



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

(11) PI 0901014-9 B1

(22) Data do Depósito: 06/01/2009

(45) Data de Concessão: 15/08/2017



(54) Título: CHAPA DE AÇO RESISTENTE AO DESGASTE E MÉTODO PARA PRODUÇÃO DA MESMA

(51) Int.Cl.: C22C 38/32; C22C 38/54; C21D 8/02

(30) Prioridade Unionista: 07/01/2008 JP 2008-000301, 17/10/2008 JP 2008-268253

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

(72) Inventor(es): TATSUYA KUMAGAI; NAOKI SAITOH

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para **"CHAPA DE AÇO RESISTENTE AO DESGASTE E MÉTODO PARA PRODUÇÃO DA MESMA"**.

Campo Técnico

5 A presente invenção refere-se a uma chapa de aço resistente ao desgaste tendo excelente resistência ao desgaste a altas temperaturas e excelente capacidade de trabalho de dobramento que possa ser usada em maquinário de construção e maquinário industrial, e também refere-se a um método para produção de tal chapa de aço resistente ao
10 desgaste.

 O presente pedido reivindica prioridade sobre o pedido de patente japonesa nº 2008-000301, registrada em 7 de janeiro de 2008, e sobre o pedido de patente japonesa nº 2008-268253, registrada em 17 de outubro de 2008, cujos teores estão aqui incorporados como
15 referência.

Antecedentes da Técnica

 Em maquinários para construção usados para escavações em minas e terraplenagens, muitos componentes necessitam substituições regulares frequentes devido ao avançado desgaste. Entre esses tipos de
20 componentes, para materiais de aço, o uso sob condições de alta temperatura representa a mais grave das condições de operação. Como a dureza do aço resistente ao desgaste diminui com o aumento da temperatura, o desgaste do aço tende a se acelerar rapidamente a uma temperatura de não menos que um certo valor. Esse desgaste é
25 particularmente marcado por membros tais como cestas de escavadeiras nas quais o calor da fricção é gerado como resultado de fortes impactos, e funis para coque sinterizado que são expostos a impactos com corpos com altas temperaturas. Nesses tipos de membros, a temperatura da superfície da chapa de aço que constitui o membro pode alcançar temporariamente
30 temperaturas de aproximadamente 300°C a 400°C. Como membros frequentes trocam resultados em uma deterioração na eficiência de operação do equipamento, há uma demanda considerável por um material

de aço (um aço resistente ao desgaste) que apresente resistência superior ao desgaste mesmo sob esse tipo de condições.

Por outro lado, para permitir a aplicação em vários locais modelados, ou reduzir significativamente o número de seções soldadas, uma
5 capacidade de trabalho de dobramento favorável da chapa de aço é frequentemente muito importante para um aço resistente ao desgaste.

O aumento da dureza é eficaz na melhoria da resistência ao desgaste. Entretanto, quando uma chapa de aço tendo alta dureza é submetida ao dobramento, e particularmente dobramento com um pequeno
10 raio de dobramento, a chapa de aço tende a ser propenso a quebra ou fratura. Além disso, se considerarmos também os fatores tais como o valor da resistência à deformação por dobramento e o grau de distensão, então ter um alto grau de dureza para uma chapa de aço é desvantajoso para alcançar a capacidade de trabalho de dobramento favorável. Em outras
15 palavras, a resistência ao desgaste e a capacidade de trabalho de dobramento são geralmente propriedades mutuamente opostas. Por exemplo, uma chapa de aço resistente ao desgaste da classe HB500 (com um dureza Brinell à temperatura ambiente de aproximadamente 450 a 550) apresenta excelente resistência ao desgaste, mas tem uma capacidade de
20 trabalho de dobramento relativamente pobre. Um aço tendo um menor grau de dureza tal como uma chapa de aço resistente ao desgaste da classe HB400 (com uma dureza Brinell à temperatura ambiente de aproximadamente 360 a 440) pode ser submetida ao trabalho de dobramento comparativamente com facilidade, e pode, portanto, ser
25 aplicada a todas as formas de membros que necessitem capacidade de trabalho favorável, mas não possam apresentar uma resistência ao desgaste totalmente satisfatória, particularmente em termos da resistência ao desgaste sob condições de alta temperatura.

Consequentemente, transmitir um aço resistente ao desgaste
30 tendo uma dureza à temperatura ambiente da classe HB400 com propriedades de resistência ao desgaste à alta temperatura favoráveis pode ser dito ser um método eficaz de se alcançar a combinação de capacidade

de trabalho de dobramento favorável e resistência ao desgaste superior a altas temperaturas.

Uma chapa de aço resistente ao desgaste geralmente não necessita um valor de tenacidade particularmente alto, mas deve ter um
5 certo nível de tenacidade para garantir que o aço não frature mesmo quando a espessura da chapa de aço diminui durante o uso. Em consideração ao uso em regiões frias, é geralmente considerado que a energia de absorção Charpy a -40°C não deve ser menor que 27 J.

Os inventores da presente invenção descreveram anteriormente,
10 no Documento de Patente 1, um aço resistente ao desgaste para aplicações a alta temperatura tendo uma dureza Brinell da ordem da classe HB500. A invenção descrita nesse documento foi projetada com a resistência ao desgaste a alta temperatura como característica prioritária, sem se tomarem medidas particulares para melhorar a capacidade de trabalho de dobramento
15 e, portanto, o aço é limitado a aplicações nas quais o raio de dobramento é comparativamente grande.

O Documento de patente 2 refere-se a um aço resistente ao desgaste para temperaturas médias e moderadas que podem ser usados em regiões de 300°C a 400°C . Esse documento não dá consideração à
20 tenacidade ou capacidade de trabalho, e não é feita nenhuma descrição em relação a essas propriedades; entretanto, como o aço inclui um nível extremamente alto de Si, imagina-se que nem a tenacidade nem a capacidade de trabalho seriam particularmente favoráveis.

O Documento de Patente 3 refere-se a um aço resistente ao
25 desgaste da classe HB400 que tenha excelente capacidade de trabalho de dobramento, mas absolutamente não é dada nenhuma consideração à resistência ao desgaste sob condições de alta temperatura.

Dessa maneira, até esse ponto não houve exemplos adequados de aços resistentes ao desgaste da classe HB400 que apresentassem
30 capacidade de trabalho de dobramento favorável bem como um alto grau de resistência ao desgaste sob condições de alta temperatura de 300°C a 400°C .

Alem disso, como uma chapa de aço resistente ao desgaste é um item consumível, a economia é também um fator importante, e é desejável que a quantidade de elementos de ligação onerosos adicionados ao aço é mantida em um mínimo. Documento de Patente 1: pedido de patente japonesa não-examinado, primeira publicação nº 2001-49387

Documento de Patente 2: pedido de patente japonesa não-examinado, primeira publicação nº H03-243743

Documento de Patente 3: pedido de patente japonesa não-examinado, primeira publicação nº 2005-240135

10 Descrição da Invenção

Problemas a serem Resolvidos pela Invenção

A presente invenção visa fornecer um aço resistente ao desgaste que tenha uma dureza à temperatura ambiente da ordem da classe HB400 que indique capacidade de trabalho de dobramento favorável, tenha uma alto grau de resistência ao desgaste mesmo sob condições de alta temperatura de 300°C a 400°C, e seja muito econômico.

