



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

(11) PI 0918859-2 B1



(22) Data do Depósito: 30/10/2009

(45) Data de Concessão: 04/05/2021

(54) Título: TRILHO PERLÍTICO TENDO RESISTÊNCIA SUPERIOR À ABRASÃO E EXCELENTE TENACIDADE

(51) Int.Cl.: C22C 38/04; C22C 38/58; C21C 7/00; C21C 7/04.

(30) Prioridade Unionista: 31/10/2008 JP 2008-281847.

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

(72) Inventor(es): MASAHARU UEDA; KAZUNORI SEKI; TAKUYA SATOU; TAKESHI YAMAMOTO.

(86) Pedido PCT: PCT JP2009005800 de 30/10/2009

(87) Publicação PCT: WO 2010/050238 de 06/05/2010

(85) Data do Início da Fase Nacional: 18/03/2011

(57) Resumo: TRILHO DE PERLITA TENDO RESISTÊNCIA SUPERIOR À ABRASÃO E EXCELENTE TENACIDADE A presente invenção refere-se a um trilho perlita que consiste em um aço incluindo: em termos de percentual em massa, C: 0,65 a 1,20%; Si: 0,05 a 2,00%; Mn: 0,05 a 2,00%; P menor igual a 0,0150%; S menor igual a 0,0100%; Ca: 0,0005 a 0,0200%, e Fe e as inevitáveis impurezas como saldo, em que a porção de superfície da cabeça que varia das superfícies das porções de canto da cabeça e a porção de topo da cabeça até uma profundidade de 10 mm têm uma estrutura perlita, a dureza Hv da estrutura perlita está em uma faixa de 320 a 500, e inclusões à base de sulfeto de Mn tendo comprimentos principais em uma faixa de 10 a 100 µm estão presentes em uma quantidade por unidade de área em uma faixa de 10 a 200/mm² em uma seção transversal tirada ao longo da direção do comprimento na estrutura perlita.

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para **"TRILHO PERLÍTICO TENDO RESISTÊNCIA SUPERIOR À ABRASÃO E EXCELENTE TENACIDADE"**.

CAMPO TÉCNICO

[001] A presente invenção refere-se a um trilho perlítico usado para transporte ferroviário de mercadorias para o exterior no qual tanto a resistência à abrasão (resistência ao desgaste) quanto à tenacidade são melhoradas na porção da cabeça do trilho.

[002] O presente pedido reivindica prioridade sobre o Pedido de Patente Japonês Nº 2008-281847 registrado no Japão em 31 de outubro de 2008, cujo teor está aqui incorporado como referência.

ANTECEDENTES DA TÉCNICA

[003] Em conjunção com o desenvolvimento econômico, novos desenvolvimentos de recursos naturais, tais como carvão e similares, estão progredindo. Especificamente, a mineração está em curso em regiões com um ambiente natural severo que não foram desenvolvidas até agora. Consequentemente, o ambiente da linha férrea está se tornando notavelmente severo em transporte ferroviário de mercadorias para o exterior usado para transportar recursos naturais. Há uma demanda por trilhos que tenham tenacidade ou similar em regiões com clima frio em adição a uma resistência ao desgaste maior do que nunca. Em tais circunstâncias, há a demanda para desenvolver trilhos que tenham maior resistência ao desgaste e maior tenacidade que os trilhos de alta resistência usados atualmente.

[004] Em geral, é sabido que o refino de uma estrutura perlítica, especificamente refino de grão em uma estrutura austenítica que será transformada em perlita ou o refino de blocos de perlita é eficaz para melhorar a tenacidade de um aço perlítico. Para alcançar o refino de grão em uma estrutura austenítica, durante a laminação a quente, a temperatura de laminação é diminuída e a taxa de redução da lamina-

ção é aumentada e, além disso, é implementado um tratamento térmico por um reaquecimento a baixa temperatura após a laminação a quente dos trilhos. Em adição, para alcançar o refino de uma estrutura perlítica, a transformação de perlita começando do interior dos grãos de austenita é acelerada utilizando-se núcleos de transformação ou similares.

[005] Entretanto, na produção de trilhos, do ponto de vista de garantir a capacidade de conformação durante a laminação a quente, há limitações sobre uma redução da temperatura de laminação e um aumento da taxa de redução da laminação; e assim um refino suficiente dos grãos de austenita não pode ser alcançado. Em adição, em relação à transformação de perlita a partir do interior dos grãos de austenita utilizando-se núcleos de transformação, há problemas pelo fato de que é difícil de controlar a quantidade de núcleos de transformação, e a transformação de perlita a partir do interior dos grãos não é estável; e assim um refino suficiente de uma estrutura perlítica não pode ser alcançado.

[006] Devido a esses problemas, foi aplicado um método para melhorar fundamentalmente a tenacidade dos trilhos que tenham estrutura perlítica nos quais o reaquecimento a baixa temperatura é conduzido após a laminação a quente do trilho, e então a transformação em perlita é executada pelo resfriamento acelerado de modo a refinar a estrutura perlítica. Entretanto, recentemente, trilhos foram feitos para incluir um alto teor de carbono para melhorar a resistência ao desgaste; e, portanto, há o problema pelo fato de que carbonetos brutos permanecem dentro dos grãos de austenita durante o tratamento descrito acima de reaquecimento a baixa temperatura, o que diminui a ductilidade e a tenacidade de uma estrutura perlítica após o resfriamento acelerado. Em adição, uma vez que esse método inclui reaquecimento, há um outro problema em relação à eficiência econômica, tais co-

mo alto custo de produção, uma baixa produtividade ou similar.

[007] Consequentemente, há uma demanda para desenvolver um método para produzir um trilho de aço de alto teor de carbono que garanta a capacidade de conformação durante a laminação e o refino da estrutura perlítica após a laminação a quente. Para resolver esse problema, foram desenvolvidos os métodos de produção de trilhos de alto teor de carbono mostrados abaixo. As principais características desses métodos para produzir um trilho são o fato de que os grãos de austenita no aço de alto teor de carbono são facilmente recristalizados a uma temperatura relativamente baixa e mesmo uma pequena redução da taxa de laminação é utilizada de modo a refinar a estrutura perlítica. Como resultado, grãos finos com diâmetros de grão similares são obtidos por laminação contínua sob uma pequena taxa de redução de laminação; e assim a ductilidade e a tenacidade do aço perlítico é melhorada (por exemplo, Documentos Patentários 1, 2 e 3).

[008] O Documento Patentário 1 descreve que um trilho tendo alta ductilidade pode ser fornecido conduzindo-se 3 ou mais passes contínuos de laminação com um intervalo de tempo predeterminado na laminação de acabamento de um trilho de aço de alto teor de carbono.

[009] O Documento Patentário 2 descreve que um trilho tendo resistência superior ao desgaste e alta tenacidade pode ser fornecido conduzindo-se dois ou mais passes contínuos de laminação com um intervalo de tempo predeterminado na laminação de acabamento de um trilho de aço de alto teor de carbono, e além disso conduzindo-se resfriamento acelerado após a laminação contínua.

[0010] O Documento Patentário 3 descreve que um trilho tendo resistência superior ao desgaste e alta tenacidade pode ser fornecido conduzindo-se resfriamento entre passes de laminação na laminação de acabamento de um trilho de aço de alto teor de carbono, e conduzindo-se resfriamento acelerado após a laminação contínua.

[0011] As tecnologias descritas pelos Documentos Patentários 1 a 3 podem alcançar o refino de uma estrutura austenítica a certo nível e apresentar uma leve melhoria na tenacidade pela combinação da temperatura, do número de passes de laminação e do intervalo de tempo entre os passes durante a laminação a quente contínua. Entretanto, há o problema pelo fato de que essas tecnologias não apresentam nenhum efeito em relação às fraturas iniciadas a partir de inclusões presentes no aço; e assim a tenacidade não é fundamentalmente melhorada.

[0012] Além disso, a taxa de crescimento dos grãos de uma estrutura austenítica é rápida em um aço de alto teor de carbono. Como resultado, grãos de uma estrutura austenítica que são refinados por laminação crescem após a laminação e, portanto, há o problema de que a tenacidade de um trilha tratado termicamente não é melhorada mesmo no caso em que o resfriamento acelerado é conduzido.

[0013] Considerando-se essas circunstâncias, a adição de Ca, a redução do teor de oxigênio, e a redução do teor de Al foram estudadas para suprimir a geração de inclusões típicas em trilhos, isto é, MnS ou Al_2O_3 . As características desses métodos de produção são que MnS é trocado por CaS pela adição de Ca no tratamento preliminar do metal quente de modo a torná-lo inofensivo, e além disso, o teor de oxigênio é reduzido tanto quanto possível pela adição de elementos desoxidantes ou aplicando-se um tratamento a vácuo de modo a reduzir a quantidade de inclusões no aço fundido, e cujas tecnologias foram estudadas (por exemplo, Documentos Patentários 4, 5 e 6).

[0014] A tecnologia no Documento Patentário 4 descreve um método para produção de um aço fundido de alto teor de carbono de alta limpeza acalmado a alumínio no qual a quantidade adicionada de Ca é otimizada para fixar S como CaS, e assim a quantidade de inclusões alongadas à base de MnS é reduzida. Nessa tecnologia, o S que se-

grega e concentra em um processo de solidificação reage com o Ca que segrega e concentra similarmente, ou silicato de cálcio gerado no aço fundido; e assim o S é fixado sequencialmente como CaS. Como resultado, a geração de inclusões alongadas de MnS é suprimida.

[0015] A tecnologia no Documento Patentário 5 descreve um método para produzir um aço fundido de alto teor de carbono e alta limpeza no qual a quantidade de inclusões de MnO é reduzida; e portanto a quantidade de inclusões de MnS alongadas precipitadas do MnO é reduzida. Nessa tecnologia, um aço é vazado em um estado não desoxidado ou num estado fracamente desoxidado após ser fundido em um forno de refino de atmosfera, e então é conduzido um tratamento a vácuo a um grau de vácuo de 0,13 kPa (1 Torr) ou menos de modo a fazer o teor de oxigênio dissolvido estar em uma faixa de 30 ppm ou menos. A seguir, são adicionados Al e Si e então é adicionado Mn. Assim, o número de produtos da desoxidação secundária é reduzido os quais se tornarão núcleos de cristalização do MnS que cristaliza em porções finamente solidificadas, e a concentração de MnO em óxidos é diminuída. Assim, a cristalização de MnS é suprimida.

[0016] A tecnologia no Documento Patentário 6 descreve um método para produção de aço fundido de alto teor de carbono e alta limpeza com quantidades reduzidas de oxigênio e Al no aço fundido. Nessa tecnologia, um trilha tendo uma resistência superior ao dano pode ser produzido limitando-se a quantidade total de oxigênio com base na relação entre o valor total do oxigênio nas inclusões à base de óxido e os danos materiais. Além disso, a resistência ao dano de trilhos pode ser também melhorada limitando-se a quantidade de Al solvido sólido ou a composição das inclusões em uma faixa preferível.

[0017] As tecnologias descritas acima, descritas nos Documentos Patentários 4 a 6, controlam as configurações e quantidades de inclusões à base de MnS e Al geradas em um estado de bloco. Entretanto,

a configuração de inclusões é alterada durante a laminação a quente na laminação de trilhos. Em particular, inclusões à base de sulfeto de Mn alongadas na direção do comprimento pela laminação agem como pontos de partida de fraturas nos trilhos e, portanto, há o problema de que a resistência ao dano ou a tenacidade dos trilhos não podem ser estavelmente melhoradas no caso em que apenas inclusões no estágio de blocos são controladas.

[0018] Em adição, a aplicação de precipitados foi estudada para suprimir o crescimento de grão de uma estrutura austenítica após a laminação a quente. As características desse método de produção são que os elementos de ligação são adicionados e carbonitreto são precipitados de modo a fixar uma estrutura austenítica, e assim o crescimento do grão é suprimido. Consequentemente, uma estrutura tratada termicamente é refinada, e a tenacidade é melhorada (por exemplo, Documento Patentário 7).

