



República Federativa do Brasil
Ministério da Economia
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) PI 0901011-4 B1



(22) Data do Depósito: 15/01/2009

(45) Data de Concessão: 10/09/2019

(54) Título: AÇO PARA ESTRUTURAS SOLDADAS E MÉTODO DE PRODUÇÃO DO MESMO

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

(73) Titular(es): NIPPON STEEL CORPORATION.

(72) Inventor(es): YOSHIYUKI WATANABE; RYUJI UEMORI.

(86) Pedido PCT: PCT JP2009050906 de 15/01/2009

(87) Publicação PCT: WO 2010/082361 de 22/07/2010

(85) Data do Início da Fase Nacional: 13/08/2009

(57) Resumo: AÇO PARA ESTRUTURAS SOLDADAS EXCELENTE EM RESISTÊNCIA À ALTA TEMPERATURA E TENACIDADE À BAIXA TEMPERATURA E MÉTODO DE PRODUÇÃO DO MESMO A presente invenção refere-se ao aquecimento de um material compreendendo C: 0,003 a 0,05%, Si: 0,60% ou menos, Mn: 0,6 a 2,0%, P: 0,020% ou menos, S: 0,010% ou menos, Cr: 0,20 a 1,5%, Nb: 0,005 a 0,05%, Al: 0,060% ou menos, e N: 0,001 a 0,006%, também limitando, como uma impureza, Mo a 0,03% ou menos, tendo um saldo de ferro e as inevitáveis impurezas, e tendo um valor de parâmetro de fratura da solda PcM definido por $PcM = C + Si/30 + Mn/20 + Cu/20 + Ni/60 + Cr/20 + Mo/15 + V/10 + 58$ de 0,22% ou menos, a 1000 até 1300°C de temperatura, terminando a laminação a quente a 800°C ou mais de temperatura, e então resfriando-se o mesmo, um aço para estruturas soldadas excelente em resistência à alta temperatura e tenacidade à baixa temperatura pode ser fornecido de forma econômica.

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "AÇO PARA ESTRUTURAS SOLDADAS E MÉTODO DE PRODUÇÃO DO MESMO".

CAMPO TÉCNICO

[001] A presente invenção refere-se principalmente a um aço resistente ao fogo para estruturas de construções dirigidas à manutenção da prova de resistência no momento de incêndios e outras condições de alta temperatura, mas que não seja limitado a aplicações em construções e possa ser também aplicado em aços para estruturas soldadas para estruturas em alto mar, navios, pontes, vários tanques de armazenagem, e uma ampla faixa de outras aplicações. Nota-se que o nível de resistência da chapa de aço principalmente coberta é um limite de elasticidade de 400 a 640 MPa, isto é, as classes geralmente chamadas de aços "40 kg" e "50 kg".

TÉCNICA ANTERIOR

[002] O assim chamado "aço resistente ao fogo" está descrito na Publicação da Patente Japonesa (A) Nº 2-77523 e numerosas outras aplicações. Entretanto, quase todos contêm Mo. É verdade que o Mo é um elemento extremamente eficaz para garantir a prova de resistência à alta temperatura do aço, mas ao mesmo tempo é um elemento caro.

[003] A esse respeito, um aço para estruturas gerais para os quais os padrões estão ajustados pela Japan Industrial Standard (JIS) etc. perdem em resistência a partir de 350°C, então a temperatura permissível é de cerca de 350°C. Isto é, quando se usa tal material de aço para edifícios, escritórios, casas, estruturas de estacionamentos de vários andares, e outras estruturas, para garantir segurança num momento de um incêndio é obrigatório aplicar um revestimento suficientemente resistente ao fogo. As leis japonesas para construções estipulam que no momento de um incêndio, a temperatura dos materiais de aço não atinja 350°C ou mais. Isto é porque, com tais

materiais de aço, a 350°C ou algo assim, a prova de resistência torna-se cerca de 2/3 daquela da temperatura comum ou cai abaixo da resistência requisitada. Por esta razão, quando se utiliza um material de aço em geral para uma estrutura, é necessário aplicar um revestimento resistente ao fogo de forma que a temperatura do material de aço não alcance 350°C.

[004] Para eliminar ou reduzir esse revestimento resistente ao fogo, um aço resistente ao fogo aprimorado em prova de resistência em testes de tração à alta temperatura de 600°C etc. (abaixo, quando não particularmente indicado claramente, uma "alta temperatura" indica 600°C e uma "resistência à alta temperatura" indica uma prova de resistência à alta temperatura) está entrando em uso.

[005] Em geral, o aço resistente ao fogo tem Mo adicionado a ele com o propósito de manter a resistência à alta temperatura. Entretanto, o mercado para Mo flutua grandemente. Embora também dependendo da quantidade de adição, em muitos casos resulta em um maior custo em comparação com o custo do revestimento resistente ao fogo. Por esta razão, o desenvolvimento e a comercialização de aços baratos resistentes ao fogo aos quais o Mo não é adicionado foram esperados.

[006] A presente invenção tem como seu objetivo obter um aço para estruturas soldadas excelente em resistência a altas temperaturas sem a adição do caro Mo e também excelente em tenacidade à baixa temperatura – uma das performances básicas dos materiais de aço. Para esse propósito, limitando-se as composições do aço até uma faixa específica e também limitando o método de produção, é fornecido um método capaz de fornecer aço resistente ao fogo – excelente em resistência à alta temperatura, suprimida no parâmetro de fratura na solda, e garantindo a tenacidade à baixa temperatura – industrialmente estável e também a baixo custo.