Meios para Resolver o Problema

Imagina-se que para aumentar a resistência ao desgaste a altas temperaturas de 300°C a 400°C, é importante manter a dureza do aço a essas altas temperaturas. Por outro lado, a forma mais econômica de alcançar uma dureza à temperatura ambiente de aproximadamente HB400 é empregar uma estrutura de martensita. Entretanto, uma chapa de aço que tenha uma estrutura de martensita sofre uma grande redução na dureza à medida que a temperatura é aumentada. Consequentemente, em relação aos aços que contenham estruturas de martensita (aços martensita) e que tenham uma dureza à temperatura ambiente de aproximadamente HB400, métodos de melhoria da resistência ao desgaste à alta temperatura foram investigados, do ponto de vista de tentar manter a dureza a alta temperatura a um nível tão alto quanto possível.

30 A presente invenção foi desenvolvida na suposição de condições de alta temperatura de 300°C a 400°C, e uma temperatura de 350°C foi usada como temperatura representativa para avaliar as propriedades do aço.

A resistência ao desgaste a 350°C foi investigada quanto aos aços martensita tendo uma variedade de composições químicas. Essas avaliações de resistência ao desgaste foram conduzidas da forma descrita abaixo. Isto é, a temperatura da amostra foi controlada em um equipamento de teste de desgaste pin-on-disk prescrito na ASTM G99-05, e o teste de desgaste foi conduzido enquanto a temperatura da amostra foi ajustada para 350°C; com isso, as quantidades de desgaste para a amostra de teste e para uma amostra padrão (SS400) foram medidas. O resultado para a SS400 foi usado como padrão, e a razão de resistência ao desgaste a 350°C foi definida como [quantidade de desgaste da SS400 / quantidade de desgaste da amostra de teste]. Assim, a razão de resistência ao desgaste a 350°C foi determinada para a amostra. Quanto maior se torna o valor para essa razão de resistência ao desgaste, mais favorável é a resistência ao desgaste a 350°C.

A figura 1 ilustra a relação entre a razão de resistência ao desgaste a 350°C e a quantidade adicionada de Nb para um aço martensita tendo uma composição básica incluindo 0,15% de C, 0,57% de Si, 0,41% de Mn, 1,37% de Cr, 0,08% de Mo, 0,012% de Ti, 0,0011% de B e 0,0032% de N, e que tenha uma quantidade variável de Nb. Quando a quantidade adicionada de Nb estava dentro da faixa de 0 a 0,03%, a razão da resistência ao desgaste a 350°C varia pouco, mas uma vez que a quantidade adicionada de Nb excede 0,03%, a razão de resistência a 350°C aumenta significativamente. Os carbonitreto de Nb que se precipitam durante a laminação tendem a inibir a recristalização e reduzir o tamanho da microestrutura de aço, e portanto o Nb é geralmente adicionado em uma quantidade dentro de uma faixa de 0,01 a 0,02%. Entretanto, os carbonitreto de Nb que se precipitam durante a laminação não têm quase nenhum efeito na dureza a alta temperatura. Por outro lado, em relação ao Nb que existe na chapa de aço em um estado de solução sólida, quando a temperatura está dentro de uma faixa de 300°C a 400°C, ele ainda permanece em um estado de solução sólida ou existe como carbonitreto extremamente finos, e é suposto que qualquer um desses estados

contribuirá para uma melhoria na dureza a alta temperatura. Em outras palavras, imagina-se que adicionando-se Nb em uma quantidade que exceda amplamente uma quantidade que exceda amplamente uma quantidade que se precipite durante a laminação, e então selecionando-se as condições adequadas de laminação e resfriamento, a quantidade de Nb em solução sólida dentro da chapa de aço pode ser aumentada, resultando em um aumento na dureza quando a chapa de aço é aquecida até 350°C e uma melhoria resultante na resistência ao desgaste a 350°C.

Os inventores da presente invenção conduziram investigações detalhadas da relação entre os elementos da liga do aço e a resistência ao desgaste a 350°C para uma grande quantidade de aços de martensita tendo um valor HB a 25°C dentro de uma faixa de 360 a 440. Como resultado, eles produziram a fórmula (1) abaixo para prognosticar a razão de resistência ao desgaste a 350°C a partir da composição química:

$$HI = [C] + 0,59[Si] - 0,58[Mn] + 0,29[Cr] + 0,39[Mo] + 2,11([Nb] - 0,02) - 0,72[Ti] + 0,56[V] \quad \dots (1)$$

em que [C], [Si], [Mn], [Cr], [Mo], [Nb], [Ti] e [V] representam as quantidades (% em massa) de C, Si, Mn, Cr, Mo, Nb, Ti e V, respectivamente. Na fórmula (1), a razão para subtrair 0,02 da quantidade de Nb é considerar a quantidade de Nb que se precipita durante a laminação.

A figura 2 ilustra a relação entre HI e a razão de resistência ao desgaste a 350°C do aço de martensita.

Na presente invenção, o valor almejado para a resistência ao desgaste é ajustado como a razão da resistência ao desgaste a 350°C de não menos que 3,0, isto é, uma quantidade de desgaste friccional que é 1/3 ou menos daquela da SS400. Da relação ilustrada na figura 2 fica claro que para satisfazer esse valor objetivado, o valor HI deve ser 0,7 ou maior. Além disso, se o valor HI for 0,8 ou maior, então a razão da resistência ao desgaste é 4,0 ou maior; portanto, uma resistência ao desgaste ainda mais favorável pode ser realizada.

A fórmula (1) indica que além do Nb, aumentar-se as

quantidades adicionadas de Si, Cr, Mo e V é também eficaz em melhorar a resistência ao desgaste a 350°C para um aço martensita.

Desses elementos, tanto o Mo quanto o V são elementos que foram convencionalmente adicionados em grandes quantidades para aços de alta temperatura; entretanto, como custos recentes para esses elementos são extremamente altos, as quantidades adicionadas são preferivelmente mantidas tão pequenas quanto possível do ponto de vista de viabilidade econômica.

Em contraste, Si e Cr são comparativamente elementos de baixo custo, e são, portanto, vantajosos em termos de melhoria da resistência ao desgaste a 350°C. Por outro lado, a redução da quantidade de Mn é realmente também vantajosa em termos de alcançar uma resistência ao desgaste a 350°C favorável.

