da bainita (correspondendo ao ponto Ar_3 no momento da transformação da ferrita) e, após isto, fazendo pelo menos 20% ou mais da estrutura da seção transversal uma estrutura bainita ou uma estrutura martensita, não é possível obter a densidade de deslocação acima, como um indicador de controle, a velocidade média de resfriamento no momento do resfriamento de 800°C a 500°C foi definida como 2°C/s .

[0102] Esse resfriamento pode ser continuado até o ponto Bs onde a transformação da bainita termina completamente (correspondente ao ponto Ar_1 da transformação da ferrita), mas dependendo da composição dos ingredientes químicos, o ponto Bs algumas vezes é 500°C ou mais. Não é necessário executar continuamente o resfriamento a água até 500°C . A taxa média de resfriamento no momento do resfriamento de 800°C até 500°C limitada como um indicador de velocidade de resfriamento é prescrito uma vez que em um material de aço com um ponto Bs de 500°C ou mais, a velocidade de resfriamento do ponto Bs ou menos é insignificante do ponto de vista da melhoria da densidade de deslocações.

[0103] Além disso, na presente invenção, interromper esse processo de resfriamento controlado no meio com a intenção de eliminar o processo, e então resfria-lo naturalmente, é também possível melhorar a produtividade da chapa de aço produzida através de um processo de resfriamento-revenimento controlado.

[0104] Especificamente, interrompendo-se o resfriamento por um processo de resfriamento controlado em uma região de temperatura de superfície do material de aço de 350 a 600°C , então resfriando-se naturalmente, embora não completamente o mesmo, adotando-se processos que permitam substancialmente o mesmo efeito, isto é, um processo de resfriamento controlado interrompido no meio e um processo de resfriamento passivo, é possível melhorar ainda mais a pro-

produtividade.

[0105] Além disso, para o resfriamento por um processo de resfriamento controlado, um método de interromper a uma região de temperatura de 100°C até a temperatura ambiente, e então resfriando-se passivamente é mais preferível do ponto de fazer pelo menos 20% ou mais da estrutura da seção transversal na estrutura do material de aço uma estrutura bainita ou uma estrutura martensita e obter confiavelmente uma estrutura resfriada.

[0106] Por outro lado, também não há problema com o emprego do método convencional de produção de resfriamento controlado e revenimento sem atravessar tal processo de alta produtividade. Ao invés, no aço com um ponto de transformação Bs de 500°C ou menos e uma temperabilidade relativamente baixa, empregando-se um processo de resfriamento-revenimento controlado algumas vezes permite uma produção estável do ponto de vista das características do material.

[0107] Além disso, quando se usa resfriamento controlado para resfriar até 100°C ou menos e se mede a resistência do material de aço, quando a densidade das deslocamentos móveis no material de aço é alta, o limite de escoamento aparentemente cai, a razão de rendimento cai abaixo de 0,8, e a característica chamada de "baixa YR (razão de rendimento)" pode ser obtida. A ação que esta característica dá é notável mesmo quando emprega o processo de resfriamento controlado com parada no meio mencionado acima, mas é possível também melhorar o efeito. Tal material de aço de baixo YR é baixo em tensão de partida da deformação plástica e alto em resistência à tração, então o material se rompe após uma grande deformação. Portanto, ele pode ser adequadamente usado como material para um edifício com resistência superior a terremotos.

[0108] Portanto, na presente invenção, um processo de produção que inclui resfriamento controlado até 100°C ou menos e sem reveni-

mento pode também ser aplicado. Esse método é eficaz para obter estavelmente resistência a terremotos em um material de aço.

[0109] Note que o revenimento acima mencionado após o resfriamento controlado pode ser executado selecionando-se adequadamente e determinando-se a temperatura de 400 a 750°C (temperatura imediatamente abaixo do ponto de transformação Ac1 substantivo). Pode ser determinado pela resistência do material necessário, estado de precipitação dos carbonetos, e a composição de ingredientes químicos do material base. Ele permite que o efeito da presente invenção seja aumentado.

[0110] Além disso, o mesmo é verdade para o tempo de tratamento térmico. Quando as mudanças estruturais no momento do revenimento são administradas pela dispersão de substâncias, a temperatura e o tempo podem ser intercambiadas como parâmetros que dão os mesmos efeitos. Isto é, processamento equivalente pode ser executado pelo processamento em um tempo curto a uma alta temperatura e em um tempo longo a uma baixa temperatura.

[0111] Além disso, devido ao revenimento, a precipitação de carbonetos é promovida. Esse efeito é notável em resistência à alta temperatura. Ele permite que a resistência à alta temperatura seja melhorada sem mudar a resistência à temperatura ambiente conforme descoberto experimentalmente pelos inventores.

[0112] Além disso, como revenimento após o resfriamento controlado, revenir o material de aço em uma faixa de temperaturas de 400°C a 750°C por 5 minutos por um tempo de 360 minutos e provocando carbonetos ou nitretos compreendidos de um ou mais elementos entre Nb, V, Cr, Ti, e Zr para precipitar no material de aço a uma densidade de $2/\mu\text{m}^2$ ou mais como condição são preferíveis no ponto de permitir a resistência à alta temperatura do aço resistente ao fogo a ser melhorado ainda mais.

[0113] A figura 3 é um gráfico mostrando os resultados da produção, dentre os aços da invenção descritos nas reivindicações 1 a 3, de aços das composições de ingredientes químicos descritas na tabela 1 pelo resfriamento controlado com parada do resfriamento a água no meio, e então mantendo-se os mesmos a 400°C a 70°C por 0,5 hora, então novamente aquecendo-os até 600°C e medindo-se o limite de elasticidade à alta temperatura, em comparação com a temperatura de revenimento.

[0114] Conforme mostrado na figura 3, é verificado que o limite de elasticidade à alta temperatura apresenta seu valor mais alto a 550°C. Verifica-se que comparado com aço não revenido, o limite de elasticidade à alta temperatura aumenta. Nesse momento, quando o limite de elasticidade necessário exceder 162 N/mm^2 (menor valor de especificação de resistência no caso de resistência à temperatura ambiente de aço da classe 500 N/mm^2 de 1/2 de 325 N/mm^2), a precipitação de carbonetos no material de aço a uma densidade de $2/\mu\text{m}^2$ ou mais foi confirmada pela observação por um microscópio eletrônico do tipo transmissão com uma ampliação de 10.000X. Essa é a maior característica da presente invenção em termos de efeitos do revenimento.

[0115] Geralmente o revenimento é executado com o propósito de reduzir a resistência à temperatura ambiente, mas na presente invenção é verificado que isto tem o efeito de interpor os obstáculos ao movimento de deslocação para expressão da resistência à alta temperatura, isto é, os precipitados entre as deslocações em um estado disperso adequado e que permite confiavelmente a melhoria da do limite de elasticidade à alta temperatura. Portanto, as condições de revenimento na presente invenção são prescritas não apenas pelo ajuste da resistência à temperatura ambiente como com o revenimento convencional, mas também pelo controle da precipitação de carbonetos para melhorar a resistência à alta temperatura.

Tabela 1 (% em massa)

Elementos																	SRS
C	Si	Mn	Cr	P	S	Nb	V	Mo	Ni	Cu	Al	N	B	O	Ti		
Teores	0,04	0,25	1,40	1,00	0,011	0,0012	0,02	0,08	0,01	0,06	0,02	0,015	0,004	0,0001	0,003	0,014	1,91

[0116] Note que, como técnica para obter confiavelmente tal estrutura de metal, é usada a técnica de controlar a laminação e o resfriamento do aço, mas especificamente como método de produção necessário e suficiente para introdução de deslocamentos nos materiais de aço para expressar um limite de elasticidade à alta temperatura superior, é necessário garantir que os vários carbonetos estabilizadores à alta temperatura, por exemplo, NbC, VC, TiC, ZrC, e Cr_{23}C_6 , entrem completamente na solução sólida pelo pré-aquecimento até a temperatura de 1150°C a 1300°C, e então forjando ou trabalhando o material a quente ou laminando brutaemente ou dando-se a laminação de acabamento ou acabando (forjando), e então limitando a temperatura final de laminação (trabalho) em 800°C ou mais de modo a aumentar a subsequente temperatura de início do resfriamento acelerado tanto quanto possível e aumentar a temperabilidade brusco.

[0117] Além disso, no momento da laminação, é necessário eliminar as estruturas e recrystalizar o aço no momento do lingotamento tanto quanto possível. Com o propósito de prensar juntos pequenos vazios etc., é preferível limitar a razão de redução de laminação no trabalho a quente (na laminação, a espessura da chapa antes da laminação dividida pela espessura da chapa após a laminação, enquanto no forjamento ou outro trabalho a quente, a recíproca do valor cumulativo das taxas temporárias de mudança da área da seção transversal) para 2,5 ou mais e garantir que uma estrutura firme seja obtida. Esta limitação é almejada na prevenção de vãos resultantes de uma estrutura desigual que agravam a fragilização por reaquecimento.