[007] De acordo com a presente invenção, o aço para estruturas

soldadas tendo prova de resistência suficiente mesmo no momento de um incêndio ou outro ambiente exposto a alta temperatura pode ser fornecido em grandes quantidades de forma econômica, então isso pode contribuir para a melhoria da segurança de estruturas de aço soldadas para uma ampla faixa de aplicações.

[008] O ponto da presente invenção é que para garantir estavelmente uma resistência a alta temperatura a 600°C, ao invés do Mo caro, uma quantidade relativamente pequena de C e a coadição de Cr e Nb são usadas para reforço da transformação e reforço da precipitação usando precipitados de Cr ou Nb (carbonitretos).

[009] Isto é, os inventores descobriram que pela adição e inclusão de uma quantidade adequada de Cr em uma composição isenta de Mo, a capacidade de endurecimento do aço é melhorada, a temperatura de transformação cai, e a estrutura dura incluindo cementita torna-se bainítica.

[0010] Devido a isso, as resistências à temperatura comum e à alta temperatura aumentam e a matriz é transformada a uma temperatura relativamente baixa resultando em uma estrutura bainítica fina. Por causa disso, os inventores descobriram que no momento de uma alta temperatura, carbonitretos de Cr e Nb sozinhos ou juntos resultantes da adição de Cr e de Nb se precipitam extremamente finamente na matriz e a resistência à alta temperatura pode ser garantida e mantida a um alto nível e, portanto, alcançou a presente invenção.

[0011] Da forma acima, aço resistente ao fogo não contendo Mo é por si mesmo extremamente memorável. Ao mesmo tempo, uma vez que nenhum Mo com sua alta capacidade de endurecimento está contido, isto leva naturalmente à melhoria da performance básica do aço para estruturas soldadas (resistência e tenacidade) e também reciprocamente também da performance de capacidade de soldagem

e de corte de gás.

[0012] A presente invenção define as quantidades não apenas de Cr e Nb, mas também elementos individuais tais como C, Si e Mn e o parâmetro de fratura na solda P_{CM} e também limita as condições de produção de modo a não apenas alcançar tanto excelente resistência à alta temperatura sem usar o caro Mo, mas também garante várias performances de uso para aço para estruturas soldadas. Sua essência é a seguinte:

(1) um método de produção de aço para estruturas soldadas excelente em resistência à alta temperatura e tenacidade à baixa temperatura caracterizado por compreender o aquecimento de um material de aço compreendendo, em % em massa,

C: 0,003 a 0,05%,

Si: 0,60% ou menos,

Mn: 0,6 a 2,0%,

P: 0,020% ou menos,

S: 0,010% ou menos,

Cr: 0,20 a 1,5%,

Nb: 0,005 a 0,05%,

Al: 0,060% ou menos, e

N: 0,001 a 0,006%,

também limitando, como uma impureza, Mo a 0,03% ou menos, tendo um saldo de ferro e as inevitáveis impurezas, e tendo um valor do parâmetro de fratura na solda P_{cm} definido por

$$P_{CM} = C + Si/30 + Mn/20 + Cu/20 + Ni/60 + Cr/20 + Mo/15 + V/10 + 5B$$

de 0,22% ou menos, a 1000 até 1300°C de temperatura, temperatura de acabamento da laminação de 800°C ou mais, e então o resfriando-se.

(2) Um método de produção de aço para estruturas soldadas excelente em resistência à altas temperaturas e tenacidade à

baixa temperatura de acordo com na reivindicação 1, caracterizado por, após o término da mencionada laminação a quente, iniciar o resfriamento acelerado a partir de 750°C ou mais de temperatura, e interrompendo o resfriamento acelerado a 550°C ou menos.

(3) Um método de produção de aço para estruturas soldadas excelente em resistência à alta temperatura e tenacidade à baixa temperatura de acordo com no item (1) ou (2) caracterizado por também conter, em % em massa, um ou ambos entre

V: 0,01 a 0,10% e

Ti: 0,005 a 0,025%.

(4) Um método de produção de aço para estruturas soldadas excelente em resistência à alta temperatura e tenacidade à baixa temperatura de acordo com em qualquer um dos itens (1) a (3), caracterizado por também conter, em % em massa, um ou mais entre

Ni: 0,05 a 0,50%,

Cu: 0,05 a 0,50%,

B: 0,0002 a 0,003%, e

Mg: 0,0002 a 0,005%.

(5) Um método de produção de aço para estruturas soldadas excelente em resistência a alta temperatura e tenacidade a baixa temperatura de acordo com em qualquer um dos itens (1) a (4), caracterizado por também conter, em % em massa, um elemento de

Ca: 0,0005 a 0,004% e

Terras Raras: 0,0005 a 0,008%.

(6) Um aço para estruturas soldadas excelente em resistência à alta temperatura e tenacidade à baixa temperatura caracterizado por ser obtido por aquecimento de um material de aço compreendendo, em % e massa,

C: 0,003 a 0,05%,

Si: 0,60% ou menos,

Mn: 0,6 a 2,0%,
 P: 0,020% ou menos,
 S: 0,010% ou menos,
 Cr: 0,20 a 1,5%,
 Nb: 0,005 a 0,05%,
 Al: 0,060% ou menos, e
 N: 0,001 a 0,006%,

também limitando, como uma impureza, Mo a 0,03% ou menos, tendo um saldo de ferro e as inevitáveis impurezas, e tendo um parâmetro de fratura da solda P_{CM} definido por

$$P_{CM} = C + Si/30 + Mn/20 + Cu/20 + Ni/60 + Cr/20 + Mo/15 + V/10 + 5B$$

de 0.22% ou menos, a 1000 até 1300°C de temperatura, temperatura de laminação de acabamento de 800°C ou mais, e então resfriando-se.