Para garantir que as estruturas martensita existem através do centro da espessura da chapa, é necessário garantir que o aço tenha capacidade de endurecimento satisfatória. A maioria das chapas de aço resistentes ao desgaste tem uma espessura de chapa de não mais que 50 mm. Se o valor de C_{eq} na fórmula a seguir exceder 0,50, uma capacidade de endurecimento suficiente pode ser alcançada para garantir que estruturas martensita existam através do centro de uma chapa de aço tendo uma espessura de 50 mm.

$$C_{eq} = [C] + [Si]/24 + [Mn]/6 + [Ni]/40 + [Cr]/5 + [Mo]/4 + [V]/14$$

em que [C], [Si], [Mn], [Ni], [Cr], [Mo] e [V] representam as quantidades (% em massa) de C, Si, Mn, Ni, Cr, Mo e V, respectivamente.

Em termos de tenacidade, limites superiores adequados devem ser especificados para as quantidades de Si, P, S, Cr, Mo, Al, B e N para garantir uma energia de absorção Charpy a -40°C de não menos que 27 J.

A presente invenção foi desenvolvida à luz das descobertas acima, e fornece os aspectos descritos abaixo.

(1) A chapa de aço resistente a desgaste da presente invenção tendo excelente resistência ao desgaste a altas temperaturas e excelente capacidade de trabalho de dobramento inclui, em valores de % em massa,

C: não menos que 0,13% e não mais que 0,18%, Si: não menos que 0,5% mas menos de 1,0%, Mn: não menos que 0,2% e não mais que 0,8%, P: não mais que 0,020%, S: não mais que 0,010%, Cr: não menos que 0,5% e não mais que 2,0%, Mo: não menos que 0,03% e não mais que 0,30%, Nb: mais
 5 que 0,03% mas não mais que 0,10%, Al: não menos que 0,01% e não mais que 0,20%, B: não menos que 0,0005% e não mais que 0,0030%, e N: não mais que 0,010%, com o saldo sendo Fe e as inevitáveis impurezas, onde a composição de elementos é tal que HI definido abaixo é 0,7 ou maior, e o
 Ceq excede 0,50, e o valor HB (dureza Brinell) a 25°C é de não menos que
 10 360 e não mais que 440.

$$HI = [C] + 0,59[Si] - 0,58[Mn] + 0,29[Cr] + 0,39[Mo] + 2,11([Nb] - 0,02) - 0,72[Ti] + 0,56[V]$$

$$Ceq = [C] + [Si]/24 + [Mn]/6 + [Ni]/40 + [Cr]/5 + [Mo]/4 + [V]/14$$

onde [C], [Si], [Mn], [Ni], [Cr], [Mo], [Nb], [Ti] e [V] representam as
 15 quantidades (% em massa) de C, Si, Mn, Ni, Cr, Mo, Nb, Ti e V, respectivamente.

(2) A chapa de aço resistente ao desgaste tendo excelente resistência ao desgaste a altas temperaturas e excelente capacidade de trabalho de dobramento conforme o aspecto da presente invenção descrito
 20 no item (1) acima pode também incluir, em valores de % em massa, um ou mais elementos selecionados do grupo consistindo em Cu: não menos que 0,05% e não mais que 1,5%, Ni: não menos que 0,05% e não mais que 1,0%, Ti: não menos que 0,003% e não mais que 0,03%, e V: não menos que 0,01% e não mais que 0,20%.

(3) Um método para produção de uma chapa de aço resistente ao desgaste que tenha excelente resistência ao desgaste a altas temperaturas e excelente capacidade de trabalho de dobramento conforme a presente invenção inclui: aquecer uma placa tendo a composição descrita no item (1) ou (2) acima até uma temperatura de pelo menos 1.200°C, conduzir
 25 a laminação a quente com uma razão de redução cumulativa de não menos que 30% e não mais que 65% a uma temperatura de não menos que 900°C, terminar a laminação a quente a uma temperatura de não menos que 900°C;

e após o término da laminação a quente, ou executar imediatamente o resfriamento acelerado até uma temperatura de 200°C ou diminuir a mesma de forma que uma taxa de resfriamento no centro da espessura da chapa seja de pelo menos 5°C/s, ou conduzir o resfriamento até uma temperatura
5 de 200°C ou menor, subsequentemente reaquecendo até uma temperatura de não menos que a temperatura do ponto de transformação Ar_3 , e então executando-se o resfriamento acelerado até uma temperatura de 200°C ou menor de forma que a taxa de resfriamento no centro da espessura da chapa seja de pelo menos 5°C/s.

10 Efeito da Invenção

Conforme a presente invenção, uma chapa de aço resistente ao desgaste tendo uma dureza à temperatura ambiente da ordem da classe HB400 que indica capacidade de trabalho de dobramento favorável, tendo um alto grau de resistência ao desgaste sob condições de alta temperatura
15 de 300°C a 400°C, e é muito econômica pode ser produzido com relativa facilidade.

Breve Descrição dos Desenhos

A figura 1 é um gráfico ilustrando a relação entre a quantidade adicionada de Nb e a resistência ao desgaste a 350°C.

20 A figura 2 é um gráfico ilustrando a relação entre o valor HI e a resistência ao desgaste a 350°C.

Melhor Forma para Executar a Invenção

Uma descrição mais detalhada da presente invenção está apresentada abaixo.

25 Inicialmente há uma descrição das razões para restringir cada um dos componentes do aço na chapa de aço resistente ao desgaste da presente invenção.

C é um elemento importante na determinação da dureza da martensita. Na presente invenção, para garantir que o valor HB à
30 temperatura ambiente dentro da porção central da espessura da chapa que tenha uma espessura de até 50 mm seja de não menos que 360 e não mais que 440, o teor de C é ajustado para não menos que 0,13% e não mais que

0,18%.

Si é um elemento particularmente eficaz para melhorar a resistência ao desgaste a 350°C, e é também um elemento de ligação barato. Entretanto, quando uma grande quantidade de Si é adicionada, são
5 provocadas reduções na dureza e na capacidade de trabalho. Por essas razões, a quantidade adicionada de Si é ajustada para não menos que 0,50% mas menos que 1,0%. Se for colocada ênfase particular na capacidade de trabalho, então a quantidade adicionada de Si é preferivelmente menor que 0,8%.

10 Mn, por formar MnS, é essencial para evitar a redução na tenacidade e a deterioração na capacidade de trabalho de dobramento provocada pela segregação de S no limite dos grãos, e é adicionado em uma quantidade de não menos que 0,2%. Uma vez que o Mn aumenta a capacidade de endurecimento, é preferível adicionar-se Mn em uma grande
15 quantidade com o propósito de garantir uma dureza à temperatura ambiente mais favorável na porção central da espessura de uma chapa que tenha uma espessura de até 50 mm. Entretanto, por outro lado, o Mn provoca uma redução na resistência à alta temperatura, e realmente provoca uma diminuição na resistência ao desgaste a 350°C. Por esta razão, a quantidade
20 adicionada de Mn é preferivelmente menor que 0,5%. Mesmo em termos de aumentar a capacidade de endurecimento, o limite superior para o teor de Mn é 0,8%. Consequentemente, a quantidade adicionada de Mn é ajustada para não menos que 0,2% e não mais que 0,8%, e é preferivelmente não menos que 0,2% mas menos que 0,5%.