[0118] Isto é, em adição às provisões da composição dos ingredientes químicos, se forem usadas em conjunto as provisões das adições de produção explicadas acima, torna-se possível produzir um aço resistente ao fogo superior em limite de elasticidade à alta temperatura que tenha um rendimento extremamente alto e possa otimizar as

quantidades de adição de ligas.

[0119] Conforme explicado acima, de acordo com o aço resistente ao fogo superior em resistência à fragilização por reaquecimento das juntas de soldagem e tenacidade conforme a presente invenção e seu método de produção, é possível fornecer um material de aço que tenha uma resistência a uma temperatura de 600°C, em particular uma resistência à tração de 1/2 ou mais daquela no momento da temperatura ambiente, tendo uma ligação da HAZ livre de fragilização por reaquecimento mesmo na temperatura suposta de incêndio, e capaz de obter simultaneamente tenacidade de 5 kJ/mm ou maior da grande entrada de calor da zona de soldagem e produzir o mesmo.

Exemplos

[0120] Abaixo serão dados exemplos de aços resistentes ao fogo superiores em resistência à fragilização por reaquecimento das juntas de soldagem conforme a presente invenção e seu método de produção para explicar mais especificamente a presente invenção, mas a presente invenção não é, naturalmente, limitada aos exemplos a seguir e pode ser trabalhada enquanto se fazem mudanças adequadas dentro de uma faixa compatível com a essência da invenção explicada anteriormente e mais tarde. Eles estão também todos incluídos no escopo técnico das presente invenção.

Preparação das Amostras do Aço Resistente ao Fogo

[0121] No processo de produção do aço, o aço fundido foi controlado quanto à desoxidação e dessulfuração e ingredientes químicos e foi lingotada continuamente para preparar placas da composição de ingredientes químicos mostrados na tabela 2. Também usando as condições de produção mostradas na tabela 3, as placas foram reaquecidas e laminadas em chapas grossas para reduzi-las até espessuras de chapa predeterminadas, e então foram tratadas termicamente sob diferentes condições para produzir amostras de aço resistente ao

fogo.

[0122] Especificamente, primeiramente cada placa foi reaquecida a uma temperatura de 1.160 a 1.280°C por 1 hora, e então imediatamente foi iniciada a laminação bruta para se obter uma chapa de aço com espessura de 100 mm à temperatura de 1.050°C. Posteriormente, sob as condições mostradas na tabela 3 a seguir, ela foi laminada até uma chapa de aço de bitola grossa com uma espessura final de 15 a 35 mm ou foi forjada ou laminada para um aço de forma de seção transversal complicada com uma espessura máxima de 15 a 35 mm e sofreu laminação de acabamento enquanto se controlava a temperatura de acabamento em 800°C ou mais. Também, após o término da laminação, o material resultante foi imediatamente resfriado aceleradamente por resfriamento a água almejando uma temperatura de 500°C. A temperatura da superfície do material de aço na faixa de temperatura de 500±50°C nas diferentes partes do material de aço foi confirmada pelo sistema de não-contato ou pelo método de anexar pares termelétricos às partes, interrompendo o resfriamento acelerado por resfriamento a água, e então permitindo o resfriamento passivo para preparar amostras de aço resistente ao fogo conforme a presente invenção (reivindicações 1 a 6) (aços da invenção: Aços n^{os} 1 a 41).

[0123] Além disso, exceto para preparação das placas compreendidas dos ingredientes de aço mostrados na tabela 4 a seguir e fazendo-se as condições de produção aquelas mostradas na tabela 5 a seguir, o mesmo procedimento que o dos aços da invenção foi usado para preparar amostras dos aços resistentes ao fogo dos exemplos comparativos (aços comparativos: Aços nos 51 a 80).

[0124] Em adição, os materiais dos ingredientes de aço mostrados nos aços n^{os} 1 a 4 da tabela 2 foram usados para preparar aços de seção H de espessura de flange de 21 mm sob as condições de laminação mostradas na tabela 6.

Teste de Avaliação

[0125] Amostras de aços resistentes ao fogo produzidos pelo método acima foram testadas para avaliação como segue:

[0126] Inicialmente, as características de tração e de impacto Charpy foram medidas e avaliadas tirando-se corpos de prova a partir da 1/2 da espessura da chapa e na direção longitudinal (L) de laminação das amostras dos aços resistentes ao fogo.

[0127] O limite de elasticidade (limite de escoamento) foi avaliado por um ponto de rendimento superior quando um ponto de rendimento superior aparece claramente em um gráfico de uma curva tensão-pressão no momento da execução de um teste com base no método de teste de tração descrito na JIS Z 2241 e o limite de escoamento a 0,2% quando não. Os resultados estão mostrados na tabela 3 e na tabela 5.

[0128] A tenacidade do material base foi avaliada pela medição da energia de absorção medida por um teste de impacto Charpy a 0°C usando um corpo de prova nº 4 dado um bocal 2 mmV com base na JIS Z 2242. Nesse momento, o valor mínimo da tenacidade foi feito 27J considerando a resistência a terremotos das estruturas dos edifícios.

[0129] Para a resistência à alta temperatura, (limite de elasticidade à alta temperatura), corpos de prova de tração à alta temperatura com diâmetros de peças paralelas de $\phi 6$ mm e comprimento de peças paralelas de 30 mm foram tirados das amostras de aço resistente ao fogo. Com base no teste de tração à alta temperatura descrito na JIS G 0567, os corpos de prova foram deformados a uma velocidade de deformação de tração de 0,5%/min e gráficos de deformação- tração foram feitos para medir o limite de elasticidade à alta temperatura. Os limites de elasticidade nesse momento foram todos feitos limites de elasticidade 0,2%.

[0130] Para a tenacidade da junta de soldagem, isto é, as características de resistência à fragilização, amostras do aço resistente ao fogo foram usadas para formar juntas de soldagem pela formação de ranhuras a 45° e soldando-se sem pré aquecer ou pós aquecer por três camadas ou mais de solda TIG (soldagem a arco de gás inerte tungstênio) ou SAW (soldagem a arco submerso). As juntas de soldagem foram avaliadas pelo método acima mencionado quanto à tenacidade da junta de soldagem, isto é, a característica de resistência à fragilização. Nesse momento, o fato de que a entrada de calor na soldagem era uma constante de 5k a 6kJ/mm foi confirmado pelo cálculo do valor de saída, corrente e voltagem no momento da soldagem.

[0131] Além disso, para um indicador para julgamento da fragilização de uma junta de soldagem após um incêndio, da mesma forma, um material de aço foi produzido, e então uma junta de soldagem foi realmente formada por uma entrada de calor de 5 kJ/mm, a junta de soldagem como um todo foi elevada a várias temperaturas de 600°C em 1 hora, mantida ali por 0,5 hora, e então submetida a testes de tração àquela temperatura. A redução de ruptura de área foi feita a redução de área SR. Na figura 1, quando a redução de área SR foi menor que 15%, a face de fratura após o teste de tração foi observado sob um microscópio de varredura eletrônica. Pela observação da face de fratura nesse momento, foi verificado que a taxa de ruptura nas bordas dos grãos tornou-se 50% ou mais. Pode ser julgado que a fragilização por reaquecimento ocorreu notavelmente, então o valor mínimo da redução de área SR foi feito 15%.

[0132] Uma lista de composições de ingredientes químicos dos aços resistentes ao fogo dos aços da invenção nos exemplos está mostrada na tabela 2 a seguir e uma lista das condições de produção dos materiais de aço está mostrada na tabela 3 a seguir. Além disso, uma lista das composições de ingredientes químicos dos aços compa-

rativos está mostrada na tabela 4 a seguir e uma lista das condições de produção dos materiais de aço está mostrada na tabela 5 a seguir. Também uma lista dos resultados da avaliação das propriedades mecânicas dos aços resistentes ao fogo dos aços da invenção está mostrada na tabela 3 a seguir e uma lista dos resultados da avaliação das propriedades mecânicas dos aços resistentes ao fogo dos exemplos comparativos está mostrada na tabela 5 a seguir. Também as condições de produção do aço com seção H compreendido dos ingredientes químicos da presente invenção e os resultados da avaliação das propriedades mecânicas estão mostrados na tabela 6.

[0133] Note que, nas Tabelas 2 e 4, SRS é o valor calculado de um indicador de fragilização por reaquecimento de uma junta de soldagem representada por $4[\%Cr]-5[\%Mo]-10[\%Ni]-2[\%Cu]-[\%Mn]$.