MELHOR FORMA DE EXECUÇÃO DA INVENÇÃO

[0013] Serão inicialmente explicadas as faixas de adição dos diferentes elementos de ligação definidos na presente invenção.

C: 0,003 a 0,05%

[0014] C é limitado a um nível extremamente baixo em aço de alta resistência. Isto está intimamente relacionado aos outros elementos e ao método de produção. Mesmo entre composições de aço, o C tem o maior efeito nas propriedades de um material de aço. Um limite inferior de 0,003% é o menor valor para garantir a resistência e evitar que a solda e outras zonas afetadas pelo calor amoleçam mais que o necessário.

[0015] Se a quantidade de C for muito grande, a capacidade de endurecimento aumenta mais que o necessário e o equilíbrio entre resistência e tenacidade do material de aço, a capacidade de soldagem, etc. são afetadas adversamente. Além disso, conforme explicado mais tarde, dependendo da espessura de chapa e da

resistência almejadas, o resfriamento acelerado é interrompido a uma temperatura relativamente baixa em alguns casos. Para suprimir o endurecimento excessivo próximo às superfícies superior e inferior do material de aço nesse momento de flutuação das propriedades na direção da espessura da chapa, o limite superior foi feito 0,05%.

[0016] A partir das flutuações na operação e no equilíbrio com os outros elementos, para evitar uma queda na resistência, o limite inferior é preferivelmente feito 0,005%, mais preferivelmente 0,01%. Além disso, para evitar um endurecimento excessivo pelo resfriamento acelerado e flutuações na propriedade, o limite superior é preferivelmente feito 0,04%, mais preferivelmente 0,03%.

Si: 0,60% ou menos

[0017] Si é um elemento incluído no aço para desoxidação, mas se adicionado excessivamente, a capacidade de soldagem e a tenacidade da HAZ se deterioram, então o limite superior foi feito 0,60%. O aço pode ser também desoxidado por Ti e Al, então o teor pode ser determinado pelo equilíbrio com esses elementos. Entretanto, do ponto de vista da tenacidade da HAZ, a capacidade de endurecimento, etc., quanto menor, melhor. Nenhuma adição é também possível. Por esta razão, o limite superior pode ser limitado a 0,40%, 0,20% ou 0,10%. Nota-se que, quando a usina de produção de aço produz o aço, mesmo quando usa Ti e Al para desoxidação sem a adição de Si, 0,01% ou mais de Si são geralmente incluídos.

Mn: 0,6 a 2,0%

[0018] Mn é um elemento essencial para garantir a resistência e a tenacidade à temperatura ambiente. O limite inferior é 0,6%. Preferivelmente, o teor é 0,8% ou mais ou 1,0% ou mais. Entretanto, se a quantidade de Mn for muito grande, a capacidade de endurecimento aumenta e a capacidade de soldagem e a tenacidade da HAZ são degradadas. Não apenas isso, mas também a segregação

central na placa lingotada continuamente é aumentada, então o limite superior foi feito 2,0%. Preferivelmente, o teor foi feito 1,8% ou menos, mais preferivelmente 1,6% ou menos ou 1,4% ou menos.

P: 0,020% ou menos

[0019] P, se em pouca quantidade, tende a reduzir as fraturas intragranulares na HAZ, então quanto menor, melhor. Se o teor for grande, ele degrada a tenacidade à baixa temperatura do material base e da zona de soldagem, então o limite superior é feito 0,020%. 0,015% ou menos, 0,010% ou menos, ou 0,008% ou menos são mais preferíveis. Naturalmente, adição zero também é possível.

S: 0,010% ou menos

[0020] S é preferivelmente contido em pequena quantidade do ponto de vista da tenacidade à baixa temperatura do material base. Se o teor for grande, a tenacidade à baixa temperatura do material base e da zona de soldagem é degradada, então o limite superior é feito 0,010%. 0,008% ou menos, 0,006%, ou 0,004% é mais preferível. Naturalmente, adição zero é também possível.

Cr: 0,20 a 1,5%

[0021] Cr é um dos elementos mais importantes na presente invenção. Para garantir a resistência à alta temperatura, juntamente com Nb, a adição de Cr é essencial. Isto é porque devido ao efeito de melhoria da capacidade de endurecimento pelo Cr, a temperatura de transformação cai e a estrutura dura contendo cementita torna-se bainítica, então as resistências à temperatura ambiente e à alta temperatura são aumentadas e além disso, devido ao tempo de alta temperatura, é utilizado o reforço da precipitação por precipitados de Cr (carbonitretos).

[0022] Para obter esses efeitos, o teor de Cr tem que ser um mínimo de 0,20%. Preferivelmente, é 0,35% ou mais. 0,50% ou mais ou 0,8% ou 1,0% ou mais é mais preferível. Entretanto, se a

quantidade de adição for muito grande, a deterioração da tenacidade e da capacidade de soldagem do material base e da zona de soldagem é provocada e a economia é também perdida, então o limite superior foi feito 1,5%. Preferivelmente, pode ser 1,3% ou menos.

Nb: 0,005 a 0,05%

[0023] Nb, juntamente com o Cr, é o elemento mais importante na presente invenção. Da mesma forma que o Cr, isto é porque o reforço da precipitação pelos precipitados (carbonitretos) de Nb é utilizado para garantir a resistência à alta temperatura.