25 P é um elemento prejudicial que provoca a deterioração na capacidade de trabalho de dobramento e na tenacidade, e é incorporado como uma impureza inevitável. Consequentemente, o teor de P é contido para não mais de 0,020%. Essa quantidade é preferivelmente 0,010% ou menor. A quantidade de P é preferivelmente tão baixo quanto possível em
30 termos de capacidade de trabalho de dobramento e de tenacidade. Entretanto, uma vez que aumentos inevitáveis nos custos de refino são necessários para reduzir o teor de P para menos de 0,0005%, não há

necessidade de limitar o teor de P para esse tipo de nível extremamente baixo.

S é também um elemento prejudicial que provoca deterioração na capacidade de trabalho de dobramento e na tenacidade, e está
5 incorporado como uma impureza inevitável. Consequentemente, o teor de S é suprimido para não mais que 0,010%. Essa quantidade é preferivelmente 0,005% ou menor. A quantidade de S é preferivelmente tão baixa quanto possível em termos de capacidade de trabalho de dobramento e de tenacidade. Entretanto, uma vez que aumentos inevitáveis no custo de refino
10 são necessários para reduzir o teor de S para menos de 0,0005%, não há necessidade de se limitar o teor de S para esse tipo de nível extremamente baixo.

Cr é eficaz na melhoria da capacidade de endurecimento e na melhoria da resistência ao desgaste a 350°C, e é, portanto, adicionado em
15 uma quantidade de pelo menos 0,5%. Para se obter uma capacidade de endurecimento satisfatória na porção central da espessura de uma chapa que tenha uma espessura de até 50 mm, a quantidade adicionada de Cr é preferivelmente 1,0% ou maior. Entretanto, a adição excessiva de Cr pode provocar uma redução na tenacidade e, portanto, o teor de Cr é limitado a
20 não mais que 2%.

Mo melhora a resistência ao desgaste a 350°C, e adicionando-se uma pequena quantidade na presença de Nb produz uma grande melhoria na capacidade de endurecimento. Por esta razão, pelo menos 0,03% de Mo devem ser adicionados. Entretanto, uma adição excessiva de
25 Mo pode provocar uma redução na tenacidade e, portanto, a quantidade adicionada de Mo tem um limite superior de 0,30%. Além disso, o Mo tem sido extremamente oneroso nos últimos anos, e em termos de contenção do preço da liga, a quantidade adicionada de Mo é preferivelmente de menos de 0,10%.

30 Nb, devido à sua existência no estado de solução sólida na chapa, é extremamente eficaz na melhoria da resistência ao desgaste a 350°C. A quantidade de Nb necessária para garantir uma quantidade

satisfatória de solução sólida Nb é uma quantidade de mais de 0,03%, e a quantidade é preferivelmente 0,04% ou maior. Na presente invenção, como 0,13% ou mais de C estão incluídos para garantir uma dureza Brinell à temperatura ambiente de não menos que 360, se a quantidade de Nb for muito grande, então Nb(CN) pode não ser completamente solubilizado solidamente durante o aquecimento. Esse tipo de Nb insolúvel não contribui para uma melhoria na dureza a alta temperatura, e pode realmente provocar uma redução na tenacidade. Por esta razão, a quantidade adicionada de Nb é de não mais que 0,10%, e é preferivelmente 0,08% ou menos.

Al é adicionado em uma quantidade de não menos que 0,01% como elemento desoxidante ou elemento para controle da morfologia das inclusões. Além disso, o Al é também adicionado em uma quantidade de não menos que 0,05% com o propósito de fixar o N para garantir a quantidade necessária de B livre necessária para melhorar a capacidade de endurecimento. Em qualquer caso, a adição excessiva de Al pode provocar uma redução na tenacidade e, portanto, o limite superior para o teor de Al é de 0,20%, e preferivelmente 0,10%.

B é um elemento essencial que é extremamente eficaz na melhoria da capacidade de endurecimento. Para garantir uma manifestação satisfatória desse efeito, pelo menos 0,0005% de B são necessários. Entretanto, se o B for adicionado em uma quantidade excedendo 0,0030%, então a capacidade de soldagem e a tenacidade do aço podem deteriorar e, portanto, o teor de B é ajustado para não menos que 0,0005% e não mais que 0,0030%.

Se N for adicionado em excesso o N provoca a redução da tenacidade e também forma BN; portanto, o efeito de melhoria da capacidade de endurecimento que é fornecida pelo B é inibido. Como resultado, o teor de N é contido para não mais que 0,010%. O teor de N é preferivelmente 0,006% ou menos. Em termos de evitar qualquer deterioração na tenacidade e evitar a formação de BN, a quantidade de N é preferivelmente tão baixa quanto possível. Entretanto, uma vez que são necessários aumentos inevitáveis nos custos de refino para reduzir o teor de

N para menos de 0,001%, não há necessidade de limitar-se o teor de N a esse tipo de nível extremamente baixo.

Os elementos acima representam os componentes básicos do aço da presente invenção; entretanto, um ou mais elementos entre Cu, Ni, V e Ti podem também ser adicionados em adição aos elementos descritos acima.

Cu é um elemento que é capaz de melhorar a dureza sem reduzir a tenacidade, e 0,05% ou mais de Cu podem ser adicionados para esse propósito. Entretanto, se Cu for adicionado em excesso, então a tenacidade pode realmente diminuir e, portanto, a quantidade adicionada de Cu é de não mais que 1,5%.

Ni é um elemento que é eficaz na melhoria da tenacidade, e 0,05% ou mais de Ni podem ser adicionados para esse propósito. Entretanto, como o Ni é um elemento oneroso, a quantidade adicionada é limitada a não mais que 1,0%.

V é um elemento que é eficaz na melhoria da resistência ao desgaste a 350°C. Uma quantidade de 0,01% ou mais de V pode ser adicionada para esse propósito. Entretanto, V é também um elemento oneroso e pode provocar a deterioração da tenacidade se adicionado em excesso, portanto, se adicionado, a quantidade é limitada a não mais que 0,20%.

Ti pode ser adicionado para fixar o N como TiN; com isso a formação de BN é evitada. Como resultado, é garantida a quantidade necessária de B livre requerida para melhorar a capacidade de endurecimento. Uma quantidade de 0,003% ou mais de Ti pode ser adicionada para esse propósito. Entretanto, a adição de Ti tende a provocar deterioração na resistência ao desgaste a 350°C. Consequentemente, a quantidade adicionada de Ti é limitada a não mais que 0,030%.

Em adição às restrições nas faixas dos componentes mostradas acima, conforme mencionado acima, a composição dos elementos da presente invenção é também restrita de forma que o valor de HI na fórmula (1) seja de não menos que 0,7 , e o valor de C_{eq} seja maior que 0,50.

Entretanto, se os valores d HI e Ceq forem muito aumentados, então a tenacidade pode deteriorar e, portanto, o HI é preferivelmente não mais que 1,2 e Ceq é preferivelmente não mais que 0,70.

5 A seguir está uma descrição de um método para produção de uma chapa de aço resistente ao desgaste da presente invenção.