[0019] Na tecnologia do Documento Patentário 7, V e Nb são adicionados, e carbonitreto de V e Nb são precipitados. Além disso, é conduzido um resfriamento acelerado dependendo das quantidades adicionadas de V e Nb, e o crescimento de grão de uma estrutura austenítica após a laminação a quente é controlado; e assim a estrutura perlítica é refinada e a tenacidade do trilho é melhorada.

[0020] Na tecnologia descrita no Documento Patentário 7, elementos de ligação são adicionados e carbonitreto são precipitados de modo a fixar uma estrutura austenítica, e assim o crescimento dos grãos é suprimido. Entretanto, a quantidade de carbonitreto gerada dos elementos de ligação variam grandemente dependendo da temperatura de laminação e da taxa de redução da laminação. Como resultado, ocorre uma enorme variação nos efeitos de supressão do crescimento do grão, e o embrutecimento dos grãos de cristal ocorre parcialmente. Portanto, há um problema pelo fato de que a resistência ao

dano e a tenacidade dos trilhos não podem ser estavelmente melhoradas pelos carbonitretos de elementos de ligação sozinhos.

[0021] Em adição, a tecnologia descrita no Documento Patentário 7 alcança apenas o refino de uma estrutura austenítica. Essa tecnologia não tem efeito nos danos devido às inclusões à base de sulfeto de Mn alongadas no sentido do comprimento pela laminação; e assim há um problema pelo fato de que a resistência ao dano e a tenacidade dos trilhos não podem ser estavelmente melhoradas.

[0022] Além disso, nas tecnologias descritas nos Documentos Patentários 4 a 7, ocorre fragilização em uma estrutura devido à alteração nos componentes de um aço, particularmente a alteração de componentes ali misturados como impurezas. Portanto, há um problema pelo fato de que a resistência ao dano e a tenacidade dos trilhos não podem ser estavelmente melhoradas pelo controle das inclusões devidas à adição de elementos de ligação e à redução do teor de oxigênio, e pelo refino de uma estrutura austenítica devido à aplicação de precipitados.

[0023] Dessas circunstâncias, tornou-se desejável fornecer um trilho perlítico tendo resistência ao desgaste e tenacidade superiores no qual tanto a resistência ao desgaste quanto a tenacidade da estrutura perlítica são melhoradas.

DOCUMENTOS DA TÉCNICA ANTERIOR

Documentos Patentários

[0024] Documento Patentário 1: Publicação de Pedido de Patente Japonês não Examinado N° H07-173530

[0025] Documento Patentário 2: Publicação de Pedido de Patente Japonês não Examinado N° 2001-234238

[0026] Documento Patentário 3: Publicação de Pedido de Patente Japonês não Examinado N° 2002-226915

[0027] Documento Patentário 4: Publicação de Pedido de Patente

Japonês não Examinado Nº H05-171247

[0028] Documento Patentário 5: Publicação de Pedido de Patente
Japonês não Examinado Nº H05-263121

[0029] Documento Patentário 6: Publicação de Pedido de Patente
Japonês não Examinado Nº 2001-220651

[0030] Documento Patentário 7: Publicação de Pedido de Patente
Japonês não Examinado Nº 2007-291413

DESCRIÇÃO DA INVENÇÃO

Problemas a serem resolvidos pela invenção

[0031] A presente invenção foi feita em consideração aos problemas acima, e o objetivo da presente invenção é fornecer um trilho perlítico, no qual tanto a resistência ao desgaste quanto a tenacidade são melhoradas na porção da cabeça que estão particularmente em demanda como um trilho para transporte de mercadorias para o exterior.

Meios para resolver os problemas

[0032] A presente invenção tem as características a seguir.

[0033] Um trilho perlítico conforme a presente invenção consiste em um aço que inclui, em termos de percentual em massa, C: 0,65% a 1,20%, Si: 0,05% a 2,00%, Mn: 0,05% a 2,00%, $P \leq 0,0150\%$, $S \leq 0,0100\%$, Ca: 0,0005% a 0,0200%, e o saldo sendo composto por Fe e as inevitáveis impurezas. Em uma porção da cabeça do trilho, a porção da superfície da cabeça que varia das superfícies das porções de canto da cabeça e a porção de topo da cabeça até uma profundidade de 10 mm tem uma estrutura perlítica, e a dureza Hv da estrutura perlítica está na faixa de 320 a 500. As inclusões à base de sulfeto de Mn tendo comprimentos principais numa faixa de 10 a 100 μm estão presentes em uma quantidade por unidade de área em uma faixa de 10 to 200/ mm^2 em uma seção transversal (a seção transversal paralela à direção longitudinal do trilho) tomada ao longo da direção do comprimento na estrutura perlítica.

[0034] Qui, Hv se refere à dureza Vickers definida pela JIS B7774.

[0035] No trilho perlítico conforme a presente invenção, o aço pode também incluir, em termos de percentual em massa, ou um ou ambos entre Mg: 0,0005 a 0,0200% e Zr: 0,0005 a 0,0100%, e óxidos à base de Mg, óxidos à base de Zr, e inclusões à base de sulfeto de Mn tendo diâmetro de grão numa faixa de 5 m a 100 nm podem estar presentes em uma quantidade por unidade de área em uma faixa de 500 a 40.000/mm² em uma seção transversal (uma seção transversal paralela à direção da largura do trilho) na estrutura perlítica.

[0036] O aço pode também incluir, em termos de percentual em massa, um ou mais entre os componentes de aço descrito nos itens (1) a (9) a seguir.

[0037] (1) Co: 0,1% a 1,00%

[0038] (2) ou um ou ambos entre Cr: 0,01% a 2,00% e Mo: 0,01% a 0,50%

[0039] (3) ou um ou ambos entre V: 0,005% a 0,50% e Nb: 0,002% a 0,050%

[0040] (4) B: 0,0001% a 0,0050%

[0041] (5) Cu: 0,01% a 1,00%

[0042] (6) Ni: 0,01% a 1,00%

[0043] (7) Ti: 0,0050% a 0,0500%

[0044] (8) Al: mais que 0,0100% a 1,00%

[0045] (9) N: 0,0060 a 0,0200%

Efeitos da Invenção

[0046] De acordo com a presente invenção, os componentes, a estrutura e a dureza de um aço para trilhos são controlados e, em adição, os teores de P e S são reduzidos, Ca é adicionado, e o número de inclusões à base de sulfeto de Mn é controlado. Assim, a resistência ao desgaste e a tenacidade de uma estrutura perlítica é melhorada; e como resultado, é possível melhorar o período de uso de um trilho,

particularmente, para transporte ferroviário de mercadorias para o exterior (ferrovias de transporte para o exterior). Além disso, é possível também melhorar a tenacidade da estrutura perlítica pela adição de Mg e Zr e controlar o número de inclusões à base de sulfetos finos de Mn e óxidos à base de Mg e Zr; e, como resultado, é possível também melhorar o período de uso.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

[0047] A figura 1 é uma vista mostrando designações nominais das porções em uma seção transversal (a seção transversal perpendicular à direção do comprimento) do trilho de aço conforme a presente invenção.

[0048] A figura 2 é uma vista mostrando os efeitos da adição de Ca e da adição de Mg e Zr na relação entre a quantidade de S e o valor de impacto que são resultados obtidos fundindo-se aços nos quais a quantidade de S é alterada, a quantidade de P está em uma faixa de 0,0150% ou menos, a quantidade de carbono é 1,00%, e Ca, Mg e Zr são adicionados, conduzindo uma fusão de laboratório e um teste de laminação que simule condições equivalentes às de laminação para trilhos, e conduzindo um teste de impacto.

[0049] A figura 3 é uma vista mostrando o local de observação de inclusões à base de sulfeto de Mn no trilho de aço conforme a reivindicação 1.

[0050] A figura 4 é uma vista mostrando a localização da observação de inclusões de sulfeto à base de Mn, óxidos à base de Mg e óxidos de Zr no aço para trilhos de acordo com a reivindicação 2.

[0051] A figura 5 é uma vista mostrando a localização onde as espécimes são tiradas para o teste de desgaste.

[0052] A figura 6 é uma vista mostrando o esboço do teste de desgaste.

[0053] A figura 7 é uma vista mostrando a localização de onde os

espécimes são tirados para o teste de impacto.

[0054] A figura 8 é uma vista mostrando a relação entre a quantidade de carbono e a quantidade de desgaste nos resultados do teste de desgaste dos aços para trilhos, conforme a presente invenção os aços para trilhos comparativos (Aços N^{os} 48, 50, 51, 52, 53, 64, 66 e 67).

[0055] A figura 9 é uma vista mostrando a relação entre a quantidade de carbono e o valor de impacto nos resultados do teste de impacto dos aços para trilhos conforme a presente invenção e os aços para trilhos comparativos (Aços N^{os} 49, 51, 53, 65, 66 e 68).

[0056] A figura 10 é uma vista mostrando a relação entre a quantidade de carbono e o valor de impacto nos resultados do teste de impacto dos aços para trilhos conforme a presente invenção e os aços para trilhos comparativos (Aços N^{os} 54 a 63 e trilhos com quantidades adicionadas de P, S e Ca fora das faixas da presente invenção).

[0057] A figura 11 é uma vista mostrando a relação entre a quantidade de carbono e o valor de impacto nos resultados do teste de impacto dos aços para trilhos conforme a presente invenção (Aços N^{os} 11 a 13, 18 a 20, 24 a 26, 29 a 31, 33 a 35, 36 a 38 e 45 a 47).

MELHOR MODO DE EXECUÇÃO DA INVENÇÃO

[0058] A seguir serão descritos em detalhes, como configurações para execução da presente invenção, trilhos perlíticos com resistência ao desgaste e tenacidade superiores. Aqui, as unidades dos teores de elementos de ligação são % em massa e, daqui por diante, expressos simplesmente como %.

[0059] A figura 1 mostra a seção transversal perpendicular à direção do comprimento do trilho perlítico tendo resistência ao desgaste e tenacidade superiores conforme a presente invenção. A porção da cabeça do trilho 3 inclui uma porção de topo da cabeça 1 e porções de canto da cabeça 2 situadas em ambas as extremidades da porção de

topo da cabeça 1. Uma das porções de canto da cabeça 2 é uma porção de canto de calibre (G. C.) que entra principalmente em contato com as rodas.

[0060] A porção variando entre as superfícies das porções de canto da cabeça 2 e a porção de topo da cabeça 1 até uma profundidade de 10 mm é chamada a porção de superfície da cabeça 3a (área da linha sólida diagonal). Em adição, uma porção variando das superfícies das porções de canto da cabeça 2 e a porção de topo 1 até uma profundidade de 20 mm é dada um número de referência 3b (área da linha pontilhada diagonal).

[0061] Inicialmente, os inventores da presente invenção estudaram um sistema componente de aço que tem um mau efeito na tenacidade dos trilhos. Um teste de fusão e um teste de laminação a quente que simularam as condições de laminação a quente equivalentes para trilhos foram conduzidas usando-se aços cujos teores de P e S foram variados enquanto se utilizavam aços tendo uma quantidade variada de carbono como uma base; e assim foram produzidos protótipos de trilhos. Então, os valores de impacto dos protótipos foram medidos por um teste de impacto, e foram estudados os efeitos dos teores de P e S nos valores de impacto.

[0062] Como resultado, em relação aos aços perlita tendo níveis de Hv de 320 a 500, foi observado que os valores de impacto foram melhorados no caso em que ambos os teores de P e de S foram reduzidos a um certo valor ou menos.

[0063] Além disso, como resultado do estudo dos teores ótimos de P e S, foi observado que os valores de impacto foram grandemente melhorados no caso em que ambos os teores de P e de S foram reduzidos a um certo valor ou menos.

[0064] A seguir, os inventores da presente invenção tentaram esclarecer os fatores que dominam os valores de impacto para assim

melhorar os valores de impacto de trilhos. Como resultado, foi observado que trilhos tendo baixos valores de impacto incluíram muitas inclusões à base de sulfeto de Mn alongadas na direção do comprimento pela laminação a quente, e essas inclusões agiram como pontos de partida de fraturas.