Nas Tabelas 3, 5, e 6, os itens significam o seguinte:

YS (RT): Resistência à tração à temperatura ambiente

YS (600): Resistência à tração à alta temperatura à temperatura de 600°C

YR: Valor da razão de limite de elasticidade à temperatura ambiente/resistência à tração mostrada indexada para 100%

vE0-B: Energia de absorção Charpy do material de aço a 0°C

vE0-W: Energia de absorção Charpy da HAZ reproduzida da solda correspondendo a uma entrada de calor de 5 to 6 kJ/mm

[0134] Velocidade de resfriamento após a laminação: Velocidade média de resfriamento quando se passa de 800 para 500°C ou velocidade média de resfriamento após o término da laminação de 800°C até a temperatura de parada.

Redução de área SR: Valor de redução de área da ruptura quando se transmite um ciclo de calor correspondente à junta de soldagem, e então executando-se o teste de tração à alta temperatura a 600°C.

Tabela 2

	Aço nº	Elementos (% em massa)																				SRS		
		C	Si	Mn	Cr	P	S	Nb	V	Mo	Ni	Cu	Al	N	B	O	Ti	Zr	Ca	Mg	Y		Ce	La
I N V E N T I O N S T E E L	1	0,0175	0,30	1,57	0,97	0,003	0,0033	0,0944	0,080	0,04	0,01	0,03	0,037	0,0061	0,0001	0,0014								1,95
	2	0,0288	0,43	1,02	1,37	0,016	0,0019	0,0697	0,213	0,02	0,02	0,04	0,053	0,0073	0,0000	0,0040								4,11
	3	0,0400	0,41	1,33	0,61	0,002	0,0014	0,0225	0,201	0,02	0,01	0,01	0,030	0,0048	0,0002	0,0037								0,95
	4	0,0181	0,21	1,73	1,77	0,016	0,0041	0,0127	0,051	0,09	0,04	0,01	0,009	0,0041	0,0001	0,0011								4,51
	5	0,0389	0,33	1,74	0,83	0,005	0,0012	0,0211	0,147	0,01	0,02	0,08	0,043	0,0023	0,0001	0,0019								1,23
	6	0,0416	0,26	1,53	1,48	0,017	0,0027	0,0334	0,221	0,07	0,03	0,01	0,021	0,0029	0,0001	0,0047								3,75
	7	0,0260	0,10	1,59	1,85	0,014	0,0011	0,0171	0,166	0,08	0,06	0,07	0,045	0,0024	0,0001	0,0021								4,73
	8	0,0379	0,29	1,18	1,96	0,011	0,0039	0,0701	0,211	0,02	0,02	0,05	0,023	0,0014	0,0001	0,0052								6,29
	9	0,0466	0,43	1,66	1,79	0,016	0,0034	0,0894	0,188	0,05	0,07	0,03	0,007	0,0012	0,0001	0,0022								4,51
	10	0,0165	0,46	1,31	1,85	0,015	0,0030	0,0390	0,261	0,05	0,02	0,06	0,086	0,0060	0,0002	0,0052								5,51
	11	0,0468	0,05	1,04	0,86	0,013	0,0020	0,0809	0,281	0,08	0,01	0,06	0,051	0,0061	0,0002	0,0053	0,013							1,74
	12	0,0299	0,07	0,97	1,07	0,007	0,0017	0,0289	0,045	0,08	0,04	0,06	0,037	0,0041	0,0001	0,0029	0,015							2,39
	13	0,0211	0,15	0,84	1,74	0,016	0,0012	0,0876	0,196	0,06	0,07	0,04	0,045	0,0055	0,0001	0,0023	0,016							5,11
	14	0,0247	0,23	1,70	1,18	0,003	0,0035	0,0907	0,098	0,06	0,00	0,02	0,031	0,0042	0,0001	0,0053	0,018							2,66
	15	0,0350	0,16	1,18	1,97	0,013	0,0039	0,0866	0,210	0,08	0,07	0,01	0,008	0,0011	0,0002	0,0007	0,026	0,0035						5,59
	16	0,0173	0,20	1,84	1,12	0,017	0,0033	0,0882	0,064	0,07	0,05	0,02	0,021	0,0031	0,0001	0,0019	0,037	0,0067						1,77
	17	0,0322	0,39	1,41	1,74	0,013	0,0025	0,0349	0,154	0,06	0,00	0,08	0,056	0,0044	0,0001	0,0027	0,044	0,0049						5,05
	18	0,0251	0,16	0,88	1,81	0,009	0,0019	0,0109	0,072	0,04	0,05	0,03	0,048	0,0049	0,0000	0,0029	0,023	0,0067						5,59
	19	0,0269	0,36	1,61	0,87	0,008	0,0016	0,0681	0,264	0,08	0,02	0,03	0,053	0,0022	0,0000	0,0019		0,0078						1,17
	20	0,0152	0,23	1,89	1,52	0,012	0,0014	0,0519	0,129	0,07	0,03	0,02	0,005	0,0053	0,0001	0,0035								3,48

Cont. Tabela 2[illegible]

Tabela 3

		Propriedades mecânicas a serem avaliadas e itens de controle											
Aço nº		Temp.de aqueci- mento antes da laminação	Temp. final da laminação	Veloc. De resfriamento após a lami- nação	Temperatura de parada do resfriamento.	Temperatura de revenimen- to.	Tempo de revenimento	YS(RT)	YR	YS(600)	Redução de área SR	vEO-B	vEO-W
		(°C)	(°C)	(°C/sec)	(°C)	(°C)	(hr)	(N/mm ²)	(%)	(N/mm ²)	(%)	(J)	(J)
A	1	1160	860	3	520			355	77	199	27	166	207
Ç	2	1160	860	5	520			364	72	214	36	159	243
O	3	1160	840	3	520			352	68	215	25	175	222
S	4	1160	840	6	550			329	66	173	60	279	136
	5	1160	840	8	550	420	2.5	357	78	217	21	164	170
D	6	1160	820	8	550	450	5.5	381	79	244	40	190	219
A	7	1160	820	2	400			361	65	209	56	210	116
I	8	1160	920	5	400			379	68	233	58	427	273
N	9	1160	920	6	400			405	70	269	38	393	105
V	10	1180	960	7	60	550	4.0	384	82	224	54	379	120
E	11	1180	960	9	60	550	3.0	388	83	259	58	202	237
N	12	1180	980	12	80	600	1.0	292	85	149	66	226	129
Ç	13	1180	980	15	80			360	65	205	44	248	201
Ã	14	1180	980	15	450			370	64	222	24	428	153

Cont. Tabela 3

15	1180	980	15	450			387	65	245	48	333	201
16	1180	920	15	450			366	66	216	27	158	251
17	1180	920	15	450			361	63	220	56	196	103
18	1180	920	15	480			296	62	145	70	241	279
19	1200	900	16	480			403	59	259	25	197	190
20	1200	900	16	480			374	58	215	38	375	246
21	1200	900	16	360			410	58	280	44	196	248
22	1200	900	12	360			381	58	231	24	261	223
23	1200	900	12	550			332	65	183	36	408	243
24	1200	1000	10	25			422	55	264	27	215	262
25	1220	1020	10	25			348	52	209	28	319	242
26	1220	1010	5	25			338	65	183	38	364	201
27	1220	980	5	25			362	63	203	35	260	105
28	1220	980	5	25	480	1.0	321	78	185	45	438	152
29	1220	980	5	25	550	1.0	333	79	173	60	236	153
30	1220	980	40	25	650	1.0	398	83	237	72	308	184
31	1230	950	40	25	700	0.5	322	85	165	46	370	246
32	1250	950	4	480			331	75	188	37	228	256
33	1230	950	3	480			366	72	225	54	173	186
34	1250	950	3	460			348	75	206	46	423	273
35	1280	950	3	460			414	78	276	32	299	280

Cont. Tabela 3

	36	1200	950	4	420			376	76	218	31	275	141
	37	1250	950	6	50			287	69	127	56	312	156
	38	1250	950	6	40	700	0.1	388	78	246	54	321	143
	39	1250	950	11	60	700	0.2	311	79	160	46	299	126
	40	1200	950	11	470	650	0.2	293	78	139	32	345	135
	41	1200	950	13	25			371	72	235	61	322	144