Inicialmente, uma placa tendo a composição dos componentes do aço descrita acima é aquecida e submetida à laminação a quente.

Na presente invenção, não há restrições particulares ao método usado para a produção da placa antes da laminação a quente. Em outras
10 palavras, após a fusão em um alto forno, forno conversor ou forno elétrico ou similar, o processo de ajuste dos componentes pode ser conduzido usando-se qualquer uma das várias técnicas de refino secundário para alcançar a quantidade almejada de cada elemento, e o lingotamento pode ser então conduzido usando-se um método de lingotamento contínuo convencional,
15 lingotamento pelo método de lingotes, ou lingotamento por outro método tal como lingotamento de placas finas. Sucata metálica pode ser usada como matéria-prima. No caso de uma placa obtida por lingotamento contínuo, a placa lingotada a alta temperatura pode ser alimentada diretamente ao equipamento de laminação a quente, ou pode ser resfriada até a
20 temperatura ambiente e então reaquecida em um forno antes de sofrer a laminação a quente. Os componentes da placa são os mesmos que os componentes da chapa de aço resistente ao desgaste da presente invenção descrita acima.

Para garantir uma solubilização sólida satisfatória do Nb, a
25 temperatura de aquecimento para a placa é 1.200°C ou maior. Entretanto, se a temperatura de aquecimento for muito alta, ocorre o embrutecimento das estruturas austenita; com isto, a microestrutura após a laminação a quente não se torna suficientemente fina e é provocada a deterioração na tenacidade. Portanto, a temperatura de aquecimento para a placa é
30 preferivelmente de não mais que 1.350°C.

Durante a laminação a quente, a razão de redução cumulativa é ajustada para não menos que 30% e não mais que 65% a uma temperatura

de não mais que 960°C e não menos que 900°C. A temperatura e a razão de redução são restritas a essas faixas de modo a reduzir a quantidade de carbonitretos de Nb precipitados durante a laminação até um requisito mínimo que é necessário para garantir o refino de grão favorável.

5 Além disso, para suprimir a precipitação desnecessária de carbonitretos de Nb e maximizar a quantidade de solução sólida de Nb, a laminação a quente é preferivelmente terminada a uma temperatura de não menos de 900°C. Além disso, a temperatura de término da laminação a quente deve ser de não mais que 960°C.

10 Após a laminação a quente, o resfriamento acelerado é conduzido para se obter estruturas de martensita, ou executando-se o resfriamento brusco direto ou pelo reaquecimento do aço laminado e então executando-se o resfriamento brusco.

15 No caso de resfriamento brusco direto, após o término da laminação a quente, a chapa laminada é imediatamente submetida ao resfriamento acelerado até uma temperatura de 200°C ou menor a uma taxa de resfriamento de pelo menos 5°C/s (taxa de resfriamento no centro da espessura da chapa de aço).

20 No caso de reaquecimento e resfriamento brusco, após o término da laminação a quente, a chapa laminada é resfriada uma vez até a temperatura de 200°C ou menor (a taxa de resfriamento é arbitrária), subsequentemente reaquecida até uma temperatura de não menos que o ponto de transformação A_{c3} , e então submetido ao resfriamento acelerado até uma temperatura de 200°C ou menor de forma que a taxa de
25 resfriamento no centro da espessura da chapa seja de pelo menos 5°C/s.

30 Durante o resfriamento acelerado conduzido imediatamente após o término da laminação a quente no caso de resfriamento brusco direto, ou o resfriamento acelerado conduzido após o reaquecimento no caso de reaquecimento e resfriamento brusco, a taxa de resfriamento aumenta à medida que a espessura da chapa de aço diminui. Na presente invenção, a espessura almejada da chapa é tipicamente assumida como estando aproximadamente dentro de uma faixa de 4,5 mm a 50 mm. A taxa

de resfriamento para uma chapa que tenha uma espessura de 4,5 mm pode ser extremamente alta; entretanto, não há nenhum problema particular associado com tal taxa alta, e nenhum limite superior é especificado para a taxa de resfriamento.

- 5 Um tratamento térmico de revenido não é particularmente necessário; entretanto, um tratamento térmico a uma temperatura de não mais que 300°C não faz com que as propriedades da chapa de aço saiam do escopo da presente invenção.

Exemplos

- 10 Os aços A a Al tendo as composições mostradas nas Tabelas 1 e 2 foram fundidas para se obter placas. As placas obtidas foram aquecidas até uma temperatura de pelo menos 1.230°C, e então foram submetidas a processos sob as condições de produção mostradas nas Tabelas 3 e 4 para produzir chapas de aço tendo espessuras variando de 6 a 45 mm (cada um dos aços n^{os} 1 a 17 representa um exemplo da presente invenção, enquanto cada um dos aços n^{os} 18 a 44 representa um exemplo comparativo).
- 15

Tabela 1
(% em massa)

		C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	Al	Nb	Ti	V	B	N	Ceq	HI
Componente do aço da invenção	A	0,144	0,74	0,41	0,003	0,002			1,31	0,09	0,08	0,052			0,0014	0,0027	0,53	0,83
	B	0,161	0,71	0,32	0,003	0,002			1,25	0,06	0,04	0,072	0,014		0,0009	0,0045	0,51	0,88
	C	0,154	0,69	0,29	0,004	0,002			1,68	0,04	0,08	0,043			0,0024	0,0028	0,58	0,94
	D	0,147	0,74	0,38	0,002	0,002			1,35	0,08	0,03	0,061	0,009		0,0011	0,0035	0,53	0,87
	E	0,165	0,79	0,69	0,003	0,001			1,03	0,27	0,05	0,085	0,012		0,0010	0,0033	0,59	0,76
	F	0,149	0,73	0,38	0,005	0,001			1,22	0,15	0,04	0,039	0,012		0,0013	0,0031	0,52	0,80
	G	0,147	0,94	0,42	0,003	0,002			1,25	0,08	0,04	0,042	0,009		0,0014	0,0031	0,53	0,89
	H	0,163	0,74	0,44	0,003	0,003			0,89	0,24	0,03	0,059	0,013	0,040	0,0012	0,0041	0,51	0,79
	I	0,137	0,68	0,42	0,004	0,003	0,28		1,32	0,08	0,09	0,063			0,0021	0,0029	0,52	0,80
	J	0,177	0,74	0,42	0,003	0,002			1,15	0,08	0,08	0,049		0,050	0,0019	0,0031	0,53	0,82
	K	0,149	0,72	0,37	0,003	0,002		0,41	1,32	0,06	0,07	0,053			0,0008	0,0028	0,53	0,84
	L	0,148	0,69	0,37	0,004	0,002	0,35	0,26	1,51	0,07	0,02	0,063	0,021		0,0012	0,0051	0,56	0,88

Tabela 2
(% em massa)