[0024] Por esta razão, pelo menos 0,005% é necessário. Preferivelmente, a quantidade de adição é 0,010% ou mais. Entretanto, se a quantidade de adição for muito grande, isto causa deterioração na tenacidade da zona de soldagem, então o limite superior foi feito 0,05%. Preferivelmente, a quantidade de adição é 0,045% ou menos, mais preferivelmente 0,030% ou menos. Nota-se que a adição de Nb também contribui para aumentar a temperatura de não-recristalização da austenita e trazer o efeito da laminação controlada no momento da laminação a quente ao seu maior nível.

[0025] Devido à adição de Cr e Nb acima, é possível garantir a resistência à alta temperatura mesmo sob condições de isenção de Mo. Portanto, na presente invenção, o Mo não é adicionado intencionalmente. Além disso, mesmo quando o MO é misturado não intencionalmente como uma impureza, ele é restrito a 0,03% ou menos.

Al: 0,060% ou menos

[0026] Al é um elemento geralmente incluído no aço para desoxidação. A desoxidação é também executada pelo Si e pelo Ti, então a quantidade deve ser determinada pelo equilíbrio com esses elementos. Entretanto, se a quantidade de Al tornar-se grande, não apenas a limpeza do aço se tornará mais pobre, mas também a

tenacidade do metal da solda deteriorará, então o limite superior é feito 0,060%. Preferivelmente, ele deve ser 0,040% ou menos. Quanto menor a quantidade, melhor. Adição zero também é possível. Nota-se que quando uma usina de produção de aço produz aço, mesmo quando não usa Al para desoxidação, 0,001% ou mais de Al são geralmente incluídos.

N: 0,001 a 0,006%

[0027] N é incluído no aço como uma impureza inevitável, mas aglutina com Nb para formar carbonitretos para aumentar a resistência. Além disso, ele forma TiN para aumentar as propriedades do aço conforme explicado acima. Por esta razão, como quantidade de N, um mínimo de 0,001% é necessário. Preferivelmente, a quantidade pode ser 0,0015% ou mais. Entretanto, a adição de uma quantidade de N é prejudicial à tenacidade da zona afetada pelo calor da solda e à capacidade de soldagem. No aço da presente invenção, o limite superior é 0,006%. Mais preferivelmente ele pode ser 0,0045% ou menos.

[0028] A seguir serão explicadas as razões para adição de V e Ti que podem ser incluídos de acordo com a necessidade.

V: 0,01 a 0,10%

[0029] V tem substancialmente os mesmos efeitos que o Nb. O papel do V na presente invenção é complementar o Nb. Entretanto, o V tem um menor efeito que o Nb e tem também um efeito sobre a capacidade de endurecimento, então os limites superior e inferior foram ajustados. O limite inferior foi feito 0,01% como a menor quantidade na qual o efeito da adição de V pode ser obtida confiavelmente. Preferivelmente, o limite inferior pode ser 0,025% ou mais. O limite superior foi feito 0,10% considerando também os efeitos no parâmetro de fratura na solda P_{CM} explicados mais tarde. Preferivelmente, o limite superior é 0,08% ou menos, mais

preferivelmente 0,05% ou menos.

Ti: 0,005 a 0,025%

[0030] Ti é preferivelmente adicionado para melhorar a tenacidade do material base e da zona afetada pelo calor da solda. A razão para isto é que o Ti, quando a quantidade de Al é pequena (por exemplo, 0,003% ou menos), se aglutina com o O para formar precipitados compreendidos principalmente de Ti_2O_3 . Esses se tornam núcleos para formação de ferrita intragranular e melhorar a tenacidade da zona afetada pelo calor da solda.

[0031] Além disso, o Ti se aglutina com o N para formar TiN que se precipita finamente no material de aço e é eficaz para suprimir o embrutecimento dos grãos γ no momento do aquecimento e do refino da estrutura laminada. Além disso, o TiN fino presente em um material de aço refina a estrutura da zona afetada pelo calor da solda e melhora a tenacidade. Para obter esses efeitos, o Ti tem que estar em um mínimo de 0,005%. Entretanto, se seu teor for muito grande ele forma TiC, o que degrada a tenacidade à baixa temperatura e a capacidade de soldagem, então o limite superior foi feito 0,025%. Preferivelmente ele é 0,020% ou menos.

[0032] A seguir, serão explicadas as razões para adição de Ni, Cu, B, e Mg.

[0033] O propósito principal para também adicionar esses elementos às composições básicas é melhorar a resistência, a tenacidade, e outras propriedades sem detratar as excelentes características dos aços da invenção. Portanto, as quantidades de adição devem, por natureza, ser restritas.

Ni: 0,05 a 0,50%

[0034] Ni, se não for adicionado em excesso, melhora a resistência e a tenacidade do material base sem ter um efeito prejudicial na capacidade de soldagem. Para apresentar esses efeitos,

a adição de pelo menos 0,05% é essencial.

[0035] Por outro lado, uma adição excessiva não é cara, mas também não é preferível para a capacidade de soldagem. Além disso, se se adicionar uma grande quantidade de Ni, foi apontada a possibilidade de induzir fratura por corrosão por estresse (SCC) em amônia líquida. De acordo com experiências dos inventores, a adição de até 1,0% não degrada grandemente a capacidade de soldagem ou SCC na amônia líquida e tem ao contrário um grande efeito em melhorar a resistência e a tenacidade, mas dando prioridade à economia, o limite superior foi feito 0,50%. Além disso, quando se dá prioridade à economia, o limite superior pode também ser ajustado em 0,35%.