Tabela 4

	Aço	Elementos (% em massa)																							SRS
	nº	C	Si	Mn	Cr	P	S	Nb	V	Mo	Ni	Cu	Al	N	B	O	Ti	Zr	Ca	Mg	Y	Ce	La		
	51	0,0630	0,47	1,45	0,61	0,009	0,0025	0,072	0,428	0,08	0,00	0,07	0,07300	0,00640	0,00000	0,0016								0,46	
A	52	0,0070	0,33	1,63	1,47	0,009	0,0031	0,073	0,344	0,06	0,03	0,02	0,03360	0,00570	0,00020	0,0023								3,63	
Ç	53	0,0307	0,67	0,99	1,62	0,008	0,0018	0,093	0,143	0,02	0,07	0,03	0,04830	0,00700	0,00000	0,0012								4,67	
O	54	0,0247	0,12	2,81	0,76	0,009	0,0019	0,055	0,426	0,09	0,05	0,01	0,06030	0,00500	0,00010	0,0047								-0,74	
S	54-2	0,0251	0,10	0,71	0,65	0,010	0,0021	0,061	0,239	0,09	0,05	0,02	0,06620	0,00490	0,00010	0,0040								0,90	
C	54-3	0,0325	0,08	2,15	0,75	0,009	0,0017	0,059	0,223	0,08	0,04	0,02	0,06120	0,00520	0,00010	0,0037								0,01	
O	55	0,0371	0,09	1,75	4,56	0,004	0,0006	0,078	0,387	0,01	0,02	0,01	0,07390	0,00350	0,00000	0,0019								16,19	
M	56	0,0206	0,19	1,69	0,33	0,014	0,0029	0,068	0,271	0,07	0,06	0,05	0,02530	0,00720	0,00010	0,0011								-1,47	
P	56-2	0,0198	0,23	1,24	0,43	0,013	0,0036	0,071	0,250	0,04	0,02	0,01	0,03120	0,00550	0,00010	0,0020								0,06	
A	56-3	0,0211	0,30	1,35	2,14	0,010	0,0030	0,080	0,282	0,06	0,04	0,03	0,03330	0,00610	0,00010	0,0020								6,45	
R	57	0,0439	0,33	0,83	0,65	0,016	0,0039	0,130	0,238	0,05	0,05	0,05	0,05160	0,00560	0,00010	0,0043								0,88	
A	57-2	0,0444	0,29	0,95	0,96	0,011	0,0031	0,004	0,225	0,05	0,06	0,05	0,04490	0,00590	0,00010	0,0039								1,94	
T	58	0,0428	0,09	1,89	0,70	0,013	0,0022	0,019	0,610	0,03	0,02	0,04	0,03160	0,00460	0,00010	0,0039								0,47	
I	58-2	0,0410	0,08	1,75	0,76	0,009	0,0025	0,020	0,326	0,04	0,03	0,05	0,02970	0,00550	0,00010	0,0041								0,69	
V	58-3	0,0399	0,08	1,83	0,74	0,011	0,0033	0,020	0,024	0,03	0,04	0,05	0,03240	0,00480	0,00010	0,0040								0,48	
O	59	0,0278	0,08	0,86	1,62	0,010	0,0005	0,041	0,259	0,13	0,03	0,02	0,01850	0,00740	0,00010	0,0013								4,56	
S	60	0,0188	0,02	1,81	0,90	0,011	0,0030	0,081	0,135	0,01	0,17	0,02	0,06010	0,00110	0,00000	0,0024								-0,02	
	61	0,0196	0,28	1,68	0,66	0,014	0,0010	0,034	0,225	0,01	0,03	0,26	0,04160	0,00270	0,00000	0,0045								0,11	
	61-2	0,0178	0,25	0,87	1,34	0,012	0,0011	0,036	0,234	0,01	0,01	0,13	0,04440	0,00310	0,00000	0,0049								4,08	

Cont. Tabela 4

61-3	0,0168	0,48	0,91	1,22	0,021	0,0010	0,040	0,255	0,01	0,01	0,03	0,00410,00510,00000,0097	3,76
61-4	0,0159	0,28	0,98	1,19	0,024	0,0010	0,042	0,261	0,01	0,01	0,03	0,10980,00420,00000,0017	3,57
61-5	0,0166	0,30	1,02	1,30	0,023	0,0012	0,044	0,245	0,01	0,01	0,02	0,04250,00390,00040,0025	3,99
62	0,0144	0,37	1,40	0,82	0,017	0,0042	0,012	0,094	0,08	0,04	0,01	0,03750,01600,00020,0035 0,012	1,11
63	0,0171	0,49	1,19	1,13	0,006	0,0042	0,038	0,129	0,01	0,06	0,02	0,03190,00660,00180,0008 0,011 0,0080	2,61
64	0,0144	0,36	1,18	1,91	0,009	0,0017	0,014	0,198	0,05	0,02	0,03	0,07180,00570,00020,0190 0,0070	6,00
65	0,0437	0,06	1,56	1,81	0,028	0,0024	0,035	0,341	0,08	0,07	0,05	0,02250,00720,00000,0017	4,53
66	0,0274	0,19	0,89	1,12	0,014	0,0077	0,075	0,121	0,02	0,01	0,04	0,03290,00740,00000,0015 0,007	3,35
67	0,0409	0,15	1,12	0,87	0,010	0,0019	0,031	0,449	0,05	0,04	0,06	0,02430,00580,00000,0052 0,081	1,63
68	0,0171	0,37	1,63	0,65	0,006	0,0030	0,018	0,066	0,05	0,03	0,07	0,06390,00130,00020,0020 0,0260	0,28
69	0,0387	0,43	1,18	1,56	0,010	0,0015	0,027	0,418	0,01	0,03	0,05	0,02510,00360,00010,0030 0,0062	4,60
70	0,0337	0,18	1,35	0,62	0,015	0,0030	0,055	0,435	0,08	0,04	0,08	0,06950,00610,00010,0021 0,0071	0,13
71	0,0395	0,17	1,79	1,06	0,006	0,0017	0,082	0,197	0,09	0,06	0,01	0,01820,00280,00010,0021 0,0990	1,35
72	0,0214	0,49	1,43	1,45	0,006	0,0037	0,075	0,424	0,08	0,06	0,01	0,06330,00440,00010,0035 0,0760	3,36
73	0,0164	0,36	0,89	0,70	0,013	0,0023	0,044	0,182	0,01	0,01	0,06	0,04290,00570,00010,0049 0,0825	1,64
74	0,0388	0,30	1,98	0,66	0,003	0,0032	0,014	0,117	0,08	0,09	0,08	0,04060,00110,00010,0008	-0,80
75	0,0135	0,09	1,01	1,83	0,007	0,0027	0,030	0,378	0,07	0,06	0,01	0,04010,00580,00010,0041	5,28
76	0,0386	0,40	1,58	0,82	0,002	0,0029	0,069	0,143	0,03	0,05	0,08	0,03870,00280,00010,0033	0,94
77	0,0297	0,30	1,57	1,54	0,010	0,0036	0,014	0,219	0,02	0,02	0,01	0,03810,00700,00010,0013	4,26
78	0,0290	0,29	0,98	1,53	0,015	0,0035	0,030	0,232	0,01	0,06	0,04	0,04620,00630,00010,0036	4,46
79	0,0281	0,26	1,57	0,86	0,013	0,0016	0,041	0,152	0,03	0,01	0,08	0,05970,00450,00020,0015	1,43
80	0,0317	0,24	1,46	1,12	0,007	0,0060	0,025	0,120	0,01	0,02	0,01	0,03590,00360,00000,0033	2,75

Tabela 5

	Aço nº	Propriedades mecânicas a serem avaliadas e itens de controle											
		Temp. de aqueci- mento antes da laminação	Temp. final da lamina- ção	Veloc. de resfri- amento após a laminação	Temperatura de parada do resfriamento	Temperatura de revenimen- to.	Tempo de revenimen- to	YS(RT)	YR	YS(600)	Redução de área SR	vEO-B	vEO-W
		(°C)	(°C)	(°C sec)	(°C)	(°C)	(hr)	(N/mm ²)	(%)	(N/mm ²)	(%)	(J)	(J)
C	51	1200	960	22	450			613	86	313	3	168	153
O	52	1200	960	22	450			212	78	81	65	332	15
M	53	1200	960	22	400			299	65	145	36	11	160
P	54	1200	960	22	400			615	96	288	4	312	153
A	54-2	1200	960	22	400			230	84	115	38	123	145
R	54-3	1200	960	22	400			584	92	290	13	21	13
A	55	1200	960	15	400	400	2.5	512	58	344	86	167	15
T	56	1200	960	15	400	400	5.5	200	67	76	12	188	12
I	56-2	1200	960	15	400			209	70	90	14	180	45
V	56-3	1200	960	15	400			473	61	333	70	171	24
E	57	1200	960	15	400			455	84	299	6	13	5
S	57-2	1200	960	15	400			209	69	107	42	161	155
T	58	1200	960	15	400			489	78	269	2	24	5
E	58-2	1200	960	15	400			477	76	257	10	31	10
E	58-3	1200	960	15	400			285	72	106	43	254	166
L	59	1200	960	15	400			341	78	235	5	215	45