		C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	Al	Nb	Ti	V	B	N	Ceq	HI
Componente do aço comparativo	M	<u>0,111</u>	0,75	0,42	0,004	0,001			1,25	0,08	0,05	0,060	0,021		0,0013	0,0038	<u>0,48</u>	0,77
	N	<u>0,217</u>	0,64	0,34	0,009	0,002			1,19	0,09	0,07	0,051			0,0014	0,0038	0,56	0,84
	O	0,142	<u>0,35</u>	0,42	0,002	0,001			1,32	0,13	0,02	0,059	0,014		0,0009	0,0041	0,52	<u>0,61</u>
	P	0,142	<u>1,37</u>	0,40	0,009	0,002			1,12	0,08	0,05	0,053			0,0008	0,0029	0,51	1,14
	Q	0,167	0,61	<u>0,08</u>	0,002	0,001			1,41	0,07	0,06	0,041			0,0011	0,0037	0,51	0,96
	R	0,148	0,77	<u>0,91</u>	0,006	0,003			1,46	0,15	0,06	0,054			0,0011	0,0041	0,66	<u>0,63</u>
	S	0,154	0,68	0,38	<u>0,037</u>	0,001			1,54	0,07	0,04	0,065	0,013		0,0010	0,0046	0,57	0,89
	T	0,152	0,69	0,39	0,005	<u>0,015</u>			1,55	0,07	0,04	0,066	0,013		0,0009	0,0050	0,57	0,90
	U	0,152	0,69	0,43	0,004	0,001	<u>1,90</u>		1,37	0,12	0,08	0,069			0,0012	0,0035	0,56	0,86
	V	0,172	0,75	0,32	0,006	0,001			<u>0,42</u>	0,26	0,02	0,060	0,008		0,0011	0,0034	<u>0,41</u>	0,73
	W	0,144	0,65	0,39	0,008	0,001			<u>2,50</u>	0,07	0,06	0,055			0,0013	0,0041	0,75	1,13
	X	0,166	0,69	0,42	0,006	0,001			1,45	<u>0,01</u>	0,06	0,047			0,0009	0,0039	0,56	0,81
	Y	0,172	0,77	0,44	0,007	0,002			1,37	<u>0,56</u>	0,06	0,051			0,0009	0,0041	0,69	1,05
	Z	0,155	0,80	0,38	0,005	0,002			1,38	0,08	<u>0,23</u>	0,053			0,0012	0,0042	0,55	0,91
	AA	0,143	0,74	0,39	0,003	0,001			1,27	0,15	0,05	<u>0,013</u>			0,0013	0,0029	0,53	0,77

Tabela 2 (Continuação)

		C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	Al	Nb	Ti	V	B	N	Ceq	HI
Componente do aço comparativo	AB	0,143	0,62	0,41	0,007	0,003			1,50	0,09	0,06	<u>0,135</u>			0,0014	0,0420	0,56	0,98
	AC	0,159	0,66	0,42	0,006	0,002			1,34	0,08	0,05	0,064	<u>0,060</u>		0,0012	0,0038	0,54	0,77
	AD	0,159	0,73	0,40	0,004	0,001			1,25	0,11	0,06	0,071		<u>0,240</u>	0,0013	0,0040	0,55	1,01
	AE	0,157	0,66	0,42	0,004	0,003			1,36	0,14	0,04	0,049	0,015		<u>0,0001</u>	0,0037	0,56	0,80
	AF	0,152	0,63	0,40	0,005	0,003			1,25	0,09	0,07	0,055			<u>0,0055</u>	0,0040	0,52	0,76
	AG	0,153	0,63	0,39	0,005	0,001			1,29	0,12	0,03	0,045	0,017		0,0013	<u>0,0125</u>	0,53	0,76
	AH	0,151	0,57	0,44	0,005	0,003			1,25	0,07	0,06	0,039			0,0011	0,0037	0,52	<u>0,66</u>
	AI	0,148	0,61	0,37	0,005	0,002			1,09	0,08	0,06	0,062			0,0012	0,0037	<u>0,47</u>	0,73

Tabela 3

	Componente do aço	Chapa de aço nº	Espessura da chapa (mm)	Método de produção	Temperatura de aquecimento (°C)	Razão de redução cumulativa não mais que 960°C e não menos que 900°C (%)	Temperatura de término da laminação a quente (°C)	Taxa de resfriamento após o término da laminação (°C/s)	Temperatura Ac ₃ (°C)	Temperatura de reaquecimento (°C)	Taxa de resfriamento após o reaquecimento (°C/s)	Temperatura de término do resfriamento acelerado (°C)
Aço da Invenção	A	1	40	Resfriamento direto	1260	52	923	11	--	--	--	<50
	A	2	20	Reaquecimento e resfriamento	1260	43	907	0.5	910	930	27	<50
	B	3	40	Resfriamento direto	1260	51	911	12	--	--	--	110
	B	4	30	Resfriamento direto	1260	60	912	18	--	--	--	<50
	C	5	45	Reaquecimento e resfriamento	1260	50	908	0.2	893	930	8	<50
	D	6	40	Resfriamento direto	1260	45	916	10	--	--	--	<50
	D	7	20	Resfriamento direto	1260	48	909	31	--	--	--	<50
	E	8	40	Resfriamento direto	1260	50	926	10	--	--	--	<50
	F	9	45	Resfriamento direto	1260	55	910	9	--	--	--	90
	G	10	40	Resfriamento direto	1260	54	918	10	--	--	--	<50
	H	11	40	Resfriamento direto	1260	44	912	10	--	--	--	<50

Tabela 3 (Continuação)

	Componente do aço	Chapa de aço nº	Espessura da chapa (mm)	Método de produção	Temperatura de aquecimento (°C)	razão de redução cumulativa não mais que 960°C e não menos que 900°C (%)	Temperatura de término da laminação a quente (°C)	Taxa de resfriamento após o término da laminação (°C/s)	Temperatura A_{C3} (°C)	Temperatura de reaquecimento (°C)	resfriamento após o reaquecimento Taxa de (°C/s)	Temperatura de término do resfriamento acelerado (°C)
Aço da Invenção	I	12	10	Reaquecimento e resfriamento	1260	49	905	0,9	909	930	55	<50
	I	13	40	Resfriamento direto	1260	52	911	11	--	--	--	<50
	J	14	32	Reaquecimento e resfriamento	1230	47	915	0,25	907	930	18	<50
	K	15	6	Reaquecimento e resfriamento	1230	51	909	1,6	901	930	108	<50
	K	16	16	Reaquecimento e resfriamento	1230	48	915	0,6	901	930	41	<50
	L	17	40	Resfriamento direto	1260	50	921	10	--	--	--	<50
Aço Comparativo	M	18	32	Resfriamento direto	1260	55	914	12	--	--	--	<50
	N	19	40	Resfriamento direto	1260	52	921	25	--	--	--	<50
	O	20	40	Resfriamento direto	1260	55	916	12	--	--	--	100
	P	21	40	Resfriamento direto	1260	53	915	11	--	--	--	<50
	Q	22	25	Resfriamento direto	1260	50	910	22	--	--	--	<50