Cu: 0,05 a 0,50%

[0036] Cu apresenta substancialmente os mesmos efeitos e fenômenos que o Ni. O limite superior de 0,50% é ajustado uma vez que, em adição à deterioração da capacidade de soldagem, a adição excessiva resulta em fraturas de Cu no momento da laminação a quente e portanto dificulta a produção. O limite inferior deve ser feito a menor quantidade pela qual o efeito substancial pode ser obtido e portanto é 0,05%. Quando se dá prioridade à economia, o limite superior pode ser ajustado em 0,30%.

B: 0,0002 a 0,003%

[0037] B segrega nos limites dos grãos de austenita e suprime a formação de ferrita para assim melhorar a capacidade de endurecimento e contribuir para a melhoria da resistência. Para obter esse efeito, um mínimo de 0,0002% ou mais é necessário.

[0038] Entretanto, com uma adição muito grande, não apenas o efeito de melhora da capacidade de endurecimento se tornaria saturado, mas também precipitados de B prejudiciais à tenacidade podem ser formados, então o limite superior é feito 0,003%.

Preferivelmente, ele pode ser 0,002% ou menos. Nota-se que em casos tais como aço para tanques de armazenagem, etc. onde as fraturas por estresse por corrosão são uma preocupação, a redução da dureza do material base e da zona afetada pelo calor da solda torna-se o ponto (por exemplo, para evitar fratura por estresse por corrosão por sulfetos (SSCC), em termos de dureza Rockwell, $HRC \leq 22$ ($HV \leq 248$) é considerado essencial). Em tal caso, a adição de B, que aumenta a capacidade de endurecimento, não é preferível. Nota-se que B tem o efeito acima de melhorar a resistência, mas há o problema de que a adição de B provoca a deterioração da tenacidade da zona afetada pelo calor e outras qualidades do material, então para evitar esses problemas, é mais preferível limitar o teor de B a 0,0003% ou menos ou não adicioná-lo.

Mg: 0,0002 a 0,005%

[0039] Mg tem a ação de controlar o crescimento dos grãos de austenita na zona afetada pelo calor da solda e refiná-los de modo a reforçar e enrijecer a zona de soldagem. Para obter esse efeito, o Mg tem que ser 0,0002% ou mais. Por outro lado, se a quantidade de adição aumentar, o efeito da quantidade de adição torna-se menor, então esse não é um andamento prudente em termos de custo, então o limite superior foi feito 0,005%. Preferivelmente, ele pode ser 0,0035% ou menos.

[0040] A seguir, serão explicadas as razões para a adição de Ca ou de Terras Raras.

Ca: 0,0005 a 0,004%

Terras Raras: 0,0005 a 0,008%

[0041] O Ca e Terras Raras controlam a forma do MnS e melhoram a tenacidade à baixa temperatura do material base. Em adição eles reduzem a susceptibilidade à fratura induzida pelo hidrogênio (HIC, SSC e SOHIC) sob um ambiente úmido de sulfeto de

hidrogênio. Para obter esses efeitos, é necessário um mínimo de 0,0005%.

[0042] Entretanto, a adição de muito mais que essa quantidade reciprocamente faz a limpeza do aço deteriorar e aumenta a tenacidade do material base e a susceptibilidade a fratura induzida pelo hidrogênio (HIC, SSC, e SOHIC) sob um ambiente úmido de sulfeto de hidrogênio, então os limites superiores das quantidades de adição foram feitas, respectivamente, para Ca e Terras Raras, 0,004% e 0,008%. Preferivelmente os limites podem ser feitos 0,003% e 0,006% ou menos. Nota-se que o Ca e Terras Raras têm efeitos substancialmente equivalentes, então é suficiente adicionar um deles na faixa acima. A adição de ambos é também possível.

[0043] Mesmo limitando-se os elementos individuais do aço, a menos que o sistema de composições com um todo seja adequado, excelentes características não podem ser obtidas. Na presente invenção, dos teores dos diferentes elementos (% em massa), o valor do parâmetro de fratura da solda P_{CM} , definido pela fórmula a seguir, é limitado a 0,22% ou menos.

$$P_{CM} = C + Si/30 + Mn/20 + Cu/20 + Ni/60 + Cr/20 + Mo/15 + V/10 + 5B$$

[0044] P_{CM} é um parâmetro que expressa a capacidade de soldagem. Quanto menor, melhor a capacidade de soldagem. Na JIS G 3106 "Aços Laminados para Estruturas Soldadas", embora diferindo dependendo do nível de resistência e da espessura da chapa, no caso mais estrito, é limitado a 0,24% ou menos.

[0045] De acordo com a ampla faixa de vários testes de fratura de solda dos inventores, o P_{CM} é limitado a 0,22% ou menos como uma condição capaz de evitar confiavelmente a fratura da solda fria mesmo sob condições mais cruéis de contenção e ambientais. Nota-se que o limite inferior não é particularmente ajustado, mas é naturalmente restrito pelas faixas de limitação das composições.

[0046] A seguir serão explicadas as condições de produção.

[0047] A razão para limitar a temperatura de aquecimento antes da laminação a quente em 1000 a 1300°C é manter pequenos os grãos de austenita no momento do aquecimento e refinar a estrutura laminada. 1300°C é o limite superior de temperatura na qual a austenita não se tornará extremamente bruta no momento do aquecimento. Se a temperatura de aquecimento exceder esse valor, os grãos de austenita se tornam grãos mistos brutos. A estrutura após a transformação também se torna bruta, então o aço se deteriora notavelmente quanto à tenacidade.