[0065] Então os inventores da presente invenção esclareceram o mecanismo de geração de inclusões à base de sulfeto de Mn alongadas na direção do comprimento. Quando se produzem trilhos, um bloco é reaquecido até uma temperatura numa faixa de 1200°C a 1300°C, e então o bloco é submetido à laminação a quente. Os inventores investigaram a relação entre as condições de laminação a quente e a configuração de MnS. Como resultado, foi observado que, no caso em que a temperatura de laminação foi alta ou no caso em que a taxa de redução da laminação foi alta durante a laminação, a deformação plástica das inclusões macias à base de sulfeto de Mn ocorreram facilmente; e assim as inclusões à base de sulfeto de Mn foram facilmente alongadas na direção do comprimento dos trilhos.

[0066] Em vista dessas circunstâncias, os inventores da presente invenção estudaram métodos para suprimir o alongamento das inclusões à base de sulfeto de Mn. Como resultado da condução do teste de fusão e do teste de laminação a quente, foi observado que as inclusões à base de sulfeto de Mn foram geradas de vários tipos de óxidos como núcleos. Além disso, com o resultado da investigação da dureza dos óxidos e das configurações das inclusões à base de sulfeto de Mn, foi observado que o alongamento podia ser suprimido endurecendo-se as inclusões que agiram como núcleos das inclusões à base de sulfeto de Mn.

[0067] Além disso, os inventores da presente invenção estudaram inclusões duras que agiram como núcleos de inclusões à base de sulfeto de Mn. Como resultado da condução de um teste de laboratório

usando óxidos com alto ponto de fusão, foi descoberto que o Ca com um ponto de fusão relativamente alto formou sulfetos e óxidos, e formou agregados CaO-CaS. Em adição, os inventores descobriram que, uma vez que o CaS tem uma alta consistência com as inclusões à base de sulfeto de Mn, essas inclusões foram eficientemente geradas nos agregados dos óxidos e sulfetos de Ca (CaO-CaS).

[0068] Aqui, a consistência refere-se à diferença de parâmetro de reticulado (distância interatômica) nos planos do cristal nas estruturas cristalinas dos dois metais. Quanto menor for a diferença, maior é a consistência. Isto é, é considerado que dois metais são facilmente aglutinados.

[0069] A seguir, os inventores da presente invenção conduziram teste de fusão e um teste de laminação a quente usando aços incluindo Ca para verificar a observação acima. Como resultado, foi observado que inclusões à base de sulfeto de Mn geradas a partir dos agregados dos [óxidos e sulfetos de Ca (CaO-CaS) agindo como núcleos foram raramente alongados após a laminação a quente; e consequentemente o número de inclusões à base de sulfeto de Mn alongadas na direção do comprimento foi diminuído.

[0070] Além disso, como resultado da condução de um teste de impacto usando os aços, foi observado que em relação aos aços nos quais Ca foi adicionado e o número de inclusões à base de sulfeto de Mn foi pequeno, a ocorrência de fraturas iniciando a partir das inclusões à base de sulfeto de Mn foi diminuída; e como resultado, os valores de impacto foram melhorados.

[0071] Em adição, para também suprimir o alongamento das inclusões à base de sulfeto de Mn, os inventores da presente invenção estudaram a relação entre a quantidade adicionada de Ca e a quantidade adicionada de S que permitem que os óxidos e sulfetos formem agregados pela condução do teste de fusão e de um teste de lamina-

ção a quente. Como resultado, foi observado que um número adequado de sulfetos de Ca foram gerados e finamente dispersos pelo controle da razão da quantidade adicionada de S e a quantidade adicionada de Ca; e consequentemente, foi possível também suprimir o alongamento das inclusões à base de sulfeto de Mn após a laminação a quente.

[0072] Além disso, em adição à supressão da geração de inclusões à base de sulfeto de Mn tendo um mau efeito na tenacidade, os inventores da presente invenção estudaram métodos que suprimem o crescimento dos grãos de uma estrutura austenítica após a laminação a quente pelo uso de inclusões à base de sulfeto de Mn e óxidos. Como resultado do teste de fusão e do teste de laminação a quente, foi descoberto que é necessário dispersar finamente óxidos nanométricos e inclusões à base de sulfeto de Mn, de elementos de ligação usados anteriormente, em uma estrutura austenítica como elementos de fixação para suprimir estavelmente o crescimento do grão da estrutura austenítica.

[0073] Em vista dessas circunstâncias, os inventores da presente invenção estudaram métodos que dispersam finamente óxidos e inclusões à base de sulfeto de Mn. Como resultado, foi observado que óxidos de Mg e de Zr não agregaram, mas foram finamente e uniformemente dispersados. Além disso, foi observado que, uma vez que tanto óxidos à base de Mg quanto óxidos de Zr têm uma boa consistência com inclusões à base de sulfeto de Mn, essas inclusões foram também finamente dispersadas com os óxidos finos como núcleos.

[0074] A seguir, os inventores da presente invenção conduziram um teste de laminação a quente usando aços incluindo Mn e Zr. Como resultado, foi observado que óxidos nanométricos e inclusões à base de sulfeto de Mn foram finamente dispersados, e o crescimento do grão de uma estrutura austenítica após a laminação a quente pode ser

suprimido. Além disso, como resultado da condução de um teste de impacto usando-se esses aços, foi observado que valores de impacto foram melhorados pelo refino de uma estrutura perlítica nos aços incluindo Mg e Zr.

[0075] Os inventores da presente invenção conduziram um teste de fusão de aços experimentais pela preparação de aços incluindo carbono a um teor de 1,00% e P a um teor numa faixa de 0,0150% ou menos, adicionando vários teores de S, e também adicionando Ca, Mg e Zr. A seguir, os inventores conduziram um teste de laminação a quente em laboratório que simulou as condições de laminação equivalentes para trilhos de modo a produzir protótipos de trilhos. Então, os valores de impacto dos protótipos foram medidos por um teste de impacto, e os efeitos da quantidade de S e os efeitos da adição de Ca, Mg e Zr nos valores de impacto foram estudados. Aqui, a dureza dos materiais foi ajustada para um nível Hv de 400 pelo controle das condições do tratamento térmico.

[0076] A figura 2 mostra a relação entre a quantidade de S (ppm) e o valor de impacto. Em relação aos aços incluindo C a um teor de 1,00% (marcas ●), foi observado que, no caso em que o teor de P estava em uma faixa de 0,0150% ou menos, os valores de impacto foram melhorados se o teor de S foi reduzido para 0,0100% ou menos. Em adição, dos resultados dos aços incluindo Ca (marcas ■), foi observado que a geração de inclusões à base de sulfeto de Mn foi suprimida pela adição de Ca; e assim, os valores de impacto foram melhorados. Além disso, dos resultados dos aços incluindo Ca, Mg e Zr (marcas Δ), foi observado que óxidos nanométricos e inclusões à base de sulfeto de Mn foram dispersados finamente pela adição de Mg e Zr juntamente com Ca; e assim os valores de impacto foram notavelmente melhorados.

[0077] Com base nos resultados dos estudos acima descritos, a

presente invenção com as características acima descrita foi completada. As características da presente invenção serão doravante descritas.

[0078] (1) A razão porque os componentes químicos dos aços são limitados:

[0079] As razões porque os componentes químicos dos aços são limitados dentro das faixas numéricas acima descritas no trilho perlítico, conforme a presente invenção, serão descritas em detalhes.

[0080] C é um elemento eficaz que acelera a transformação de perlita e garante a resistência ao desgaste. No caso onde a quantidade de C é menor que 0,65%, no sistema de componentes atual, não é possível manter um nível mínimo de resistência ou resistência ao desgaste necessária para trilhos. Em adição, no caso em que a quantidade de C excede 1,20%, uma grande quantidade de estrutura cementita pró-eutetóide é gerada e, portanto, a resistência ao desgaste e a tenacidade são degradadas. Portanto, a quantidade de C é limitada para estar em uma faixa de 0,65% a 1,20%. Aqui, é preferível que a quantidade de C esteja em uma faixa de 0,90% ou mais para garantir suficientemente a resistência ao desgaste.

[0081] Si é um elemento essencial como material desoxidante. Em adição, Si é um elemento que aumenta a dureza (resistência) de uma porção da cabeça do trilho pelo reforço da solução sólida na fase ferrita em uma estrutura perlítica. Além disso, o Si é um elemento que suprime a geração de estruturas cementita pró-eutetóides em aços hipe-reutéticos; e assim uma diminuição na tenacidade é suprimida. Entretanto, no caso em que a quantidade de Si é menor que 0,05%, não é possível esperar suficientemente tais efeitos. Em adição, no caso em que a quantidade de Si excede 2,00%, um número de defeitos de superfície são gerados durante a laminação a quente e a capacidade de soldagem é degradada devido à geração de óxidos. Além disso, a capacidade de endurecimento é notavelmente aumentada, e é gerada

uma estrutura martensita que é prejudicial à resistência ao desgaste e à tenacidade dos trilhos. Portanto, a quantidade de Si é limitada a estar em uma faixa de 0,05% a 2,00%. Aqui, é preferível que a quantidade de Si esteja em uma faixa de 0,20% a 1,30% para garantir a capacidade de endurecimento e suprimir a geração de estrutura martensita que é prejudicial à resistência ao desgaste ou à tenacidade.

[0082] Mn é um elemento que aumenta a capacidade de endurecimento e refina o espaçamento da perlita lamelar; e assim, a dureza da estrutura perlítica é garantida e a resistência ao desgaste é melhorada. Entretanto, no caso em que a quantidade de Mn é menor que 0,05%, tais efeitos se tornam pequenos, e torna-se difícil garantir a resistência ao desgaste necessária para trilhos. Em adição, no caso em que a quantidade de Mn excede 2,00%, a capacidade de endurecimento é notavelmente aumentada, e a estrutura martensita é facilmente gerada, o que é prejudicial para a resistência ao desgaste e a tenacidade. Portanto, a quantidade de Mn adicionada é limitada para estar em uma faixa de 0,05% a 2,00%. Aqui, é preferível que a quantidade de Mn esteja em uma faixa de 0,40% a 1,30% para garantir a capacidade de endurecimento e suprimir a geração de estrutura martensita que é prejudicial à resistência ao desgaste ou à tenacidade.

[0083] P é um elemento inevitavelmente incluído nos aços. A quantidade de P tem uma relação com a tenacidade, e se a quantidade de P aumentar, a estrutura perlítica é fragilizada devido à fragilização das fases ferrita, e fraturas frágeis, isto é, fraturas nos trilhos ocorrem facilmente. Portanto, a quantidade de P é desejavelmente pequena para melhorar a tenacidade. Como resultado da observação experimental da relação entre o valor de impacto e a quantidade de P, foi observado que, no caso em que a quantidade de P foi reduzida para 0,0150% ou menos, a segregação de P foi notavelmente reduzida, a fragilização da estrutura perlítica que foi o ponto de partida de fratura

foi suprimida; e assim, os valores de impacto foram grandemente melhorados. Desses resultados, a quantidade de P é limitada a estar em uma faixa de 0,0150% ou menos. O limite inferior da quantidade de P não é especificado; entretanto, cerca de 0,0020% é considerado ser o limite inferior da quantidade de P quando se produz atualmente trilhos em vista da capacidade de desfosforilação em um processo de refino.

[0084] Enquanto isso, um tratamento para diminuir a quantidade de P (redução da quantidade de P) é não apenas acompanhado de um aumento nos custos de refino, mas também pela degradação da produtividade. Como resultado, em consideração da eficiência econômica, é preferível que a quantidade de P esteja em uma faixa de 0,0030% a 0,0100% para melhorar estavelmente os valores de impacto.

[0085] S é um elemento inevitavelmente incluído nos aços. A quantidade de S tem uma relação com a tenacidade, e se a quantidade de S aumenta, ocorre a concentração de estresse devido ao embrutecimento de MnS ou ao aumento da densidade de MnS; e assim, a fratura frágil, isto é, o dano do trilho é fácil de ocorrer. Portanto, a quantidade de S é desejavelmente pequena para melhorar a tenacidade. Como resultado da observação experimental da relação entre o valor de impacto e a quantidade de S, foi observado que, se a quantidade de S foi reduzida para 0,0100% ou menos, a quantidade de inclusões à base de sulfeto de Mn gerada, que foi o ponto de partida da fratura, foi reduzida e, além disso, a fragilização da estrutura perlítica foi suprimida pela supressão do alongamento das inclusões à base de sulfeto de Mn ou do refino das inclusões à base de sulfeto de Mn devido à adição de Ca, Zr ou Mg. Como resultado, o valor de impacto foi grandemente melhorado. Desses resultados, a quantidade de S é limitada para estar em uma faixa de 0,0100% ou menos. O limite inferior da quantidade de S não é especificado; entretanto, cerca de 0,0010% é considerado ser o limite inferior da quantidade de S quando se pro-

duz atualmente trilhos em vista da capacidade de dessulfuração em um processo de refino.