Tabela 4

	Componente do aço	Chapa de aço nº	Espessura da chapa (mm)	Método de produção	Temperatura de aquecimento (°C)	Razão de redução cumulativa não mais que 960°C e não menos que 900°C (%)	Temperatura de aquecimento (°C)	Razão de redução cumulativa não mais que 960°C e não menos que 900°C (%)	Temperatura Ac ₃ (°C)	Temperatura de reaquecimento (°C)	Taxa de resfriamento após o reaquecimento (°C/s)	Temperatura de término do resfriamento acelerado (°C)
Aço Comparativo	R	23	40	Resfriamento direto	1260	44	914	10	--	--	--	<50
	S	24	40	Resfriamento direto	1260	52	910	10	--	--	--	<50
	T	25	40	Resfriamento direto	1260	51	918	10	--	--	--	<50
	U	26	25	Resfriamento direto	1260	52	920	24	--	--	--	120
	V	27	40	Resfriamento direto	1260	55	909	12	--	--	--	<50
	W	28	40	Resfriamento direto	1260	44	923	12	--	--	--	70
	X	29	40	Resfriamento direto	1260	50	911	10	--	--	--	<50
	Y	30	40	Resfriamento direto	1260	52	920	11	--	--	--	<50
	Z	31	40	Resfriamento direto	1260	49	910	11	--	--	--	90
	AA	32	40	Resfriamento direto	1260	48	916	11	--	--	--	110
	AB	33	40	Resfriamento direto	1260	50	921	12	--	--	--	<50

Tabela 4 (Continuação)

	Componente do aço	Chapa de aço nº	Espessura da chapa (mm)	Método de produção	Temperatura de aquecimento (°C)	Razão de redução cumulativa não mais que 960°C e não menos que 900°C (%)	Temperatura de aquecimento (°C)	Razão de redução cumulativa não mais que 960°C e não menos que 900°C (%)	Temperatura Ac ₃ (°C)	Temperatura de reaquecimento (°C)	Taxa de resfriamento após o reaquecimento (°C/s)	Temperatura de término do resfriamento acelerado (°C)
Aço Comparativo	AC	34	40	Resfriamento direto	1260	49	913	13	--	--	--	<50
	AD	35	40	Resfriamento direto	1260	50	913	12	--	--	--	<50
	AE	36	40	Resfriamento direto	1260	48	912	10	--	--	--	<50
	AF	37	40	Resfriamento direto	1260	55	913	11	--	--	--	<50
	AG	38	40	Resfriamento direto	1260	52	915	11	--	--	--	<50
	AH	39	40	Resfriamento direto	1260	52	920	10	--	--	--	<50
	AI	40	40	Resfriamento direto	1260	52	914	10	--	--	--	<50
	A	41	40	Resfriamento direto	<u>1150</u>	46	915	13	--	--	--	<50
	A	42	40	Resfriamento direto	1260	<u>15</u>	925	12	--	--	--	<50
	A	43	40	Resfriamento direto	1260	<u>75</u>	905	10	--	--	--	<50
	A	44	40	Resfriamento direto	1260	51	905	<u>0,4</u>	--	--	--	--

Cada uma dessas chapas de aço foi avaliada quanto à dureza à temperatura ambiente, resistência ao desgaste a 350°C, capacidade de trabalho de dobramento, e tenacidade.

5 A dureza à temperatura ambiente foi avaliada usando-se um método de teste de dureza Brinell (JIS Z 2243) para medir a dureza a 25°C. O valor almejado para a dureza à temperatura ambiente foi um valor de não menos que HB360 e não mais que HB440.

10 Conforme descrito acima, a resistência ao desgaste foi avaliada conduzindo-se um teste de desgaste usando-se um equipamento de teste de desgaste pin-on-disk prescrito na ASTM G99-05 com a temperatura da amostra mantida a 350°C, e então determinando-se a razão da resistência ao desgaste relativa a uma amostra padrão SS400 (quantidade de desgaste de SS400 / quantidade de desgaste da amostra de teste). O valor almejado para a resistência ao desgaste foi uma razão de resistência ao desgaste de
15 3,0 ou maior.

A avaliação da capacidade de trabalho de dobramento foi conduzida da maneira a seguir. A saber, usando-se o método prescrito na JIS Z 2248, um corpo de prova JIS No. 1 foi submetido a um teste de dobramento até 180° na direção C a um raio de dobramento de quatro vezes
20 a espessura da chapa (4t), e após o teste de dobramento, a aparência externa da porção curvada do corpo de prova foi examinada. A chapa de aço foi considerada como tendo passado se nenhuma fratura ou outros defeitos foram observados no lado de fora da porção curvada.

A avaliação da tenacidade foi conduzida da forma descrita
25 abaixo. A saber, um corpo de prova do teste Charpy nº 4 prescrita na JIS Z 2201 foi amostrada do centro da espessura da chapa em uma direção ortogonal à direção de laminação, um teste de impacto foi executado a -40°C, e foi medida a energia de absorção. Três corpos de prova foram submetidas a testes de impacto a -40°C, e o valor médio para a energia de
30 absorção foi determinado. O valor almejado para a tenacidade foi um valor médio de não menos que 27 J.

Os resultados obtidos estão listados nas Tabelas 5 e 6.

Nas Tabelas 1 a 6, os valores numéricos sublinhados representam valores de componentes fora das faixas especificadas pela presente invenção, ou condições de temperatura ou propriedades insatisfatórias.

5

Tabela 5

	Chapa de aço nº	Dureza Brinell a 25°C (HB10/3000)	Razão de resistência ao desgaste a 350°C	Teste de dobramento 4t	Energia de absorção a -40°C (J)
Aço da Invenção	1	378	3,59	Passou	59
	2	399	3,96	Passou	61
	3	393	3,79	Passou	53
	4	406	4,12	Passou	45
	5	391	3,82	Passou	65
	6	376	3,56	Passou	57
	7	395	4,06	Passou	51
	8	379	3,88	Passou	52
	9	382	3,65	Passou	63
	10	384	3,77	Passou	64
	11	377	3,47	Passou	61
	12	372	3,50	Passou	54
	13	396	3,76	Passou	46
	14	401	3,92	Passou	57
	15	381	3,82	Passou	69
	16	401	4,11	Passou	55
	17	375	3,74	Passou	57
Aço Comparativo	18	<u>348</u>	<u>2,92</u>	Passou	76
	19	420	3,79	Falhou	37
	20	363	<u>2,47</u>	Passou	61
	21	387	4,09	Falhou	<u>20</u>
	22	386	3,88	Falhou	54