[0048] Por outro lado, se a temperatura de aquecimento for muito baixa, dependendo da espessura da chapa, não apenas torna-se difícil garantir a temperatura de laminação de acabamento, mas também a temperatura de não-recristalização da austenita é aumentada. Do ponto de vista da solubilidade do Nb para salientar o reforço da precipitação, o limite inferior foi feito 1000°C. A faixa de temperatura de aquecimento mais preferível é 1050 a 1250°C.

[0049] O material de aço aquecido sob as condições acima mencionadas é laminado a quente a 800°C ou mais, e então resfriado. Os meios de resfriamento não são particularmente um problema. O material pode também ser deixado ficar na atmosfera para resfriar, mas através de um resfriamento acelerado de uma temperatura de 750°C ou mais até uma temperatura de 550°C ou menos, é possível melhorar mais as características do material de aço.

[0050] Se a temperatura de laminação de acabamento cair abaixo de 800°C, nos aços da invenção, onde a quantidade de C é relativamente pequena, a ferrita é capaz de precipitar por transformação e a ferrita é capaz de ser trabalhada (laminada). Isto não é preferível do ponto de vista de garantir a tenacidade à baixa temperatura. Por essa razão, a temperatura da laminação de

acabamento é limitada a 800°C ou mais. Ela pode, preferivelmente, ser 820°C ou mais.

[0051] A resistência relativamente baixa assim chamada "aço da classe 40 kg" (por exemplo, aço da norma JIS SM400 e SN400), após ser laminado a quente a 800°C ou mais, pode satisfazer uma resistência predeterminada mesmo se deixado ficar na atmosfera para resfriar.

[0052] Entretanto, mesmo com um aço da classe 50kg (por exemplo aço da norma JIS SM490 e SN490) ou aço da classe 40 kg, se a espessura da chapa se tornar maior, torna-se difícil garantir a estabilidade da resistência conforme resfriado por permanecer na atmosfera, então o resfriamento acelerado a partir de uma temperatura de 750°C ou mais após a laminação a quente a 800°C ou mais é preferível. O resfriamento acelerado após a laminação melhora as características do material de aço e não prejudica as excelentes características da presente invenção.

[0053] O resfriamento acelerado aumenta inerentemente a taxa de resfriamento na região de transformação e portanto refina a estrutura e simultaneamente aumenta a resistência e a tenacidade. Portanto, a menos que iniciado antes do início da transformação ou pelo menos iniciado antes do fim da transformação, ele substancialmente não tem nenhum significado. Por esta razão, a temperatura de início do resfriamento acelerado é limitada a 750°C ou mais. Esse resfriamento acelerado tem que ser executado até uma temperatura de 550°C ou menos para se obter esse efeito. Com uma temperatura acima de 550°C, a transformação não prossegue suficientemente e no momento do resfriamento acelerado e o refino da estrutura se torna insuficiente. A temperatura preferível de início do resfriamento acelerado é 760°C ou mais. A faixa preferível da temperatura de interrupção do resfriamento acelerado é 520 a 300°C.

[0054] Nota-se que a taxa de resfriamento no momento do resfriamento acelerado depende das composições do aço e da resistência ou do nível de tenacidade à baixa temperatura pretendidos, mas a taxa média de resfriamento a partir da temperatura de início do resfriamento acelerado até 550°C em uma posição a 1 /4 da espessura da chapa a partir da superfície na direção da espessura da chapa é preferivelmente feita 3°C/s ou mais.

[0055] Além disso, mesmo que encruem após a laminação na temperatura Ac1 ou menos, as características excelentes da presente invenção não são prejudicadas. Isto cancela a irregularidade do resfriamento e melhora a uniformidade da qualidade na chapa, então é particularmente preferido.

EXEMPLOS

[0056] Chapas de aço de várias composições de aço (espessura de 19 a 100 mm) foram produzidas por um processo conversor – lingotamento contínuo – laminação de chapa e investigadas quanto às propriedades.

[0057] A Tabela 1 mostra as composições de aço dos aços comparativos e dos aços da invenção, enquanto a Tabela 2 mostra as condições de produção e as propriedades das chapas de aço.

[0058] As chapas de aço produzidas de acordo com a presente invenção (aços da invenção) tiveram todas boas propriedades. Opostamente, foi verificado que as chapas de aço não produzidas de acordo com a presente invenção (aços comparativos) foram inferiores em uma ou mais das propriedades.

[0059] O aço comparativo 11 tem um alto teor de C, então em comparação aos aços da invenção tanto o material base quanto a HAZ simulada são inferiores em tenacidade à baixa temperatura.

[0060] O aço comparativo 12 não teve nenhum Nb adicionado. Além disso, o aço comparativo 13 tem baixo teor de Cr. Ambos têm,

portanto, baixa resistência à alta temperatura.

[0061] O aço comparativo 14 tem baixo teor de C, então tem baixa resistência à alta temperatura.

[0062] O aço comparativo 15 tem um alto teor de Cr, então tanto o material base quanto a HAZ simulada têm tenacidade inferior.

[0063] O aço comparativo 16 tem alto teor de Nb e é inferior na tenacidade da HAZ.

[0064] Os aços comparativos 17-1 a 3 são os mesmos, quanto à composição, que o aço da invenção 5. Entretanto, o aço comparativo 17-1 tem uma baixa temperatura de laminação de acabamento e, como resultado, a temperatura de início do resfriamento acelerado não pode ser garantida e acaba se tornando baixa, então ele tem baixa resistência tanto à temperatura ambiente quanto à alta temperatura. O aço comparativo 17-2 tem baixa temperatura de início do resfriamento acelerado, então ele tem baixa resistência tanto à temperatura ambiente quanto à alta temperatura. O aço comparativo 17-3 tem alta temperatura de interrupção do resfriamento acelerado, então tem baixa resistência tanto à temperatura ambiente quanto à alta temperatura.