[0086] Enquanto isso, um tratamento para diminuir a quantidade de S (redução da quantidade de S) não é apenas acompanhado por um aumento nos custos de refino, mas também da degradação da produtividade. Como resultado, em consideração da eficiência econômica, é preferível que a quantidade de S esteja em uma faixa de 0,0060% ou menos para suprimir a geração de inclusões à base de sulfeto de Mn alongadas e melhorar estavelmente os valores de impacto.

[0087] Em adição, para também melhorar os valores de impacto, é preferível que a quantidade de S esteja em uma faixa de 0,0020% a 0,0035% para gerar estavelmente inclusões à base de sulfeto de Mn finas que fixam a estrutura austenítica e suprimem a geração de inclusões de sulfeto de Mn alongadas.

[0088] Ca é um elemento desoxidante e dessulfurante, e agregados dos óxidos e sulfetos de cálcio (CaO-CaS) são gerados pela adição de Ca. Esses agregados agem como núcleos para a geração de inclusões à base de sulfeto de Mn; e assim, o alongamento das inclusões à base de sulfeto de Mn é suprimido após a laminação a quente. Além disso, inclusões à base de sulfeto de Mn nanométricas são formadas desses agregados como núcleos (formados pela utilização dos agregados como núcleos). O Ca é um elemento que tem tais efeitos funcionais. No caso em que a quantidade de Ca é menor que 0,0005%, tais efeitos se tornam pequenos, e os agregados não podem agir suficientemente como núcleos para a geração de inclusões à base de sulfeto de Mn. No caso em que a quantidade de Ca excede 0,0200%, a quantidade de CaO duro independente que não age como núcleo para inclusões à base de sulfeto de Mn é aumentado dependendo da quantidade de oxigênio em um aço. Como resultado, a tena-

cidade de um aço para trilhos é grandemente degradada. Portanto, a quantidade de Ca é limitada a estar em uma faixa de 0,0005% a 0,0200%.

[0089] Enquanto isso, é preferível que a quantidade de Ca esteja na faixa de 0,015% a 0,0150% para melhorar os valores de impacto suprimindo-se estavelmente a geração de inclusões à base de sulfeto de Mn alongadas e pela supressão prévia da geração de CaO duro que não age como núcleo para as inclusões à base de sulfeto de Mn e é prejudicial à tenacidade. Em adição, para também melhorar os valores de impacto, é necessário gerar estavelmente inclusões à base de sulfeto de Mn finas que fazem a estrutura austenítica de modo a suprimir o embrutecimento das inclusões à base de sulfeto de Mn. Portanto, é mais preferível que a quantidade de Ca esteja em uma faixa de 0,0020% a 0,0080%.

[0090] Conforme descrito acima, S e Ca geram os agregados dos óxidos e sulfetos (CaO-CaS). Esses agregados agem como núcleos para inclusões à base de sulfeto de Mn, e, portanto, os aglomerados afetam grandemente o alongamento das inclusões à base de sulfeto de Mn. Portanto, é importante controlar a quantidade de S e a quantidade de Ca. Em vista dessas circunstâncias, aços com quantidades variadas de S e Ca foram fundidos para teste, e foi conduzido um teste de laminação a quente. Como resultado, foi descoberto que, no caso em que as razões da quantidade de Ca para a quantidade de S (S/Ca) estavam dentro de uma faixa específica, um número adequado de óxidos e sulfetos de Ca foram gerados e finamente dispersados, e, portanto, foi possível suprimir também o alongamento das inclusões à base de sulfeto de Mn após a laminação a quente.

[0091] Especificamente, no caso em que o valor de S/Ca é menor que 0,45, a quantidade de CaO duro independente que não age como núcleo para inclusões à base de sulfeto de Mn é levemente aumenta-

da. Como resultado, há casos nos quais a tenacidade dos aços para trilhos é degradada. No caso em que o valor de S/Ca excede 3,00, o número de agregados de sulfetos (CaO-CaS) que agem como núcleo para inclusões à base de sulfeto de Mn é reduzido; e portanto o alongamento das inclusões à base de sulfeto de Mn é promovido. Como resultado, há casos em que a tenacidade dos aços para trilhos é degradada. Portanto, é preferível que a razão de S/Ca esteja na faixa de 0,45 a 3,00.

[0092] A presente invenção preferivelmente inclui ou um ou ambos entre Mg e Zr.

[0093] Mg é um elemento desoxidante que é principalmente aglutinado com O para formar um complexo de óxidos (MgO) e sulfetos (MgS) nanométricos finos. Inclusões à base de sulfeto de Mn nanométricas são formadas dos complexos como núcleos (formados utilizando-se os complexos como núcleos). Como resultado, o crescimento do grão de uma estrutura austenítica após a laminação a quente é suprimida; e assim a estrutura do aço para trilhos é refinada. Como resultado, é possível melhorar a tenacidade de uma estrutura perlítica. Entretanto, no caso em que a quantidade de Mg é menor que 0,0005%, a quantidade gerada de complexos de óxidos (MgO) e sulfetos (MgS) finos é pequena, e portanto o efeito de supressão do crescimento do grão de uma estrutura austenítica após a laminação a quente não pode ser suficientemente obtida. No caso em que a quantidade de Mg excede 0,0200%, os óxidos brutos de Mg são gerados; e portanto a tenacidade dos trilhos é degradada e, simultaneamente, ocorrem danos de fadiga a partir de óxidos brutos. Portanto, a quantidade de Mg é limitada a estar na faixa de 0,0005% a 0,0200%.

[0094] Aqui, é preferível que a quantidade de Mg esteja em uma faixa de 0,0010% a 0,0050% para melhorar os valores de impacto garantindo-se suficientemente a quantidade gerada de óxidos finos

(MgO) que fixam a estrutura austenítica e a quantidade gerada dos complexos de óxidos (MgO) e sulfetos (MgS) que forma inclusões à base de sulfeto de Mn nanométricas, e suprimindo suficientemente a geração de óxidos brutos que são prejudiciais aos danos por fadiga.

[0095] Zr é um elemento desoxidante que é principalmente aglutinado com O para formar óxidos finos (ZrO_2) nanométricos. Esses óxidos são dispersados finamente e uniformemente, e além disso inclusões à base de sulfeto de Mn nanométricas são formadas dos óxidos como núcleos (formadas utilizando-se os óxidos como núcleos). Como resultado, o crescimento do grão de uma estrutura austenítica após a laminação a quente é suprimida; e assim a estrutura do aço para trilhos é refinada. Como resultado, é possível melhorar a tenacidade de uma estrutura perlítica. Entretanto, no caso em que a quantidade de Zr é menor que 0,0005%, a quantidade gerada de óxidos finos (ZrO_2) é pequena; e assim, o efeito de supressão do crescimento do grão de uma estrutura austenítica após a laminação a quente não pode ser suficientemente obtido. No caso em que a quantidade de Zr excede 0,0100%, os óxidos brutos de Zr são gerados, e assim a tenacidade dos trilhos é degradada, e simultaneamente ocorre dano de fadiga a partir de precipitados brutos. Portanto, a quantidade de Zr adicionada é limitada a estar em uma faixa de 0,0005% a 0,0100%.

[0096] Enquanto isso, é preferível que a quantidade de Mg esteja em uma faixa de 0,0010% a 0,0050% para melhorar os valores de impacto garantindo-se suficientemente a quantidade gerada de óxidos finos (ZrO_2) que fixam uma estrutura austenítica e a quantidade gerada de óxidos (ZrO_2) que formam inclusões à base de sulfeto de Mn nanométricas, e suprimindo eficientemente a geração de óxidos brutos que são prejudiciais ao dano por fadiga.

[0097] Se necessário, trilhos produzidos na composição de componentes acima descrita incluem preferivelmente um ou mais elemen-

tos selecionados do grupo consistindo Co, Cr, Mo, V, Nb, B, Cu, Ni, Ti, Al e N com o propósito da melhoria na dureza (resistência) de uma estrutura perlítica ou uma estrutura ferrita pró-eutetóide, a melhoria na tenacidade, a prevenção do amolecimento nas zonas afetadas pelo calor da solda, e o controle da distribuição da dureza de seção transversal dentro da porção da cabeça.

[0098] Doravante serão mostrados os propósitos principais e os efeitos funcionais da adição dos elementos acima descritos.

[0099] O Co refina uma estrutura lamelar em uma superfície de contato de laminação e diminui o diâmetro do grão de ferrita; e assim a resistência ao desgaste de uma estrutura perlítica é aumentada. O Cr e o Mo aumentam o ponto de transformação de equilíbrio, e refinam principalmente o espaçamento da perlita lamelar; e assim, a dureza de uma estrutura perlítica é garantida. V e Nb geram carbonetos e nitretos em um processo de laminação a quente e um subsequente processo de resfriamento; e assim o crescimento dos grãos de austenita é suprimido. Além disso, V e Nb precipitam e endurecem em uma estrutura ferrita e em uma estrutura perlítica e, portanto, a tenacidade e a dureza de uma estrutura perlítica são melhoradas. Em adição, V e Nb geram estavelmente carbonetos e nitretos, e assim o amolecimento das zonas afetadas pelo calor das juntas de soldagem é evitado.

[00100] O B reduz a dependência da temperatura de transformação da perlita em uma taxa de resfriamento; e assim a distribuição de dureza na porção de cabeça do trilho é tornada uniforme. O Cu é solubilizado sólido em uma estrutura ferrita e em uma fase ferrita em uma estrutura perlítica; e, portanto, a dureza da estrutura perlítica é aumentada. O Ni melhora a tenacidade e a dureza da estrutura ferrita e da estrutura perlítica, e simultaneamente o Ni evita o amolecimento das zonas afetadas pelo calor da junta soldada. O Ti refina a estrutura nas zonas afetadas pelo calor da soldagem e evita a fragilização das zo-

nas afetadas pelo calor da junta soldada. O Al aumenta a temperatura de transformação eutetóide para uma temperatura mais alta e aumenta a dureza de uma estrutura perlítica. O N segrega nas bordas dos grãos de austenita e, portanto, a transformação em perlita é acelerada. Em adição, o N refina o tamanho dos blocos de perlita e, portanto, a tenacidade é melhorada.

[00101] Doravante será descrita em detalhes a razão porque as quantidades desses elementos são limitadas.

[00102] O Co é solubilizado sólido em uma fase ferrita em uma estrutura perlítica. Portanto, a ferrita fina formada pelo contato com as rodas na superfície de contato de rolagem da porção de cabeça do trilho é também refinada; e como resultado, a resistência ao desgaste é melhorada. No caso em que a quantidade de Co é menor que 0,01%, o refino da estrutura ferrita não é alcançado e, portanto, não é possível esperar o efeito de melhoria da resistência ao desgaste. Em adição, mesmo no caso em que a quantidade de Co excede 1,00%, o efeito acima descrito é saturado e, portanto, o refino da estrutura ferrita correspondente à quantidade adicionada de Co não é alcançado. Em adição, um aumento no custo para adição de elementos de ligação degrada a eficiência econômica. Portanto, a quantidade de Co é limitada a estar na faixa de 0,01% a 1,00%.

[00103] O Cr aumenta a temperatura de transformação de equilíbrio, e conseqüentemente o Cr refina a estrutura ferrita e a estrutura perlítica; e assim o Cr contribui para um aumento na dureza (resistência). Ao mesmo tempo, o Cr reforça a fase cementita, portanto a dureza (resistência) da estrutura perlítica é melhorada. Entretanto, no caso em que a quantidade de Cr é menor que 0,01%, tal efeito se torna pequeno, e o efeito de melhorar a dureza de um aço para trilhos não é absolutamente observada. No caso em que o Cr é excessivamente adicionado a uma quantidade de mais de 2,00%, a capacidade de en-

durecimento é aumentada, e a estrutura martensita é gerada. Portanto, danos de fragmentação iniciando-se na estrutura martensita ocorrem nas porções de canto e na porção de topo da cabeça; e como resultado, a resistência a danos na superfície é degradada. Portanto, a quantidade de Cr é limitada a estar na faixa de 0,01% a 2,00%.