Tabela 6

	Chapa de aço nº	Dureza Brinell a 25°C (HB10/3000)	Razão de resistência ao desgaste a 350°C	Teste de dobramento 4t	Energia de absorção a -40°C (J)
Aço Comparativo	23	373	<u>2,62</u>	Passou	59
	24	395	3,76	Falhou	<u>16</u>
	25	392	3,82	Falhou	<u>18</u>
	26	386	3,47	Passou	<u>22</u>
	27	<u>347</u>	<u>2,74</u>	Passou	50
	28	413	3,82	Passou	<u>18</u>
	29	364	<u>2,89</u>	Passou	57
	30	399	4,31	Passou	<u>20</u>
	31	384	3,71	Passou	<u>18</u>
	32	368	<u>2,80</u>	Passou	31
	33	<u>351</u>	3,19	Passou	45
	34	363	3,08	Passou	<u>21</u>
	35	371	3,85	Passou	<u>19</u>
	36	<u>315</u>	<u>1,79</u>	Passou	81
	37	380	3,50	Passou	<u>19</u>
	38	379	3,53	Passou	<u>15</u>
	39	372	<u>2,80</u>	Passou	45
	40	<u>349</u>	3,20	Passou	58
	41	372	<u>2,62</u>	Passou	30
	42	387	3,62	Falhou	<u>20</u>
	43	361	<u>2,53</u>	Passou	65
	44	<u>312</u>	<u>1,64</u>	Passou	100

Nos aços n^{os} 1 a 17 que representam exemplos da presente invenção na Tabela 5, todos os valores para a dureza à temperatura ambiente, resistência ao desgaste a 350°C, capacidade de trabalho de dobramento, e tenacidade mencionados acima satisfizeram os respectivos valores almejados. Em contraste, nos aços n^{os} 18 a 40 dos exemplos

comparativos, nos quais a composição do aço saiu da faixa da composição química especificada na presente invenção, embora a produção do aço tenha sido conduzida usando-se o método da presente invenção, pelo menos uma da dureza à temperatura ambiente, a resistência ao desgaste a 350°C, a capacidade de trabalho de dobramento ou a tenacidade não satisfizeram o valor almejado. Além disso, nos aços n^{os} 41 a 44, nos quais a composição do aço satisfaz a faixa especificada na presente invenção, mas o método de produção saiu do método prescrito na presente invenção, pelo menos um da dureza à temperatura ambiente, a resistência ao desgaste a 350°C, a capacidade de trabalho de dobramento ou a tenacidade falhou em satisfazer o valor almejado.

Aplicabilidade Industrial

De acordo com a presente invenção, uma chapa de aço resistente ao desgaste tendo uma dureza à temperatura ambiente da classe HB400, que indica uma capacidade de trabalho de dobramento favorável, tem um alto grau de resistência ao desgaste mesmo sob condições de alta temperatura de 300°C a 400°C, e é muito econômico pode ser produzido com relativa facilidade. Como resultado, a presente invenção pode ser usada favoravelmente para construção de maquinário industrial e membros de maquinário industrial que requeiram resistência superior ao desgaste sob condições de alta temperatura, tais como cesta de escavadeira nas quais o calor friccional é gerado como resultado de impactos fortes, e funis para coque sinterizado que são expostos a impactos com corpos a alta temperatura.

REIVINDICAÇÕES

1. Chapa de aço resistente ao desgaste, caracterizada pelo fato de que a chapa de aço compreende, em termos de % em massa,

5 C: não menos que 0,13% e não mais que 0,18%,

Si: não menos que 0,5% mas menos que 1,0%,

Mn: não menos que 0,2% e não mais que 0,8%,

P: não mais que 0,020%,

S: não mais que 0,010%,

Cr: não menos que 0,5% e não mais que 2,0%,

10 Mo: não menos que 0,03% e não mais que 0,30%,

Nb: mais que 0,03% mas não mais que 0,10%,

Al: não menos que 0,01% e não mais que 0,20%,

B: não menos que 0,0005% e não mais que 0,0030%, e

N: não mais que 0,010%,

15 com o restante sendo Fe e as inevitáveis impurezas,

em que a composição de elementos é tal que HI definido abaixo é 0,7 ou maior e o Ceq definido abaixo excede 0,50, e

o valor HB (Dureza Brinell) a 25°C é de não menos que 360 e não mais que 440,

20
$$HI = [C] + 0,59[Si] - 0,58[Mn] + 0,29[Cr] + 0,39[Mo] + 2,11([Nb] - 0,02) - 0,72[Ti] + 0,56[V]$$

$$Ceq = [C] + [Si]/24 + [Mn]/6 + [Ni]/40 + [Cr]/5 + [Mo]/4 + [V]/14$$

em que [C], [Si], [Mn], [Ni], [Cr], [Mo], [Nb], [Ti] e [V] representam quantidades (% em massa) de C, Si, Mn, Ni, Cr, Mo, Nb, Ti e V, respectivamente.

25 2. Chapa de aço resistente ao desgaste de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de que a chapa de aço também compreende, em termos de % em massa, um ou mais elementos selecionados do grupo consistindo em Cu: não menos que 0,05% e não
30 mais que 1,5%, Ni: não menos que 0,05% e não mais que 1,0%, Ti: não menos que 0,003% e não mais que 0,03%, e V: não menos que 0,01% e não mais que 0,20%.

3. Método para produção de uma chapa de aço resistente ao desgaste como definida na reivindicação 1 ou 2, caracterizado pelo fato de que o método compreende:

- aquecer uma placa tendo uma composição conforme definida na
- 5 reivindicação 1 ou 2 até uma temperatura de pelo menos 1.200°C, conduzir a laminação a quente com uma razão de redução cumulativa de não menos que 30% e não mais que 65% a uma temperatura de não mais que 960°C e não menos que 900°C, terminar a mencionada laminação a quente a uma temperatura de não menos que 900°C; e
- 10 após o término da mencionada laminação a quente, ou executar imediatamente o resfriamento acelerado até uma temperatura de 200°C ou menor de forma que a taxa de resfriamento na porção central da espessura da chapa seja pelo menos 5°C/s, ou conduzir o resfriamento até uma temperatura de 200°C ou menor, subsequentemente reaquecendo até uma
- 15 temperatura de não menos que o ponto de transformação Ac_3 , e então executando-se o resfriamento acelerado até uma temperatura de 200°C ou menor de forma que a taxa de resfriamento dentro da porção central da espessura da chapa seja de pelo menos 5°C/s.

FIG. 1

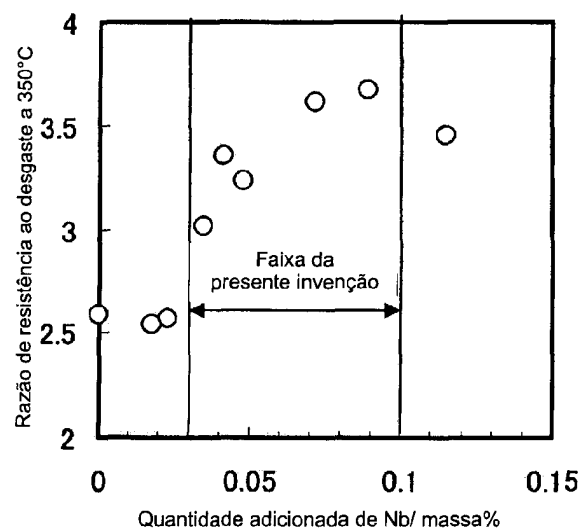


FIG. 2