[0065] O aço comparativo 18 tem elementos individuais um método de produção dentro do escopo da presente invenção e tem uma resistência ou tenacidade a uma temperatura comum e a uma alta temperatura etc. que satisfazem as características requeridas para a classe de 490 MPa, mas tem um alto P_{CM} , então ocorreram fraturas em termos de capacidade de soldagem (teste de fratura da solda na ranhura y).

Tabela 1

Classe	Aço	Composições químicas (% em massa)											P _{CM} ¹⁾
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Nb	Al	N	Mo	Outros	
Aço da Invenção	1	0,003	0,31	0,95	0,006	0,003	0,81	0,018	0,028	0,030	0,01	0,011Ti, 0,0010B	0,107
	2	0,01	0,16	1,31	0,004	0,002	0,65	0,020	0,033	0,024	0,01	0,18Cu, 0,18Ni	0,126
	3	0,02	0,57	1,87	0,005	0,002	1,45	0,007	0,021	0,029	0,02	0,20Ni, 0,052V, 0,009Ti	0,215
	4	0,02	0,22	1,45	0,007	0,002	0,41	0,012	0,023	0,051	0	0,062V	0,127
	5	0,03	0,38	1,48	0,007	0,004	0,68	0,033	0,006	0,028	0,01	0,21Cu, 0,22Ni, 0,010Ti, 0,0012Mg	0,166
	6	0,03	0,19	1,66	0,006	0,006	1,01	0,028	0,005	0,022	0,03	0,0009B, 0,0014Ca	0,176
	7	0,03	0,44	0,62	0,007	0,003	0,22	0,047	0,045	0,043	0,01	0,32Cu, 0,32Ni, 0,062V, 0,0018Terras Raras	0,115
	8	0,04	0,27	1,31	0,005	0,002	0,50	0,024	0,003	0,036	0		0,140
	9	0,04	0,08	1,81	0,005	0,004	1,20	0,019	0,032	0,027	0	0,25Cu, 0,25Ni	0,210
	10	0,05	0,24	1,89	0,006	0,005	0,56	0,021	0,016	0,032	0,02	0,014Ti, 0,0013B, 0,0012Ca	0,188
	19	0,02	0,20	1,57	0,005	0,004	0,61	0,026	0,022	0,028	0,01	0,009Ti	0,136
Aço Comparativo	11	0,06	0,23	28	0,006	0,004	0,41	0,034	0,020	0,030	0,02	0,012Ti	0,153
	12	0,02	28	56	0,007	0,002	0,80	0	0,027	0,035	0,01	0,25Ni	0,153
	13	0,03	29	27	0,008	0,008	0,14	0,020	0,028	0,026	0,01	0,0015Ca	0,111
	14	0,001	33	57	0,006	0,004	0,69	0,018	0,031	0,032	0		0,125
	15	0,04	25	31	0,008	0,005	1,72	0,025	0,024	0,027	0		0,200
Aço Comparativo	16	0,04	31	25	0,006	0,004	0,51	0,065	0,033	0,025	0,02		0,139
	17	0,03	03	48	0,007	0,004	0,68	0,028	0,006	0,028	0,01	0,21Cu, 0,22Ni, 0,010Ti, 0,0012Mg	0,166
	18	0,04	39	83	0,007	0,005	1,38	0,030	0,031	0,033	0,02	0,25Cu, 0,25Ni, 0,070V, 0,011Ti	0,237

1) $P_{CM} = C + Si/30 + Mn/20 + Cu/20 + Ni/60 + Cr/20 + Mo/15 + V/10 + 5B$

Tabela 2

Classe	Aço	Grau de resistência almejado	Temp. de aquecimento (°C)	Temp. de laminação de acabamento (°C)	Temp. de início do resfriamento acele-rado (°C)	Temp. Interrupção do resfriamento Acele-rado (°C)	Esp. da chapa (mm)	Resistência ao rendimento (MPa)	Resistência à elasticidade (MPa)	vTrs (°C)	Prova de resistência a 600°C (MPa) ¹⁾	Tenac. ²⁾ Simulada da HAZ vE0(cal)	Fratura de raiz no teste de fratura y sem pré-aquecimento (temp. ambiente) ³⁾
Aço da Inven-ção	1	400MPa	1250	920	980	340	50	332	477	-98	182	38,9	Nenhuma
	2	490MPa	1200	820	780	460	25	386	551	-84	250	29,6	Nenhuma
	3	400MPa	1200	850	-	-	40	395	548	-81	246	26,0	Nenhuma
	4	490MPa	1280	860	820	480	50	431	545	-75	242	26,7	Nenhuma
	5	490MPa	1200	900	860	430	32	433	563	-78	256	23,4	Nenhuma
	6	490MPa	1100	950	930	450	100	338	518	-71	237	25,3	Nenhuma
	7	490MPa	1100	930	900	300	80	376	522	-65	234	28,9	Nenhuma
	8	490MPa	1050	870	840	410	60	386	536	-68	245	24,1	Nenhuma
	9	490MPa	1150	810	-	-	19	454	582	-75	261	30,0	Nenhuma
	10	490MPa	1150	850	800	290	50	414	547	-67	243	22,7	Nenhuma
	19	490MPa	1150	840	-	-	28	298	452	-80	164	37,2	Nenhuma

Continuação...