Cont. Tab. 5

60	1200	960	15	400	550	4.0	414	83	251	7	198	61
61	1200	960	15	400	550	3.0	298	84	207	6	57	128
61-2	1200	960	15	400			300	82	220	10	80	141
61-3	1200	960	15	400			541	86	276	22	31	8
61-4	1200	960	15	400			495	79	271	24	9	7
61-5	1200	960	15	400			312	74	227	11	145	129
62	1200	960	15	400	550	1.0	313	88	166	3	23	15
63	1200	960	15	400			498	81	332	4	202	312
64	1200	960	15	400			333	281	277	28	11	5
65	1250	960	10	400	550	1.0	318	75	255	11	114	9
66	1180	960	10	400	550	1.0	346	77	235	13	121	7
67	1200	960	10	400			425	84	288	2	4	11
68	1180	960	16	400			411	88	264	2	7	13
69	1180	960	10	480			423	68	236	44	9	11
70	1180	960	15	460			396	78	218	35	12	121
71	1180	960	13	480			389	79	244	28	9	11
72	1180	960	21	480			344	78	256	36	21	4
73	1180	960	11	540			365	82	226	39	11	5
74	1160	960	6	490			366	76	235	11	235	166
75	1360	960	6	450			426	82	268	26	8	182
76	1220	770	6	440	480	1.0	217	71	99	41	268	106
77	1200	960	1	480	550	1.0	205	72	81	36	289	127

	78	1200	960	5	660	650	1.0	199	70	65	48	288	169
	79	1200	960	10	400	780	1.0	611	68	265	33	89	46
	80	1200	960	10	400	720	42.0	195	70	79	37	91	44

Tabela 6

		Propriedades mecânicas a serem avaliadas e itens de controle						
Aço com seção H	Aço n°	Temp.de aquecimento antes da laminação	Temp. final da laminação	Resfriamento após a laminação				
		(°C)	(°C)* parte da flange	YS (RT)	YR	YS (600)	Redução de área SR	VEO-B
				(N/mm ²)	(%)	(N/mm ²)	(%)	(J)
	1	1250	800	335	79	168	33	123
				Resfr. passivo (veloc. De resf. cerca de 0,8 a 1,5°C/s)				
	2	1250	820	349	75	176	35	104
				Resfr. passivo (veloc. De resf. cerca de 0,8 a 1,5°C/s)				
	3	1250	810	342	76	181	32	133
				Resfr. passivo (veloc. De resf. cerca de 0,8 a 1,5°C/s)				
	4	1250	800	325	74	159	53	204
				Resfr. passivo (veloc. De resf. cerca de 0,8 a 1,5°C/s)				
								98

* Os números dos aços dessa tabela correspondem aos números de aço da tabela 2. As mesmas placas foram usadas como material.

Resultado da Avaliação

[0135] Os aços n^{os} 1 a 41 mostrados na tabela 2 e na tabela 3 são aços da invenção, isto é, exemplos de aços resistentes ao fogo com uma temperatura suposta de incêndio de 600°C. Conforme mostrado pelos resultados da medição das propriedades mecânicas mostradas na tabela 3, ficou claro que em todos os aços os valores foram 117N/mm² quando o limite de elasticidade à temperatura ambiente foi 235N/mm² ou mais e também foi 162N/mm² ou mais quando o limite de elasticidade à temperatura ambiente foi 325N/mm² ou mais. As características à alta temperatura foram satisfeitas e tanto o material base quanto a junta de soldagem tiveram valores de 27J ou mais a 0°C, então tornou-se claro que os aços resistentes ao fogo da invenção de n^{os} 1 a 41 tiveram tenacidades que satisfizeram o desempenho necessário.

[0136] Além disso, a tabela 2 mostra valores SRS como indicadores da limitação dos ingredientes químicos para evitar a fragilização por reaquecimento (unidade: % em massa). Como mostrado na tabela 2, os valores SRS são todos valores positivos nos aços da invenção.

[0137] Note que, em relação às condições de resfriamento controlado no momento da produção mostrado na tabela 3, a velocidade média de resfriamento de 800 a 500°C foi descrita como é quando se resfria até abaixo de 500°C enquanto a velocidade média de resfriamento até a temperatura de parada foi descrita quando se interrompeu no meio acima de 500°C. Também, em aços revenidos, foram descritos aquela temperatura e o tempo de manutenção.

[0138] Comparados com os aços resistentes ao fogo da presente invenção os aços conforme explicado acima, aços comparativos dos aços n^{os} 51 a 80 mostrados na tabela 4 e na tabela 5 não satisfazem a composição dos ingredientes químicos ou condições de produção prescritas na presente invenção de alguma forma, então conforme ex-

plicado abaixo, como resultado alguns tipos de características não puderam ser satisfeitos.

[0139] O aço resistente ao fogo nº 51 é um exemplo onde a quantidade de C se tornou excessiva em relação à faixa prescrita da presente invenção, então o limite de elasticidade à alta temperatura excedeu o valor do limite superior de 590N/mm^2 da norma para aços da classe de 600N/mm^2 e também a temperabilidade foi alta, então claras bordas de grãos γ velhos apareceram no aço e a redução de área SR no momento da avaliação da fragilização por reaquecimento tornou-se baixa.

[0140] O aço resistente ao fogo nº 52 é um exemplo onde o C não foi adicionado suficientemente, então na faixa de ingredientes da liga da presente invenção, o limite de elasticidade à temperatura ambiente não pode ser garantido e uma deslocação suficiente não pode ser introduzida na estrutura, então a quantidade dos próprios carbonetos foi também pequena e a quantidade de carbonetos que se precipita nos grãos nas deslocações também cai, e portanto o limite de elasticidade à alta temperatura a 600°C cai. Além disso, o aço nº 52 é um exemplo onde a temperabilidade brusco caiu e simultaneamente a estrutura da HAZ se tornou principalmente ferrita bruta e a tenacidade da HAZ no momento da soldagem com grande entrada de calor de 5 kJ/mm caiu abaixo de 27J .

[0141] O aço resistente ao fogo nº 53 é um exemplo onde a quantidade de adição de Si foi pequena, a desoxidação se tornou insuficiente, grupos de óxidos à base de Mn foram formados, e a tenacidade do material de aço caiu.

[0142] O aço resistente ao fogo nº 54 é um exemplo onde o Mn foi adicionado em excesso e como resultado a temperabilidade brusco tornou-se muito alta, o limite de elasticidade à temperatura ambiente excedeu o valor do limite superior prescrito de 590N/mm^2 , as bordas

dos grãos γ da HAZ apareceram claramente, além disso a quantidade de Mn no material foi alta, então a SRS se tornou negativa, e a redução de área SR no momento da avaliação da resistência à fragilização por reaquecimento caiu abaixo de 15%. Também o aço resistente ao fogo nº 54-2 é um exemplo onde a quantidade de Mn foi menor que 0,80%, isto é, 0,71%, então a temperabilidade brusco foi insuficiente e então os limites de elasticidade (limites de escoamento) à temperatura ambiente e a 600°C tornaram-se insuficientes. Por o outro lado, o aço resistente ao fogo nº 54-3 é um exemplo onde a quantidade de Mn tornou-se maior que 2,0%, isto é, 2,15%, então a resistência nas bordas dos grãos caiu etc. e assim a redução de área SR no momento da avaliação da resistência à fragilização por reaquecimento da junta de soldagem tornou-se menor que 15%, isto é, um valor baixo de 13%.

[0143] O aço resistente ao fogo nº 55 é um exemplo onde a quantidade de adição de Cr tornou-se excessiva, a estrutura veio a incluir uma estrutura martensita, a precipitação de carbonetos aumentou nas bordas claras dos grãos γ no momento da soldagem com grande entrada de calor, e a energia de absorção de impacto Charpy a 0°C na parte da HAZ da junta de soldagem teve um valor baixo de 16J ou abaixo da meta de 27J.

[0144] O aço resistente ao fogo nº 56 é um exemplo onde a quantidade de adição de Cr foi insuficiente e então a temperabilidade brusco caiu, os limites de elasticidade à temperatura ambiente e a 600°C caíram ambos, e também o valor SRS tornou-se negativo, a redução de área SR no momento da avaliação da resistência à fragilização por reaquecimento caiu abaixo de 15%, a estrutura da junta de soldagem tornou-se principalmente ferrita, e a tenacidade no momento da soldagem com grande entrada de calor foi insuficiente. Além disso, o aço resistente ao fogo nº 56-2 é um exemplo onde a quantidade de adição de Cr foi insuficiente e então a temperabilidade brusco caiu, os limites

de elasticidade à temperatura ambiente e a 600°C ambos caíram, e a redução de área SR também caiu abaixo de 15%. Também o aço resistente ao fogo nº 56-3 teve uma quantidade de adição de Cr alta de 2.14% e a energia de absorção de impacto Charpy a 0°C da parte da HAZ da junta de soldagem falhou em alcançar os 27J almejados.