[00104] O Mo, similarmente ao Cr, aumenta a temperatura de transformação de equilíbrio, e consequentemente o Mo refina a estrutura ferrita e a estrutura perlítica; e assim o Mo contribui para um aumento na dureza (resistência). Portanto, o Mo é um elemento que melhora a dureza (resistência). Entretanto, no caso em que a quantidade de Mo é menor que 0,01%, tal efeito se torna pequeno, e o efeito de melhorar a dureza dos trilhos de aço não é absolutamente observado. No caso em que o Mo é excessivamente adicionado a uma quantidade de mais de 0,50%, a taxa de transformação é notavelmente degradada. Portanto, danos de fragmentação iniciando na estrutura martensita ocorrem nas porções do canto da cabeça e na porção de topo da cabeça; e como resultado, a resistência a danos de superfície é degradada. Portanto, a quantidade de Mo é limitada a estar em uma faixa de 0,01% a 0,50%.

[00105] O V refina os grãos de austenita devido ao efeito de fixação de carbonetos de V e nitretos de V no caso em que um tratamento térmico é conduzido a altas temperaturas. Além disso, o V aumenta a dureza (resistência) da estrutura ferrita e da estrutura perlítica devido ao endurecimento da precipitação de carbonetos de V e nitretos de V gerados no processo de resfriamento após a laminação a quente, e simultaneamente o V melhora a tenacidade. V é um elemento eficaz para obter aqueles efeitos. Em adição, em porções afetadas pelo calor que são reaquecidas até uma faixa de temperatura de Ac1 ou menos, V é um elemento eficaz para evitar o amolecimento das zonas afetadas pelo calor da junta de soldagem pela geração de carbonetos de V

e nitretos de V em uma faixa de temperaturas relativamente alta. Entretanto, no caso em que a quantidade de V é menor que 0,005%, tal efeito não pode ser suficientemente esperado, e a melhoria na dureza e na tenacidade da estrutura ferrita e da estrutura perlítica não é observada. No caso em que a quantidade de V excede 0,50%, o endurecimento de precipitação dos carbonetos e nitretos de V se tornam excessivos, e a tenacidade da estrutura ferrita e da estrutura perlítica é degradada. Assim, danos de fragmentação ocorrem nas porções de canto da cabeça e na porção de topo da cabeça; e como resultado, a resistência a danos de superfície é degradada. Portanto, a quantidade de V é limitada para estar em uma faixa de 0,005% a 0,50%.

[00106] O Nb, similarmente ao V, refina grãos de austenita devido ao efeito de fixação de carbonetos de Nb e nitretos de Nb no caso em que um tratamento térmico é conduzido a altas temperaturas. Além disso, o Nb aumenta a dureza (resistência) da estrutura ferrita e da estrutura perlítica devido ao endurecimento de precipitação dos carbonetos de Nb e nitretos de Nb gerados no processo de resfriamento após a laminação a quente, e simultaneamente o Nb melhora a tenacidade. O Nb é um elemento eficaz para obterem aqueles efeitos. Em adição, nas porções afetadas pelo calor que são reaquecidas até uma temperatura em uma faixa de A_{c1} ou menos, o Nb é um elemento eficaz para evitar o amolecimento das zonas afetadas pelo calor da junta soldada por gerar estavelmente os carbonetos de Nb e os nitretos de Nb desde uma baixa faixa de temperaturas até uma alta faixa de temperaturas. Entretanto, no caso em que a quantidade de Nb é menor que 0,002%, tal efeito não pode ser esperado, e a melhoria na dureza e na tenacidade da estrutura ferrita e da estrutura perlítica não é observada. No caso em que a quantidade de Nb excede 0,050%, o endurecimento de precipitação dos carbonetos e nitretos de Nb se tornam excessivos, e a tenacidade da estrutura ferrita e da estrutura perlítica é

degradada. Portanto, o dano de fragmentação ocorre nas porções de canto da cabeça e nas porções de topo da cabeça; e como resultado, a resistência a danos da superfície é degradada. Portanto, a quantidade de Nb é limitada a estar em uma faixa de 0,002% a 0,050%.

[00107] O B forma borocarbonetos de ferro ($\text{Fe}_{23}(\text{CB})_6$) nas bordas dos grãos de austenita, e o B acelera a transformação perlita. Esse efeito de acelerar a transformação perlita reduz a dependência da temperatura de transformação perlita em uma taxa de resfriamento; e assim uma distribuição de dureza mais uniforme é alcançada a partir da porção da superfície da cabeça para a porção interna de um trilho. Portanto, é possível estender o período de uso do trilho. No caso em que a quantidade de B é menor que 0,001%, esses efeitos não são suficientes, e a melhoria na distribuição da dureza na porção da cabeça do trilho não é observada. No caso em que a quantidade de B excede 0,0050%, borocarbonetos de ferro brutos são gerados e, portanto, a tenacidade é degradada. Então a quantidade de B é limitada para estar numa faixa de 0,0001% a 0,0050%.

[00108] O Cu é um elemento que é solubilizado sólido em uma estrutura ferrita e em uma fase ferrita em uma estrutura perlítica, e o Cu melhora a dureza (resistência) da estrutura perlítica devido ao reforço da solução sólida. No caso em que a quantidade de Cu é menor que 0,01%, esses efeitos não podem ser esperados. No caso em que a quantidade de Cu excede 1,00%, uma estrutura martensita, que é prejudicial à tenacidade, é gerada pela melhoria notável da capacidade de endurecimento. Portanto, danos de fragmentação ocorrem nas porções de canto da cabeça e na porção de topo da cabeça; e como resultado a resistência a danos de superfície é degradada. Portanto, a quantidade de Cu é limitada para estar em uma faixa de 0,0a a 1,00%.

[00109] Ni é um elemento que melhora a tenacidade de uma estrutura ferrita e uma estrutura perlítica, e simultaneamente o Ni aumenta

a dureza (resistência) por reforço da solução sólida. Além disso, o Ni precipita finamente compostos intermetálicos de Ni_3Ti , que é um composto complexo com Ti, nas zonas afetadas pelo calor da soldagem, e assim o amolecimento é suprimido pelo reforço da precipitação. No caso em que a quantidade de Ni é menor que 0,01%, esses efeitos são extremamente pequenos. No caso em que a quantidade de Ni excede 1,00%, a tenacidade de uma estrutura ferrita e de uma estrutura perlítica é notavelmente degradada. Assim, o dano de fragmentação ocorre nas porções de canto da cabeça e na porção de topo da cabeça, e como resultado a resistência a danos de superfície é degradada. Portanto, a quantidade de Ni é limitada a estar em uma faixa de 0,01% a 1,00%.

[00110] Ti é um elemento eficaz que refina a estrutura de zonas afetadas pelo calor que são aquecidas até uma faixa austenita utilizando-se o fato de que carbonetos de Ti e nitretos de Ti, que são precipitados durante o reaquecimento na soldagem, não são fundidos; e, portanto, o Ti evita a fragilização de porções da junta soldada. Entretanto, no caso em que a quantidade de Ti é menor que 0,0050%, esses efeitos são pequenos, e no caso em que a quantidade de Ti excede 0,0500%, carbonetos brutos de Ti e nitretos brutos de Ti são gerados; e assim, a tenacidade do trilha é degradada. Ao mesmo tempo, ocorrem danos por fadiga devido aos precipitados brutos. Portanto, a quantidade de Ti é limitada a estar em uma faixa de 0,0050% a 0,050%.

[00111] O Al é um elemento essencial como material desoxidante. Em adição, o Al é um elemento que aumenta a temperatura de transformação eutetóide até uma temperatura mais alta, e o Al contribui para um aumento na dureza (resistência) de uma estrutura perlítica. No caso em que a quantidade de Al é 0,0100% ou menos, esses efeitos são pequenos. No caso em que a quantidade de Al excede 1,00%,

torna-se difícil solubilizar sólido o Al em um aço; e assim inclusões brutas à base de alumina são geradas. Portanto, a tenacidade de um trilho é degradada, e simultaneamente ocorrem danos por fadiga devido aos precipitados brutos. Além, óxidos são gerados durante a soldagem; e assim a capacidade de soldagem é notavelmente degradada. Consequentemente, a quantidade de Al é limitada a estar em uma faixa de mais de 0,0100% a 1,00%.

[00112] O N segrega nas bordas dos grãos de austenita; e assim o N acelera a transformação em ferrita e em perlita a partir das bordas dos grãos de austenita. Como resultado, o tamanho de blocos de perlita é principalmente refinado; e, portanto, é possível melhorar a tenacidade. Entretanto, no caso em que a quantidade de N é menor que 0,0060%, esses efeitos são pequenos. No caso em que a quantidade de N excede 0,0200%, torna-se difícil solubilizar sólido o N em um aço. Como resultado, são geradas bolhas de ar que agem como pontos de partida de danos por fadiga; e assim ocorrem danos por fadiga dentro da porção de cabeça do trilho. Portanto, a quantidade de N é limitada para estar em uma faixa de 0,0060% a 0,0200%.

[00113] (2) As razões porque as regiões e a dureza da estrutura perlítica na porção de superfície da cabeça do trilho 3a são limitadas:

[00114] A seguir, serão descritas as razões porque a porção de superfície da cabeça 3a de um trilho inclui uma estrutura perlítica e a sua dureza Hv é limitada para estar em uma faixa de 320 a 500.

[00115] Inicialmente, será descrita a razão porque a dureza Hv de uma estrutura perlítica é limitada para estar em uma faixa de 320 a 500.

[00116] No presente sistema de componentes, no caso em que a dureza Hv da estrutura perlítica é menor que 320, torna-se difícil garantir a resistência ao desgaste da porção de superfície da cabeça 3a do trilho; e com isso o período de uso do trilho é reduzido. Em adição,

ocorrem danos por descamação na superfície de contato de rolagem devido à deformação plástica; e assim a resistência a danos da superfície na porção de cabeça do trilho 3ª é grandemente degradada. Em adição, no caso em que a dureza Hv de uma estrutura perlítica excede 500, a tenacidade da estrutura perlítica é grandemente degradada; e assim, a resistência ao dano na porção de superfície da cabeça do trilho 3a é degradada. Portanto, a dureza Hv da estrutura perlítica é limitada para estar na faixa de 320 a 500.

[00117] A seguir será descrita a razão porque a faixa necessária para incluir uma estrutura perlítica tendo uma dureza Hv numa faixa de 320 a 500 é limitada à porção de superfície da cabeça 3a de um trilho de aço.

[00118] Aqui a porção de superfície da cabeça 3a de um trilho se refere a, conforme mostrado na figura 1, uma porção variando das superfícies das porções de canto da cabeça 2 e a porção de topo da cabeça 1 até uma profundidade de 10 mm (área da linha diagonal sólida). Se uma estrutura perlítica tendo os componentes acima descritos na porção de superfície da cabeça 3a, a abrasão devida ao contato com as rodas é suprimido, e assim a resistência ao desgaste do trilho é melhorada.

[00119] Em adição, é preferível dispor uma estrutura perlítica tendo uma dureza Hv em uma faixa de 320 a 500 em uma porção 3b variando das superfícies das porções de canto da cabeça 2 e a porção de topo da cabeça 1 até uma profundidade de 20 mm, isto é, pelo menos na área da linha diagonal pontilhada na figura 1. Portanto, a resistência ao desgaste é também garantida mesmo no caso em que a abrasão ocorre na parte interna mais profunda da porção de cabeça do trilho devido ao contato com as rodas, e assim o período de uso dos trilhos é melhorado. Portanto, é preferível dispor uma estrutura perlítica tendo uma dureza Hv em uma faixa de 320 a 500 na superfície da por-

ção cabeça do trilho 3 ou em sua vizinhança, com a que as rodas contactam principalmente, e outras porções podem ser uma estrutura metalográfica diferente da estrutura perlítica.