Classe	Aço	Grau de resistência almejado	Temp. de aquecimento (°C)	Temp. de laminação de acabamento (°C)	Temp. de início do resfriamento acelerado (°C)	Temp. de Interrupção do resfriamento Acelerado (°C)	Esp. da chapa (mm)	Resistência ao rendimento (MPa)	Resistência à elasticidade (MPa)	vTrs (°C)	Prova de resistência a 600°C (MPa) ¹⁾	Tenac. ²⁾ Simulada da HAZ vE0(cal)	Fratura de raiz no teste de fratura y sem pré-aquecimento (temp. ambiente) ³⁾
Aço comparativo	11	490MPa	1150	860	820	230	50	408	553	-12	248	4,3	Nenhuma
	12	400MPa	1150	850	800	250	40	283	479	-78	142	33,7	Nenhuma
	13	490MPa	1150	850	-	-	40	376	529	-67	197	31,0	Nenhuma
	14	400MPa	1200	850	-	-	40	319	487	-86	151	33,2	Nenhuma
	15	490MPa	1200	850	-	-	40	362	541	-10	236	5,5	Nenhuma
	16	490MPa	1200	900	-	-	40	348	561	-55	251	3,3	Nenhuma
	17-1	490MPa	1100	750	720	280	32	431-	488	-82	198	26,5	Nenhuma
	17-2	490MPa	1100	800	730	300	32	322	484	-79	195	25,3	Nenhuma
	17-3	490MPa	1100	830	770	600	32	317	496	-80	197	23,6	Nenhuma
	18	490MPa	1100	810	-	-	40	363	527	-21	220	17,4	Sim

1) Critério de julgamento para passagem: aço da classe 400 MPa: 157 MPa ou mais (235x(2/3)), aço 490 MPa, 217 MPa ou mais (325x(2/3))

2) Energia de absorção de impacto Charpy do ciclo de aquecimento simulado (condições: após manter a 1400°Cx10 s, e então resfriando de 800 a 500°C por 100 s) (valor médio de três amostras)

3) teste de fratura da solda na ranhura y (JIS Z 3158)

APLICABILIDADE INDUSTRIAL

[0066] De acordo com a presente invenção, o aço para estruturas soldadas excelente em resistência à alta temperatura e tenacidade à baixa temperatura pode ser fornecido em grandes quantidades de forma econômica. Como resultado, torna-se possível reduzir ou eliminar o revestimento resistente ao fogo para estruturas de construções. Além disso, também em aplicações diferentes de construções, uma vez que resistência, tenacidade, e outras performances básicas são fornecidas e também a resistência à alta temperatura é fornecida, torna-se possível obter aço para estruturas soldadas capazes de serem expostos a uma alta temperatura e aumentar muito mais a segurança das construções.

REIVINDICAÇÕES

1. Método de produção de aço para estruturas soldadas, caracterizado por compreender

aquecimento de um material de aço consistindo de, em % em massa,

C: 0,02 a 0,05%,

Si: 0,60% ou menos,

Mn: 0,6 a 2,0%,

P: 0,020% ou menos,

S: 0,010% ou menos,

Cr: 0,56 a 1,5%,

Nb: 0,005 a 0,028%,

Al: 0,060% ou menos, e

N: 0,001 a 0,006%,

também limitando, como uma impureza, Mo a 0,03% ou menos, tendo um saldo de ferro e as inevitáveis impurezas, e tendo um parâmetro de fratura da solda P_{CM} definido por

$$P_{CM} = C + Si/30 + Mn/20 + Cu/20 + Ni/60 + Cr/20 + Mo/15 + V/10 + 5B$$

de 0,22% ou menos, a 1000 até 1300°C de temperatura;

término da laminação a quente a uma temperatura de 800°C ou mais; e

resfriamento acelerado a partir de 750°C ou mais de temperatura,

em que a taxa média de resfriamento a partir da temperatura de início do resfriamento acelerado até 550°C em uma posição a 1/4 da espessura da chapa a partir da superfície na direção da espessura da chapa é 3°C/s ou mais.

2. Método de produção de aço para estruturas soldadas de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por também conter, em % em massa, um ou ambos entre

V: 0,01 a 0,10% e

Ti: 0,005 a 0,025%.

3. Método de produção de aço para estruturas soldadas de acordo com a reivindicação 1 ou 2, caracterizado por também conter, em % em massa, um ou mais entre

Ni: 0,05 a 0,50%,

Cu: 0,05 a 0,50%,

B: 0,0002 a 0,003%, e

Mg: 0,0002 a 0,005%.

4. Método de produção de aço para estruturas soldadas de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, caracterizado por também conter, em % em massa, um elemento entre

Ca: 0,0005 a 0,004% e

Terras Raras: 0,0005 a 0,008%.

5. Aço para estruturas soldadas, caracterizado por consistir de, em % em massa,

C: 0,02 a 0,05%,

Si: 0,60% ou menos,

Mn: 0,6 a 2,0%,

P: 0,020% ou menos,

S: 0,010% ou menos,

Cr: 0,56 a 1,5%,

Nb: 0,005 a 0,028%,

Al: 0,060% ou menos, e

N: 0,001 a 0,006%,

também limitando, como uma impureza, Mo a 0,03% ou menos, tendo um saldo de ferro e as inevitáveis impurezas, e tendo um valor de parâmetro de fratura da solda P_{CM} definido por

$$P_{CM} = C + Si/30 + Mn/20 + Cu/20 + Ni/60 + Cr/20 + Mo/15 + V/10 + 5B$$

de 0,22% ou menos.