[0145] O aço resistente ao fogo nº 57 é um exemplo onde a quantidade de Nb tornou-se excessiva, o NbC precipitou nas bordas dos grãos da junta de soldagem em uma alta densidade, a redução de área SR no momento da avaliação da resistência à fragilização por reaquecimento caiu abaixo de 15%, a precipitação bruta de NbC também ocorreu nos grãos, e a tenacidade do material base e a tenacidade da HAZ no momento da soldagem com grande entrada de calor caíram. Por outro lado, o aço resistente ao fogo 57-2 é um exemplo onde a quantidade de Nb foi menor que 0,01%, isto é, um valor baixo de 0,004%, então o efeito de melhoria da resistência pela adição de Nb não pode ser suficientemente obtido e os limites de elasticidade à temperatura ambiente e a 600°C falharam em atingir os valores almejados.

[0146] Os aços resistentes ao fogo nºs 58 e 58-2 são exemplos onde a quantidade de V tornou-se excessiva e carbonetos VC brutos foram formados, a redução de área SR no momento da avaliação da resistência à fragilização por reaquecimento caiu abaixo de 15%, a estrutura da junta de soldagem tornou-se principalmente ferrita então a tenacidade no momento da soldagem com grande entrada de calor tornou-se insuficiente, e a tenacidade do material base também caiu. Também o aço resistente ao fogo nº 58-3 é um exemplo onde a quantidade de V foi menor que 0,03%, então o efeito de melhoria do limite de elasticidade à alta temperatura não foi obtido e o limite de elasticidade à alta temperatura de 600°C almejado não pode ser alcançado.

[0147] O aço resistente ao fogo nº 59 é um exemplo onde a quan-

tidade de Mo foi adicionada excessivamente, então o limite de elasticidade à alta temperatura a 600°C foi garantido, nas a redução de área SR no momento da avaliação da resistência à fragilização por reaquecimento da junta de soldagem caiu abaixo de 15%.

[0148] O aço resistente ao fogo nº 60 é um exemplo onde o Ni entrou e a sua quantidade tornou-se excessiva, então apenas as bordas dos grãos caíram no ponto de transformação, a SRS tornou-se negativa, e a redução de área SR no momento da avaliação da resistência à fragilização por reaquecimento da junta de soldagem caiu abaixo de 15%.

[0149] Os aços resistentes ao fogo nºs 61 e 61-2 são exemplos onde quando o Cu foi adicionado, da mesma forma que o Ni, apenas as bordas dos grãos caíram no ponto de transformação e a redução de área SR no momento da avaliação da resistência à fragilização por reaquecimento da junta de soldagem caiu abaixo de 15%.

[0150] O aço resistente ao fogo nº 61-3 é um exemplo onde para diminuir a concentração de oxigênio no aço fundido, ao invés de o Al ser adicionado como elemento desoxidante, o elemento desoxidante Si foi usado apenas para desoxidação, mas a quantidade de formação de AlN tornou-se insuficiente, então a tenacidade do material de aço foi também baixa e a energia de absorção de impacto Charpy a 0°C da parte HAZ falhou em alcançar os 27J almejados. Por outro lado, o aço nº 61-4 teve uma quantidade excessiva de Al, então grupos de óxidos brutos com tamanhos de vários μm ou mais foram formados, a tenacidade do material de aço caiu, e a energia de absorção de impacto Charpy da própria chapa de aço e da parte da HAZ falhou em atingir os almejados 27J.

[0151] O aço resistente ao fogo nº. 61-5 é um exemplo onde devido à mistura de B da sucata, materiais de liga, etc., o teor de B tornou-se um valor excessivo de 0,0004% e a redução de área SR no mo-

mento da avaliação da resistência à fragilização por reaquecimento da junta de soldagem caiu abaixo de 15%.

[0152] O aço resistente ao fogo nº 62 é um exemplo onde a quantidade de N foi excessiva, nitretos brutos foram formados, e a tenacidade do material de aço, a tenacidade no momento da soldagem com grande entrada de calor, e a redução de área SR no momento da avaliação da resistência à fragilização por reaquecimento da junta de soldagem caíram todas.

[0153] O aço resistente ao calor nº 63 é um exemplo onde quando B foi adicionado, uma grande quantidade de BN foi precipitada nas bordas dos grãos da zona afetada pelo calor da junta de soldagem e a redução de área SR no momento da avaliação da resistência à fragilização por reaquecimento da junta de foi menor que 15%.

[0154] O ao resistente ao fogo nº 64 é um exemplo onde a quantidade de O foi alta, então grupos de óxidos foram formados e a tenacidade do material de aço e a tenacidade da HAZ caíram no momento da soldagem com grande entrada de calor.

[0155] O aço resistente ao fogo nº 65 é um exemplo onde o teor de P foi alto, enquanto o aço resistente ao fogo nº 66 é um exemplo onde o teor de S foi alto. Em ambos os casos, a tenacidade do material de aço e a redução de área SR no momento da avaliação da resistência à fragilização por reaquecimento da junta de soldagem foi menor que 15%.

[0156] O aço resistente ao fogo nº 67 é um exemplo onde a quantidade de adição de Ti foi muito grande e a tenacidade do material de aço, a tenacidade no momento da soldagem com grande entrada de calor, e a redução de área SR no momento da avaliação da resistência à fragilização por reaquecimento da junta de soldagem caíram todas.

[0157] O aço resistente ao fogo nº 68 é um exemplo onde a quantidade de adição de Zr foi muito grande, os carbonetos de Zr precipita-

ram bruta e em grandes quantidades, e a tenacidade do material de aço, a tenacidade no momento da soldagem com grande entrada de calor e a redução de área SR no momento da avaliação da resistência à fragilização por reaquecimento da junta de soldagem caíram todas.

[0158] O aço resistente ao fogo nº 69 é um exemplo onde a quantidade de adição de Ca foi excessiva, o aço resistente ao fogo nº 70 é um exemplo onde a quantidade de adição de Mg foi excessiva, o aço resistente ao fogo nº 71 é um exemplo onde a quantidade de adição de Y foi excessiva, o aço resistente ao fogo nº 72 é um exemplo onde a quantidade de adição de Ce foi excessiva, e o aço resistente ao fogo nº 73 é um exemplo onde a quantidade de adição de La foi excessiva. Todos são exemplos onde grupos de óxidos foram formados e a tenacidade do material de aço e a tenacidade da HAZ no momento da soldagem com grande entrada de calor caíram. Note que, no aço nº 70, devido à adição de Mg, o refino dos grãos da estrutura da HAZ devido à dispersão de óxidos foi vista e a tenacidade da HAZ com grande entrada de calor não pode ser obtida.

[0159] O aço resistente ao fogo nº 74 é um exemplo onde os ingredientes químicos foram estavam todos nas faixas prescritas da presente invenção, mas o valor SRS tornou-se negativo, então a redução de área SR no momento da avaliação da resistência à fragilização por reaquecimento caiu abaixo de 15%.

[0160] O aço resistente ao fogo nº 75 é um exemplo onde a temperatura de aquecimento antes da laminação foi muito alta, os grãos de cristal se tornaram embrutecidos, e a tenacidade do material de aço caiu.

[0161] O aço resistente ao fogo nº 76 é um exemplo onde a temperatura de término da laminação caiu, os ingredientes químicos satisfizeram o aço da presente invenção, mas o resfriamento foi insuficiente

e a densidade de deslocação na estrutura do material base se tornou baixa, e os limites de elasticidade almejados à temperatura ambiente e a 600°C não puderam ser alcançados estavelmente. No te que, como método de medição da densidade de deslocação nos exemplos, foi usado o "método de avaliação do pico de difração de raio-x a meia largura".

[0162] O aço resistente ao fogo nº 77 é um exemplo onde a taxa de densidade de água caiu no momento do resfriamento após o final da laminação, a velocidade de resfriamento caiu, a temperabilidade aparente caiu, e o limite de elasticidade à temperatura ambiente e a 600°C não puderam ser estavelmente alcançadas.

[0163] O aço resistente ao fogo nº 78 é um exemplo onde a temperatura de parada do resfriamento a água foi ajustada muito alta, os ingredientes químicos estavam na faixa dos aços da invenção, mas os limites de elasticidade à temperatura ambiente e à alta temperatura de 600°C almejados não puderam ser estavelmente alcançados.