[00120] Enquanto isso, em relação a um método para obter uma estrutura perlítica tendo uma dureza Hv em uma faixa de 320 a 500 na superfície da porção cabeça do trilho 3 ou em sua vizinhança, conforme descrito abaixo, é preferível conduzir um resfriamento acelerado em uma porção de cabeça de trilho 3 incluindo uma região austenita em um estado de alta temperatura após a laminação a quente ou reaquecimento.

[00121] Entre a porção de cabeça de trilho 3 na presente invenção, é preferível que a estrutura metalográfica na porção de cabeça de trilho 3a ou na porção 3b que variam até uma profundidade de 20 mm e incluindo a porção de superfície de cabeça 3a consiste da estrutura perlítica acima descrita. Entretanto, dependendo das composições de componentes de um trilho e das condições dos tratamentos térmicos e dos métodos de produção, há casos nos quais a estrutura perlítica é misturada com estrutura ferrita pró-eutetóide, estrutura cementita pró-eutetóide, estrutura bainita e estrutura martensita em uma pequena quantidade, por exemplo, uma razão de área de 5% ou menos. Mesmo no caso em que as estruturas acima descritas estejam contidas a um teor de 5% ou menos, essas estruturas não têm um efeito adverso maior na resistência ao desgaste e na tenacidade da porção de cabeça do trilho 5. Portanto, a estrutura perlítica acima descrita pode incluir estruturas misturadas com estrutura ferrita pró-eutetóide, estrutura cementita pró-eutetóide, estrutura bainita, estrutura martensita ou similar em uma razão de área de 5% ou menos.

[00122] Em outras palavras, entre as porções de cabeça de trilho 5 na presente invenção, 95% ou mais da estrutura metalográfica na porção de superfície da cabeça 3a ou da porção 3b variando até uma pro-

fundidade de 20 mm e incluindo a porção de superfície da cabeça 3a precisa ser uma estrutura perlítica, e é preferível que 98% ou mais da estrutura metalográfica na porção de cabeça seja uma estrutura perlítica para garantir suficientemente a resistência ao desgaste e a tenacidade.

[00123] Enquanto isso, nas colunas de "Microestrutura" nas tabelas 1 e 2 abaixo, a descrição "pequena quantidade" se refere a um teor de 5% ou menos, e outras estruturas diferentes de uma estrutura perlítica sem a descrição "pequena quantidade" significa que as estruturas estão incluídas em uma quantidade de mais de 5% (fora da faixa da presente invenção).

[00124] (3) A razão porque o número (por unidade de área) de inclusões à base de sulfeto de Mn tendo eixos maiores (comprimentos principais) em uma faixa de 10 μm a 100 μm é limitado: Será descrita em detalhes a razão porque, na presente invenção, o comprimento do eixo maior (comprimento maior) de inclusões à base de sulfeto de Mn é uma seção transversal arbitrária tomada ao longo da direção do comprimento, que são objetos de avaliação, é limitado a estar na faixa de 10 μm a 100 μm .

[00125] Como resultado da investigação do comprimento do eixo maior das inclusões à base de sulfeto de Mn e a real performance de danos dos atuais trilhos (status dos danos quando se usa atualmente os trilhos), no presente sistema de componentes, foi observado que a fratura dos trilhos ocorreram a partir das porções de extremidade das inclusões à base de sulfeto de Mn, nas quais ocorreu a concentração do estresse. Em vista dessas circunstâncias, aços foram fundidos por teste para incluir inclusões à base de sulfeto de Mn tendo vários comprimentos do eixo maior, e foi conduzido um teste de laminação a quente. Como resultado, foi observado que houve uma boa relação entre o número de inclusões à base de sulfeto de Mn tendo compri-

mentos do eixo maior em uma faixa de 10 μm a 100 μm e a resistência ao dano do trilho. Consequentemente, o comprimento do eixo maior das inclusões à base de sulfeto de Mn elegível para o objetivo de avaliação de contagem dos números é limitado a estar em uma faixa de 10 μm a 100 μm .

[00126] Enquanto isso as inclusões à base de sulfeto de Mn tendo um comprimento longo do eixo maior, no qual a concentração do estresse ocorre notavelmente, tem um grande efeito na resistência ao dano, e as inclusões à base de sulfeto de Mn tendo um comprimento curto do eixo maior têm um efeito pequeno na resistência ao dano. Entretanto, nos aços conforme a presente invenção, há um pequeno número de inclusões à base de sulfeto de Mn que têm um comprimento excedendo 100 μm , que não são adequadas para identificar as características dos aços. E inclusões à base de sulfeto de Mn tendo um comprimento de menos de 10 μm têm um pequeno efeito na resistência a danos. Portanto, as inclusões à base de sulfeto de Mn que tenham os comprimentos do eixo maior (comprimento maior) acima descritos são usadas como objetos da avaliação.

[00127] A seguir será descrita em detalhes a razão porque o número (por unidade de área) de inclusões à base de sulfeto de Mn tendo comprimentos principais em uma faixa de 10 μm a 100 μm em uma seção transversal arbitrária tomada ao longo da direção do comprimento (uma seção transversal paralela à direção longitudinal do trilho) é limitado para estar na faixa de 10 / mm^2 a 200 / mm^2 .

[00128] No caso em que o número total (por unidade de área) de inclusões à base de sulfeto de Mn tendo comprimentos principais em uma faixa de 10 μm a 100 μm excede 200 / mm^2 , no presente sistema de composição, o número de inclusões à base de sulfeto de Mn se torna excessivo; e, portanto, a possibilidade de dano nos trilhos aumenta devido à geração de concentração de estresse nas inclusões ou

na vizinhança delas. Mesmo em termos de características mecânicas do aço, não é possível melhorar o valor de impacto. No caso em que o número total (por unidade de área) de inclusões à base de sulfeto de Mn tendo o comprimento principal na faixa de 10 μm a 100 μm é menor que 10 / mm^2 , no presente sistema de componentes, locais de armadilha que absorvem o hidrogênio inevitável que permanece no aço são notavelmente reduzidos. Portanto, a possibilidade de induzir defeitos de hidrogênio (fragilização pelo hidrogênio) aumenta; e assim a resistência ao dano dos trilhos é prejudicada. Como resultado, o número total (por unidade de área) de inclusões à base de sulfeto de Mn tendo comprimentos maiores numa faixa de 10 μm a 100 μm é limitado para estar em uma faixa de 10 / mm^2 a 200 / mm^2 .

[00129] Enquanto isso, na presente limitação, as inclusões à base de sulfeto de Mn se referem tanto às inclusões à base de sulfeto de MN geradas por agregados de óxidos e sulfetos de cálcio (CaO-CaS) como núcleos quanto a outras inclusões à base de sulfeto de Mn como objetos de avaliação.

[00130] Em adição, em relação ao número de inclusões à base de sulfeto de Mn, é retirada uma amostra de uma seção transversal tirada ao longo da direção do comprimento da porção da cabeça do trilho 3, na qual o dano do trilho se torna óbvio conforme mostrado na figura 3, e a medição das inclusões à base de sulfeto é conduzida. A seção transversal na direção do comprimento do trilho de cada uma das amostras tiradas é polida como espelho, e as inclusões à base de sulfeto de Mn são investigadas em uma seção transversal arbitrária com um microscópio ótico. Então, o número de inclusões tendo os tamanhos acima limitados é contado e calculado como o número por unidade de área da seção transversal. O valor típico de cada trilho de aço é obtido a partir do valor médio dos números por unidade de área da seção transversal desses 20 campos de visualização. A localização (por-

ção) a ser usada para investigar as inclusões à base de sulfeto de Mn não é particularmente limitada, entretanto é preferível observar uma porção variando da superfície da porção de cabeça do trilho 5, que age como ponto de partida do dano, até uma profundidade de 3 a 10 mm.

[00131] Em adição, para melhorar estavelmente a resistência à fratura do trilho também pela diminuição do efeito das inclusões à base de sulfeto de Mn que agem como pontos de partida de fratura e pela supressão prévia de defeitos de hidrogênio, é preferível controlar o número total (por unidade de área) de inclusões à base de sulfeto de Mn que tenham comprimentos principais em uma faixa de 10 μm a 100 μm para estar em uma faixa de 20/mm² a 180/mm².

[00132] (4) A razão porque o número (por unidade de área) de óxidos à base de Mg, óxidos de Zr e inclusões à base de sulfeto de MN tendo diâmetros de grão em uma faixa de 5 nm a 100 nm é limitado:

[00133] Na presente invenção, é preferível que óxidos à base de Mg, óxidos de Zr e inclusões à base de sulfeto de Mn tendo diâmetro de grão em uma faixa de 5 nm a 100 nm estejam presentes em uma quantidade por unidade de área em uma faixa de 500/mm² a 50.000/mm² em uma seção transversal arbitrária.

[00134] A razão porque os diâmetros de grão de óxidos à base de Mg, óxidos de Zr e inclusões à base de sulfeto de Mn, que são objetos de avaliação, é limitado para estar em uma faixa de 5 nm a 100 nm será descrita em detalhes.

[00135] No caso em que os diâmetros de grão de óxidos à base de Mg, óxidos de Zr, e inclusões à base de sulfeto de Mn estão numa faixa de 5 nm a 100 nm, um efeito de fixação suficiente é obtido nas bordas dos grãos quando eles são gerados em uma estrutura austenítica. Portanto, foi observado que, sem afetar adversamente a resistência ao dano de um trilho, conseqüentemente, uma estrutura perlítica foi refi-

nada; e assim a tenacidade foi melhorada com segurança. Portanto, os diâmetros dos grãos dos óxidos à base de Mg, dos óxidos de Zr e das inclusões à base de sulfeto de Mn elegíveis para os objetivos da avaliação é limitado a estar em uma faixa de 5 nm a 100 nm.

[00136] Enquanto isso, em relação ao efeito de fixação, quanto mais inclusões tendo diâmetro de grão fino estiverem presentes, maior se torna o efeito. Entretanto, em relação aos óxidos à base de Mg, óxidos à base de Zr, e inclusões com base em sulfeto de Mn tendo diâmetros de grão em uma faixa de menos de 5 nm, é extremamente difícil medir o seu número. Em adição, em relação aos óxidos à base de Mg, óxidos de Zr e inclusões à base de sulfeto de Mn tendo diâmetro de grão em uma faixa de mais de 100 nm, o efeito de fixação acima descrito não pode ser obtido. Portanto, óxidos à base de Mg, óxidos de Zr e inclusões à base de sulfeto de Mn tendo os diâmetros de grão descritos acima são usados como objetos de avaliação.

[00137] A seguir será descrita em detalhes, em relação às configurações preferidas, a razão porque a quantidade (número) (por mm^2) de óxidos à base de Mg, óxidos de Zr, e inclusões à base de sulfeto de Mn tendo diâmetro de grão em uma faixa de 5 nm a 100 nm em uma seção transversal arbitrária na direção do comprimento é limitada a estar em uma faixa de 500 a 50.000.

[00138] No caso em que o número total (por unidade de área) de óxidos a base de Mg, óxidos de Zr e inclusões à base de sulfeto de Mn tendo diâmetros de grão em uma faixa de 5 nm a 100 nm é menor que $500/\text{mm}^2$, o efeito de fixação não é suficientemente obtido em uma estrutura austenítica após a laminação a quente. Como resultado, uma estrutura perlítica se torna embrutecida, e a tenacidade do trilho não é melhorada. No caso em que o número total (por unidade de área) de óxidos à base de Mg, óxidos de Zr e inclusões à base de sulfeto de Mn tendo diâmetros de grão em uma faixa de 5 nm a 100 nm excede

50.000/mm², a precipitação ocorre excessivamente, e a estrutura perlítica se torna frágil; e assim a tenacidade do trilho é degradada. Portanto, o número total (por unidade de área) de óxidos à base de Mg, óxidos de Zr e inclusões à base de sulfeto de Mn tendo diâmetros de grão em uma faixa de 5 nm a 100 nm é limitado a estar em uma faixa de 500/mm² a 50.000/mm².

[00139] Enquanto isso, na presente limitação, os óxidos à base de Mg e óxidos de Zr se referem a óxidos incluindo parcialmente óxidos complexos tal como sulfeto de Mn ou similar como núcleos.