[0164] O aço resistente ao fogo nº 79 é um exemplo onde a temperatura de revenimento foi muito alta, então a temperatura do tratamento térmico excedeu o ponto de transformação Ac1 (cerca de 740°C) resultando em uma região de duas fases, reciprocamente a estrutura resfriada bruscamente e a estrutura revenida se misturaram, e o limite de elasticidade à temperatura ambiente excedeu o valor do limite superior definido.

[0165] O aço resistente ao fogo nº 80 é um exemplo onde o tempo de resfriamento brusco foi muito longo e como resultado a densidade de deslocação da estrutura caiu notavelmente e os limites de elasticidade à temperatura ambiente e a 600°C almejados não puderam ser estavelmente obtidos.

[0166] Devido aos exemplos explicados acima, fica claro que o aço resistente ao fogo da presente invenção foi superior em tenacida-

de e resistência à alta temperatura e foi superior em resistência à fragilização por reaquecimento da junta de soldagem.

Aplicabilidade Industrial

[0167] De acordo com a presente invenção, o fornecimento de um aço resistente ao fogo para uso em construções superior em tenacidade e superior em resistência à fragilização por reaquecimento da junta de soldagem se torna possível, então a aplicabilidade industrial é grande.

REIVINDICAÇÕES

1. Aço resistente ao fogo apresentando resistência à fragilização por reaquecimento das juntas de soldagem e tenacidade e uma resistência à temperatura ambiente da classe de 400 a 600N/mm², caracterizado pelo fato de que o aço resistente ao fogo consiste de, em % em massa,

C: 0,010% a menos de 0,05%,

Si: 0,01 a 0,50%,

Mn: 0,80 a 2,00%,

Cr: 0,50% a menos de 2,00%,

V: 0,03 a 0,30%,

Nb: 0,01 a 0,10%,

N: 0,001 a 0,010%, e

Al: 0,005 a 0,10%,

limitando-se os teores de Ni, Cu, Mo, e B a

Ni: menos de 0,10%,

Cu: menos de 0,10%,

Mo: 0,10% ou menos, e

B: menos de 0,0003%,

também limitando os teores de ingredientes impurezas de

P, S, e O para

P: menos de 0,020%,

S: menos de 0,050%, e

O: menos de 0,010%,

um saldo de ferro e as inevitáveis impurezas, onde

Cr, Mo, Ni, Cu, e Mn satisfazem a fórmula (1) a seguir:

$$4\text{Cr}[\%]-5\text{Mo}[\%]-10\text{Ni}[\%]-2\text{Cu}[\%]-\text{Mn}[\%]>0 \quad (1)$$

onde, na fórmula (1), as unidades das concentrações dos elementos são % em massa,

onde a densidade de deslocamento em uma fase de ferrite

do referido material de aço é $10^{10}/\text{m}^2$ ou mais, a referida estrutura de material de aço tem uma ocupação de bainita ou martensita em uma estrutura vista sob um microscópio óptico de 20% ou mais e é compreendida em uma estrutura temperada, e no referido material de aço, os carbonetos ou nitretos compreendendo um ou mais de Nb, V, Cr, Ti e Zr são precipitados por uma densidade de $2/\mu\text{m}^2$ ou superior.

2. Aço resistente ao fogo apresentando resistência à fragilização por reaquecimento das juntas de soldagem e tenacidade, e uma resistência à temperatura ambiente da classe de 400 a $600\text{N}/\text{mm}^2$, caracterizado pelo fato de que o aço resistente ao fogo consiste de, em % em massa,

C: 0,010% a menos de 0,05%,

Si: 0,01 a 0,50%,

Mn: 0,80 a 2,00%,

Cr: 0,50% a menos de 2,00%,

V: 0,03 a 0,30%,

Nb: 0,01 a 0,10%,

N: 0,001 a 0,010%, e

Al: 0,005 a 0,10%,

limitando-se os teores de Ni, Cu, Mo, e B a

Ni: menos de 0,10%,

Cu: menos de 0,10%,

Mo: 0,10% ou menos, e

B: menos de 0,0003%,

também limitando os teores de ingredientes impurezas de

P, S, e O para

P: menos de 0,020%,

S: menos de 0,050%, e

O: menos de 0,010%,

um ou ambos entre Ti: acima de 0,005% a menos de

0,050% e Zr: 0,002 a 0,010%, e

um saldo de ferro e inevitáveis impurezas,

onde Cr, Mo, Ni, Cu, e Mn satisfazem a fórmula (1) a seguir:

$$4\text{Cr}[\%]-5\text{Mo}[\%]-10\text{Ni}[\%]-2\text{Cu}[\%]-\text{Mn}[\%]>0 \quad (1)$$

onde, na fórmula (1), as unidades das concentrações dos elementos são % em massa,

onde a densidade de deslocamento em uma fase de ferrite do referido material de aço é $10^{10}/\text{m}^2$ ou mais, a referida estrutura de material de aço tem uma ocupação de bainita ou martensita em uma estrutura vista sob um microscópio óptico de 20% ou mais e é compreendida em uma estrutura temperada, e no referido material de aço, os carbonetos ou nitretos compreendendo um ou mais de Nb, V, Cr, Ti e Zr são precipitados por uma densidade de $2/\mu\text{m}^2$ ou superior.

3. Aço resistente ao fogo apresentando resistência à fragilização por reaquecimento das juntas de soldagem e tenacidade, e uma resistência à temperatura ambiente da classe de 400 a $600\text{N}/\text{mm}^2$, caracterizado pelo fato de que o aço resistente ao fogo consiste de, em % em massa,

C: 0,010% a menos de 0,05%,

Si: 0,01 a 0,50%,

Mn: 0,80 a 2,00%,

Cr: 0,50% a menos de 2,00%,

V: 0,03 a 0,30%,

Nb: 0,01 a 0,10%,

N: 0,001 a 0,010%, e

Al: 0,005 a 0,10%,

limitando-se os teores de Ni, Cu, Mo, e B a

Ni: menos de 0,10%,

Cu: menos de 0,10%,

Mo: 0,10% ou menos, e
 B: menos de 0,0003%,
 também limitando os teores de ingredientes impurezas de
 P, S, e O para

P: menos de 0,020%,

S: menos de 0,050%, e

O: menos de 0,010%,

um ou mais entre,

Mg: 0,0005 a 0,005%,

Ca: 0,0005 a 0,005%,

Y: 0,001 a 0,050%,

La: 0,001 a 0,050%, e

Ce: 0,001 a 0,050%,

um saldo de ferro e inevitáveis impurezas,

onde Cr, Mo, Ni, Cu, e Mn satisfazem a fórmula (1) a seguir:

$$4\text{Cr}[\%]-5\text{Mo}[\%]-10\text{Ni}[\%]-2\text{Cu}[\%]-\text{Mn}[\%]>0 \quad (1)$$

onde, na fórmula (1), as unidades das concentrações dos elementos são % em massa,

onde a densidade de deslocamento em uma fase de ferrite do referido material de aço é $10^{10}/\text{m}^2$ ou mais, a referida estrutura de material de aço tem uma ocupação de bainita ou martensita em uma estrutura vista sob um microscópio óptico de 20% ou mais e é compreendida em uma estrutura temperada, e no referido material de aço, os carbonetos ou nitretos compreendendo um ou mais de Nb, V, Cr, Ti e Zr são precipitados por uma densidade de $2/\mu\text{m}^2$ ou superior.

4. Método de produção de um aço resistente ao fogo apresentando resistência à fragilização por reaquecimento e tenacidade, caracterizado pelo fato de que compreende o aquecimento de uma placa de aço tendo ingredientes de aço como definido na reivindicação

1 ou 2, até uma temperatura de 1.150 a 1.300°C, e então trabalhando a quente ou laminando a quente o mesmo a uma temperatura de 800°C ou maior, após isto, resfriando aceleradamente até uma temperatura de 500°C de forma que a velocidade de resfriamento das diferentes partes do mencionado material de aço se torna 2°C/s ou mais, interrompendo o mencionado resfriamento acelerado na região de temperatura onde a temperatura da superfície do mencionado material de aço se torne 350 a 600°C, e, após isto, resfriar passivamente o material.

5. Método de produção de aço resistente ao fogo apresentando resistência à fragilização por reaquecimento e tenacidade, caracterizado pelo fato de que compreende o aquecimento de uma laca de aço tendo ingredientes de aço como definido em qualquer uma das reivindicações 1 a 3, até uma temperatura de 1.150 a 1.300°C, e então trabalhando a quente ou laminando a quente o mesmo, encerrando o mencionado trabalho a quente ou a mencionada laminação a quente a uma temperatura de 800°C ou maior, após isto resfriando-se aceleradamente até uma temperatura de 500°C de forma que a velocidade de resfriamento das diferentes partes do mencionado material de aço se torna 2°C/s ou mais, interrompendo o mencionado resfriamento acelerado na região onde a temperatura da superfície do mencionado material de aço se torna 100°C à temperatura ambiente, e, após isto, resfriando passivamente o material para assim obter uma estrutura resfriada onde, na mencionada estrutura do material de aço, uma ocupação de bainita ou martensita na estrutura vista sob um microscópio ótico se torna 20% ou mais.

6. Método de produção de aço resistente ao fogo apresentando resistência à fragilização por reaquecimento e tenacidade, caracterizado pelo fato de que compreende a aplicação do método de produção como definido na reivindicação 4, e então revenindo-se o

mencionado material de aço em uma faixa de temperatura de 400°C a 750°C por um tempo de 5 minutos a 360 minutos de modo a fazer carbonetos ou nitretos compreendidos de um ou mais elementos entre Nb, V, Cr, Ti, e Zr precipitados no mencionado material de aço por uma densidade de $2/\mu\text{m}^2$ ou maior.

Fig.1

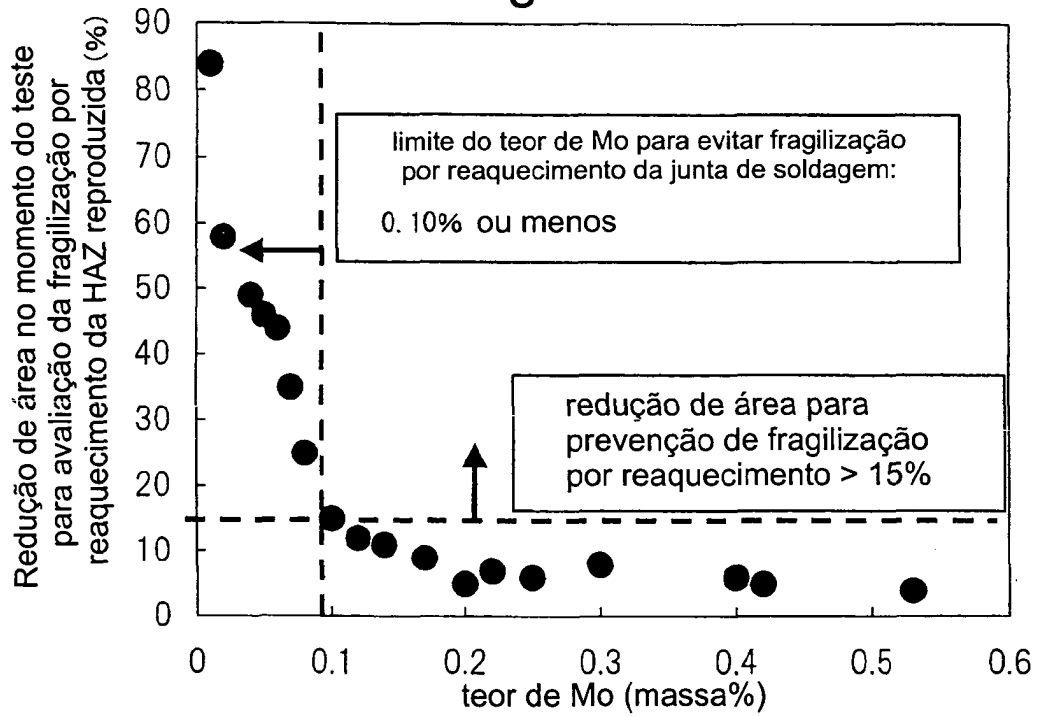


Fig.2

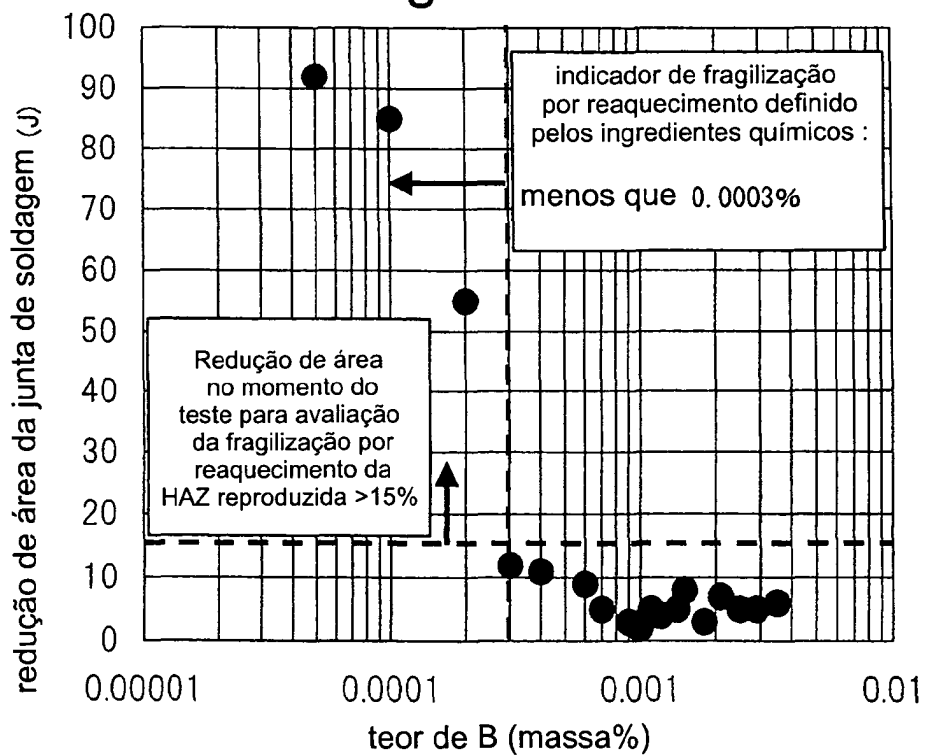


Fig.3

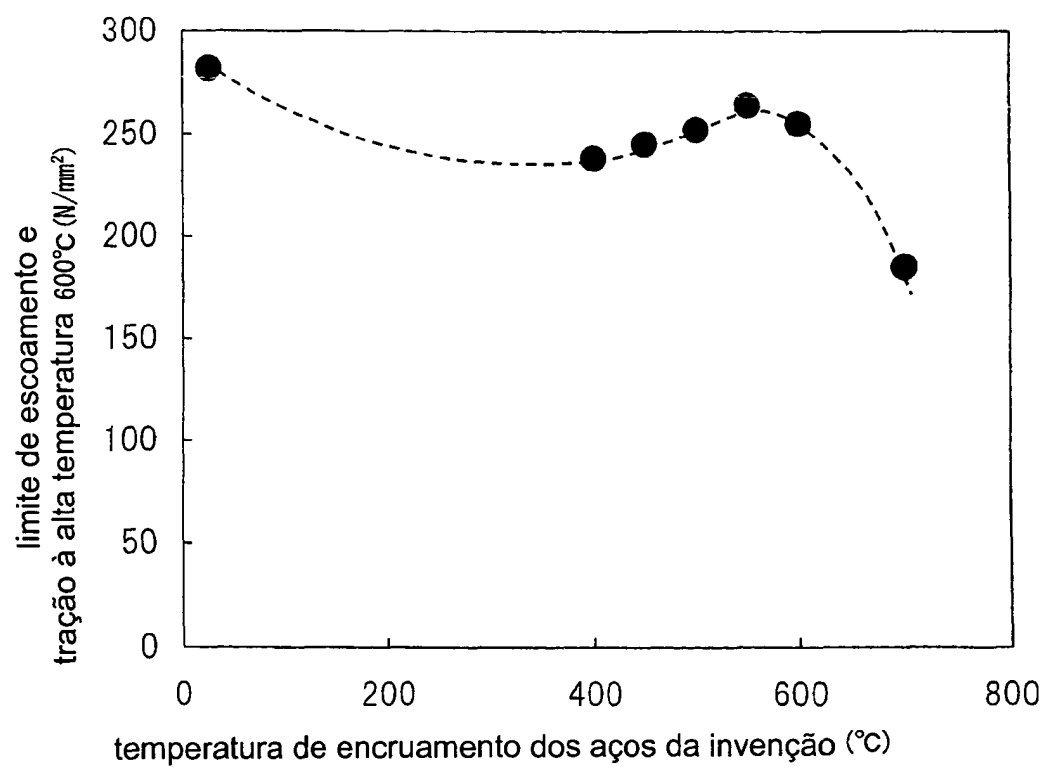


Fig.4