[00140] O diâmetro de grão e o número de óxidos à base de Mg, óxidos de Zr e inclusões à base de sulfeto de Mn são observados e medidos da seguinte maneira: inicialmente uma camada fina é tirada de uma seção transversal arbitrária mostrada na figura 4, e a película fina é observada a uma ampliação de 50.000 a 500.000 usando-se um microscópio de transmissão eletrônica. O diâmetro de grão dos precipitados é obtido pela medição da área de cada precipitado através da observação e cálculo do diâmetro de um círculo tendo a mesma área que a do precipitado.

[00141] Os precipitados são observados em 20 campos de visualização, e o número de precipitados tendo diâmetros em uma faixa pre-determinada de 5 nm a 100 nm é contado, e o número por unidade de área é calculado a partir do número contado. O valor típico de um aço para trilhos é obtido a partir do valor médio desses 20 campos de visualização. Enquanto isso, a localização (porção) a ser usada para investigar os óxidos à base de Mg, os óxidos de Zr e as inclusões à base de sulfeto de Mn não é particularmente limitada; entretanto, é preferível observar uma porção variando da porção da superfície da cabeça do trilho 3ª até uma profundidade de 3mm a 10 mm, que requer tenacidade.

[00142] (5) Método para produzir o aço para trilhos (trilho) conforme

a presente invenção:

[00143] O método para produção do aço para trilhos conforme a presente invenção incluindo a composição e microestrutura de componentes descritas acima não é particularmente limitado; entretanto, em geral, o aço para trilhos é produzido pelo método a seguir. Inicialmente, a fusão é executada de modo a se obter aço fundido com um forno de fusão comumente usado tal como um forno conversor, um forno elétrico ou similar. Então o aço fundido é submetido a um método de produção de lingotes ou blocos ou a um método de lingotamento contínuo de modo a produzir um bloco (um lingote de aço) para laminação. Além disso, os blocos são reaquecidos até 1200°C ou mais, e então o bloco é submetido a vários passes de laminação a quente, e moldado em trilhos. Posteriormente, tratamento térmicos (reaquecimento e resfriamento) são conduzidos de modo a produzir um trilho.

[00144] Em particular, na etapa de metal quente, uma dessulfuração e desfosforação geral são conduzidas (tratamento de desfosforação e dessulfuração), e, além disso, as dessulfuração e desfosforação suficientes são conduzidas em um forno de fusão comumente usado tal como um forno conversor, um forno elétrico ou similar (tratamento de desfosforação e dessulfuração). A seguir, Ca é adicionado para controlar as inclusões à base de sulfeto de Mn. Além disso, de acordo com a necessidade, Mg e Zr são adicionados aos óxidos nanométricos finamente dispersados e às inclusões à base de sulfeto de Mn.

[00145] Os detalhes das condições de produção serão mostrados abaixo.

[00146] Na etapa de metal quente, é preferível conduzir o tratamento geral de desfosforação e dessulfuração de maneira cuidadosa para alcançar a redução das quantidades de P e S.

[00147] Em relação à dessulfuração, é preferível adicionar CaO lentamente e suficientemente em uma panela de metal quente (uma eta-

pa precedente de refino em um forno conversor), e ejetar CaS como escória.

[00148] Enquanto isso, a adição de CaO é um método conduzido no caso em que S é reduzido de um metal quente tendo uma quantidade extremamente grande de S. Diferentemente da adição da liga CaO-Si, que é adicionada para gerar agregados de óxidos e sulfetos de cálcio (CaO-CaS), conforme descrito abaixo, esse método não tem influência.

[00149] Em relação à desfosforação, é preferível, no refino em um forno conversor, ejetar escória no meio do refino para evitar que o P seja fundido novamente da escória contendo P (P_2O_5 ou similar) separado por desfosforação.

[00150] A seguir, Ca é adicionado para controlar as inclusões à base de sulfeto de Mn.

[00151] É preferível adicionar Ca em um processo de refino antes do lingotamento. Um método de adição preferível de Ca é ou adicionando fios de liga de Ca (liga Ca-Si ou similar) ou lingotes de liga de Ca em uma panela ou injetando um pó de liga de Ca.

[00152] Como a liga de Ca, são usadas uma liga Ca-Si (50Ca-50Si ou similar), uma liga Fe-Si-Ca (Fe-30Si-30Ca ou similar) e uma liga Ni-Ca (90Ni-10Ca ou similar). Uma vez que a pressão de vapor de Ca é alta, se Ca puro for adicionado, ocorrem salpicos em um aço fundido, ou escória na superfície do aço fundido é envolvida no aço fundido; e, portanto, a pureza do aço fundido é degradada. Em adição, a taxa de rendimento se torna baixa. Consequentemente, a adição de uma liga de Ca, por exemplo, uma liga Ca-Si, é amplamente conduzida. Comparado com Ca puro, a atividade do Ca é diminuída na liga de Ca. Portanto, no caso de adição da liga de Ca, a vaporização durante a adição se torna relativamente suave e a taxa de rendimento é também melhorada.

[00153] Quanto menor é a concentração de Ca na liga, mais a taxa de rendimento é melhorada, e a geração de salpicos durante a adição é também suprimida. Portanto, a baixa concentração de Ca na liga é preferível. Entretanto, uma vez que elementos diferentes de Ca (Si ou similares) são incluídos no caso em que a concentração de Ca é baixa, é necessário selecionar cuidadosamente a composição da liga de Ca.

[00154] Para evitar a agregação ou segregação dos agregados dos óxidos e sulfetos de cálcio (CaO-CaS), é preferível agitar o aço fundido através de borbulhamento de Ar ou similar na panela após a adição da liga de Ca de modo a tornar uniforme a concentração de Ca e flutuar as inclusões de tamanho grande. No caso em que a quantidade de aço fundido é 200 t ou mais, é preferível conduzir a agitação por cerca de 5 minutos a 10 minutos. Uma agitação excessiva provoca a agregação de inclusões, e assim as inclusões embrutecem. Portanto, uma agitação excessiva não é preferível.

[00155] Do ponto de vista de garantir a taxa de rendimento de Ca, é vantajoso executar a adição de uma liga de Ca na etapa final de um processo de refino. O Ca pode ser adicionado a uma panela em um processo de fundição, ao invés do processo de refino. É necessário ajustar a taxa de adição de uma liga de Ca dependendo da quantidade de minério refinada durante o lingotamento (quantidade de lingotamento por hora). Nesse caso, uma vez que a agitação do aço fundido após a adição de Ca é conduzida dentro da panela ou do molde de lingotamento, a uniformidade da concentração de Ca é ligeiramente pior que no caso de adição de Ca na panela. Portanto, é preferível agitar o aço fundido durante a solidificação através de uma força eletromagnética ou similar para evitar a agregação ou segregação dos agregados dos óxidos e sulfetos de cálcio (CaO-CaS) na etapa de lingotamento. Em adição, é preferível otimizar a forma de um bocal de lingotamento para

controlar o fluxo do aço fundido durante o lingotamento.

[00156] Além disso, para gerar eficientemente CaS tendo uma alta consistência com as inclusões à base de sulfeto de Mn, é preferível ajustar a quantidade de oxigênio no aço fundido de modo a suprimir a geração de uma quantidade excessiva de CaO. Para ajustar previamente a quantidade de oxigênio, é preferível desoxidar previamente o aço fundido através do Al, do Si ou similares.

[00157] Em adição, para dispersar finamente óxidos finos nanométricos e inclusões à base de sulfeto de Mn, é preferível adicionar Mg metálico puro, uma liga de Mg (Fe-Si-Mg, Fe-Mn-Mg, Fe-Si-Mn-Mg e Si-Mg) ou uma liga se Zr (Fe-Si-Zr, Fe-Mn-Mg-Zr e Fe-Si-Mn-Mg-Zr) em uma panela de aço fundido a altas temperaturas após o refino geral ou em uma panela intermediária durante o lingotamento. Além disso, é preferível agitar o aço fundido durante a solidificação através de uma força eletromagnética ou similar para evitar a aglomeração ou a segregação na etapa de lingotamento. Em adição, é preferível otimizar a forma de um bocal de lingotamento para controlar o fluxo do aço fundido durante o lingotamento.

[00158] Aqui, embora a ordem de adição de Ca, Mg e Zr não seja claramente descrita, em um aço de alto teor de carbono incluindo uma pequena quantidade de oxigênio, é preferível adicionar inicialmente Ca tendo uma força de oxidação relativamente fraca, e então adicionar Mg e Zr tendo força de oxidação forte para gerar óxidos de Ca, Mg e Zr com uma boa eficiência.

[00159] Na laminação a quente, a temperatura na qual a moldagem final é conduzida está preferivelmente em uma faixa de 900°C a 1000°C a partir do ponto de vista de garantir a forma e material.

[00160] Em adição, em relação ao tratamento térmico após a laminação a quente, é preferível conduzir resfriamento acelerado em uma porção de trilha 3 a altas temperaturas inclusive regiões austenita após

a laminação a quente, é preferível conduzir resfriamento acelerado em uma porção de cabeça de trilho 3 a altas temperaturas incluindo regiões austenita após a laminação a quente ou reaquecimento para obter uma estrutura perlítica com uma dureza Hv de 320 a 500 na porção de cabeça do trilho 3. Como método de resfriamento acelerado, conduzindo-se o tratamento térmico (e resfriamento) com um método descrito no Documento Patentário 8 (Publicação de Pedido de Patente Japonês não Examinado N° H08-246100), Documento Patentário 9 (Publicação de Pedido de Patente Japonês não Examinado N° H09-111352) ou similar, é possível obter uma estrutura e dureza em faixas predeterminadas.

[00161] Aqui, para conduzir o tratamento térmico com reaquecimento após a laminação do trilho, é preferível aquecer a porção de cabeça do trilho ou o trilho inteiro com uma chama ou aquecimento por indução.

EXEMPLOS

[00162] A seguir, serão descritos exemplos da presente invenção.

[00163] As tabelas 1 a 6 mostram os componentes químicos dos aços para trilhos testados. Aqui, o saldo consiste em Fe e as inevitáveis impurezas. Aços para trilhos tendo as composições de componentes mostradas na tabela 1 a 6 foram produzidos da maneira a seguir.

[00164] Desfosforação e dessulfuração foram conduzidas em uma etapa de metal quente, e, além disso, desfosforação e dessulfuração foram conduzidas em um forno de fusão comumente usado tal como um forno conversor, um forno elétrico ou similar para obter aço fundido. Ca foi adicionado ao aço fundido de modo a controlar as inclusões à base de sulfeto de Mn, ou Mg e Zr foram também adicionados de modo a dispersar finamente óxidos nanométricos e inclusões à base de sulfeto de Mn. Então, um lingote de aço foi produzido por um método de lingotamento contínuo, e foi conduzida laminação a quente no

lingote de aço. Posteriormente, um tratamento térmico foi conduzido de modo a produzir o trilho.

Tabela 1

Trilho	Aço	Componentes químicos (% em massa)								S/Ca
		C	Si	Mn	P	S	Ca	Mg, Zr	Co, Cr, Mo, V, Nb, B, Cu, Ni, Ti, Al, N	
Aços para trilhos da presente invenção	1	0,65	0,25	0,80	0,0100	0,0050	0,0020	Mg: 0,0020	Cu: 0,15	2,50
	2	1,20	0,25	0,80	0,0100	0,0050	0,0020	Mg: 0,0020	Cu: 0,15	2,50
	3	0,85	0,05	0,60	0,0120	0,0070	0,0080	-		0,88
	4	0,85	2,00	0,60	0,0120	0,0070	0,0080	-		0,88
	5	0,90	0,30	0,05	0,0060	0,0040	0,0060	Mg: 0,0020 Zr: 0,0012	Cr: 0,25	0,67
	6	0,90	0,30	2,00	0,0060	0,0040	0,0060	Mg: 0,0020 Zr: 0,0012	Cr: 0,25	0,67
	7	1,00	0,50	1,00	0,0150	0,0030	0,0100	-		0,30
	8	1,00	0,50	1,00	0,0020	0,0030	0,0100	-		0,30
	9	1,10	0,50	0,70	0,0150	0,0100	0,0120	Zr: 0,0015		0,83
	10	1,10	0,50	0,70	0,0020	0,0010	0,0120	Zr: 0,0015		0,08
	11	0,95	0,95	0,80	0,0070	0,0030	0,0005	-	Ti: 0,01	6,00
	12	0,95	0,95	0,80	0,0070	0,0030	0,0200	-	Ti: 0,01	0,15

Tabela 2

Trilho	Aço	Componentes químicos (% em massa)								S/Ca
		C	Si	Mn	P	S	Ca	Mg, Zr	Co, Cr, Mo, V, Nb, B, Cu, Ni, Ti, Al, N	
Aços para trilhos da presente invenção	13	0,65	0,30	0,75	0,0080	0,0050	0,0190	-		0,26
	14	0,65	0,30	0,75	0,0080	0,0050	0,0035	-		1,43
	15	0,65	0,30	0,75	0,0080	0,0050	0,0035	Mg: 0,0012 Zr: 0,0015		1,43
	16	0,70	0,30	0,75	0,0040	0,0060	0,0020	Zr: 0,0020		3,00
	17	0,70	1,25	0,20	0,0140	0,0020	0,0040	-	Ni: 0,25	0,50
	18	0,75	0,50	1,00	0,0130	0,0060	0,0008	-	Nb: 0,01	7,50
	19	0,75	0,50	1,00	0,0130	0,0060	0,0080	-	Nb: 0,01	0,75
	20	0,75	0,50	1,00	0,0130	0,0060	0,0080	Mg: 0,0050	Nb: 0,01	0,75
	21	0,80	0,40	1,10	0,0100	0,0100	0,0020	-		5,00
	22	0,80	0,40	1,10	0,0100	0,0060	0,0020	-		3,00
	23	0,80	0,40	1,10	0,0100	0,0020	0,0020	-		1,00
	24	0,85	0,55	0,85	0,0060	0,0080	0,0009	-		8,89

Tabela 3

Trilho	Aço	Componentes químicos (% em massa)								S/Ca
		C	Si	Mn	P	S	Ca	Mg, Zr	Co, Cr, Mo, V, Nb, B, Cu, Ni, Ti, Al, N	
Aços para trilhos da presente invenção	25	0,85	0,55	0,85	0,0060	0,0080	0,0050	-		1,60
	26	0,85	0,55	0,85	0,0060	0,0080	0,0050	Mg: 0,0040 Zr: 0,0025		1,60
	27	0,90	0,30	1,25	0,0050	0,0095	0,0140	Zr: 0,0050		0,68
	28	0,90	0,30	1,25	0,0050	0,0095	0,0140	Zr: 0,0050	Co: 0,30	0,68
	29	0,95	0,95	0,80	0,0070	0,0030	0,0005	-	Ti: 0,01	6,00
	30	0,95	0,95	0,80	0,0070	0,0030	0,0030	-	Ti: 0,01	1,00
	31	0,95	0,95	0,80	0,0070	0,0030	0,0030	Mg: 0,0020 Zr: 0,0030	Ti: 0,01	1,00
	32	0,95	0,25	1,20	0,0095	0,0095	0,0150	-	Mo: 0,02	0,63
	33	1,00	0,50	0,70	0,0040	0,0080	0,0009	-	Cr: 0,20	8,89
	34	1,00	0,50	0,70	0,0040	0,0080	0,0045	-	Cr: 0,20	1,78
	35	1,00	0,50	0,70	0,0040	0,0080	0,0045	Mg: 0,0050	Cr: 0,20	1,78
	36	1,05	0,10	0,90	0,0050	0,0025	0,0160	-	Al: 0,0080	0,16

Tabela 4

Trilho	Aço	Componentes químicos (% em massa)								S/Ca
		C	Si	Mn	P	S	Ca	Mg, Zr	Co, Cr, Mo, V, Nb, B, Cu, Ni, Ti, Al, N	
Aços para trilhos da presente invenção	37	1,05	0,10	0,90	0,0050	0,0025	0,0030	-	Al: 0,0080	0,83
	38	1,05	0,10	0,90	0,0050	0,0025	0,0030	Mg: 0,0050 Zr: 0,0010	Al: 0,0080	0,83
	39	1,05	0,85	0,80	0,0030	0,0040	0,0050	Mg: 0,0007	B: 0,0020, Ti: 0,01	0,80
	40	1,10	0,50	0,70	0,0040	0,0050	0,0040	Mg: 0,0005 Zr: 0,0005		1,25
	41	1,10	0,50	0,70	0,0040	0,0050	0,0040	Mg: 0,0020 Zr: 0,0020		1,25
	42	1,10	0,50	0,70	0,0040	0,0050	0,0040	Mg: 0,0080 Zr: 0,0080		1,25
	43	1,15	0,35	1,35	0,0040	0,0070	0,0040	-		1,75
	44	1,15	0,95	0,90	0,0050	0,0090	0,0020	Mg: 0,0020	V: 0,02	4,50
	45	1,20	1,25	0,45	0,0020	0,0060	0,0010	-	N: 0,0080	6,00
	46	1,20	1,25	0,45	0,0020	0,0060	0,0035	-	N: 0,0080	1,71
	47	1,20	1,25	0,45	0,0020	0,0060	0,0035	Mg: 0,0010 Zr: 0,0030	N: 0,0080	1,71

Tabela 5

Trilho	Aço	Componentes químicos (% em massa)								S/Ca
		C	Si	Mn	P	S	Ca	Mg, Zr	Co, Cr, Mo, V, Nb, B, Cu, Ni, Ti, Al, N	
Aços para trilhos comparativos	48	<u>0,60</u>	0,25	0,80	0,0100	0,0050	0,0020	Mg: 0,0020	Cu: 0,15	2,50
	49	<u>1,30</u>	0,25	0,80	0,0100	0,0050	0,0020	Mg: 0,0020	Cu: 0,15	2,50
	50	0,85	<u>0,01</u>	0,60	0,0120	0,0070	0,0080	-		0,88
	51	0,85	<u>2,50</u>	0,60	0,0120	0,0070	0,0080	-		0,88
	52	0,90	0,30	<u>0,01</u>	0,0060	0,0040	0,0060	Mg: 0,0020 Zr: 0,0012	Cr: 0,25	0,67
	53	0,90	0,30	<u>2,30</u>	0,0060	0,0040	0,0060	Mg: 0,0020 Zr: 0,0012	Cr: 0,25	0,67
	54	1,00	0,50	1,00	<u>0,0250</u>	0,0030	0,0100	-		0,30
	55	1,10	0,50	0,70	0,0150	<u>0,0240</u>	0,0120	Zr: 0,0015		2,00
	56	0,95	0,95	0,80	0,0070	0,0030	<u>0,0001</u>	-	Ti: 0,01	30,00
	57	0,95	0,95	0,80	0,0070	0,0030	<u>0,0300</u>	-	Ti: 0,01	0,10
	58	0,65	0,30	0,75	<u>0,0160</u>	0,0050	0,0035	-		1,43

Tabela 6

Trilho	Aço	Componentes químicos (% em massa)								S/Ca
		C	Si	Mn	P	S	Ca	Mg, Zr	Co, Cr, Mo, V, Nb, B, Cu, Ni, Ti, Al, N	
Aços para trilhos comparativos	59	0,75	0,50	1,00	<u>0,0180</u>	<u>0,0150</u>	<u>0,0004</u>	-	Nb: 0,01	37,50
	60	0,85	0,55	0,85	0,0060	<u>0,0120</u>	0,0050	-		2,40
	61	0,95	0,95	0,80	<u>0,0170</u>	0,0030	<u>0,0002</u>	-	Ti: 0,01	15,0
	62	1,05	0,10	0,90	0,0050	0,0025	<u>0,0210</u>	-	Al: 0,0080	0,12
	63	1,20	1,25	0,45	<u>0,0190</u>	<u>0,0130</u>	0,0035	-	N: 0,0090	3,71
	64	0,65	0,30	0,45	0,0080	0,0050	0,0010	-		5,00
	65	1,20	0,50	0,45	0,0020	0,0060	0,0050	-	N: 0,0080	1,20
	66	0,95	1,20	1,20	0,0070	0,0030	0,0080	-	Ti: 0,01	0,38
	67	0,85	0,30	0,30	0,0060	0,0080	0,0025	-		3,20
	68	1,05	1,00	1,35	0,0050	0,0025	0,0030	-	Al: 0,0080	0,83

[00165] (a) Medição do número de inclusões à base de sulfeto de Mn

[00166] A figura 3 mostra uma localização na qual as inclusões à base de sulfeto de Mn foram observadas nos aços para trilhos que estão definidos na reivindicação 1.

[00167] Conforme mostrado na figura 3, entre as seções transversais tomadas ao longo da direção do comprimento do aço para trilhos obtido, foi cortada uma amostra de uma porção variando da superfície da porção de cabeça do trilho até uma profundidade de 3 a 10 mm incluindo a porção de superfície da cabeça 3a. Então, o número (por unidade de área) (inclusões/mm²) de inclusões à base de sulfeto tendo comprimentos principais (comprimento do eixo principal) em uma faixa de 10 µm a 100 µm foi obtido pelo método acima descrito.

[00168] (b) Medição do número de inclusões à base de sulfeto de Mn, óxidos à base de Mg e óxidos de Zr

[00169] A figura 4 mostra uma localização na qual as inclusões à base de sulfeto de Mn e óxidos de Zr foram observadas no trilho de aço que são definidos na reivindicação 2.

[00170] Conforme mostrado na figura 4, entre seções transversais transversas do trilho de aço obtido, foi cortada uma amostra de uma porção variando da superfície da porção da cabeça do trilho até uma profundidade de 3 a 10 mm incluindo a porção da superfície 3a. Então, o número (por unidade de área) (inclusões/mm²) de óxidos à base de Mg, óxidos de Zr e inclusões à base de sulfeto de Mn tendo diâmetros de grão em uma faixa de 5 nm a 100 nm foi obtido pelo método acima descrito.

[00171] (c) Observação da microestrutura e medição da dureza da porção de superfície 3^a

[00172] Foi cortada uma amostra de uma porção situada a uma profundidade de 4 mm a partir da superfície da porção de cabeça do trilho

3. Posteriormente, uma superfície a ser observada foi polida, e então a superfície foi causticada com fluido de causticação nital. A microestrutura na superfície a ser observada foi observada usando-se um microscópio ótico de acordo com a JIS G 0551.

[00173] Em adição, de acordo com a JIS B7774, a dureza Vickers Hv da amostra cortada foi medida. Aqui, a dureza Vickers foi medida enquanto um penetrador de diamante foi carregado na mesma a uma carga de 98 N (10 kgf). A dureza Vickers é expressa como (Hv, 98N) nas tabelas.

[00174] Os resultados obtidos estão mostrados nas tabelas 7 a 12. Aqui, nas tabelas, o "material de porção da cabeça *1" se refere a um material em uma porção situada a uma profundidade de 4 mm a partir da superfície da porção de cabeça do trilho 5.

Tabela 7

Trilho	Aço	Número de inclusões à base de sulfeto de MN tendo comprimentos principais em uma faixa de 10 μm a 100 μm (/mm ²)	Número de óxidos à base de Mg, óxidos de Zr e inclusões à base de sulfeto de Mn tendo diâmetros de grão em uma faixa de 5 nm a 100 nm (/mm ²)	Material de porção da cabeça *1	
				Microestrutura	Dureza (Hv, 98N)
Aços para trilho da presente invenção	1	50	3800	Perlita + pequena quantidade de ferrita pró-eutetóide	320
	2	50	3800	Perlita + pequena quantidade de cementita pró-eutetóide	400
	3	100	-	Perlita	330
	4	100	-	Perlita + pequena quantidade de martensita	460
	5	70	5600	Perlita	320
	6	70	5600	Perlita + pequena quantidade de martensita	460
	7	30	-	Perlita	440
	8	30	-	Perlita	440
	9	150	3500	Perlita	420
	10	30	3500	Perlita	420
	11	200	-	Perlita	430
	12	10	-	Perlita	430

Tabela 8

Trilho	Aço	Número de inclusões à base de sulfeto de MN tendo comprimentos principais em uma faixa de 10 μm a 100 μm (/mm ²)	Número de óxidos à base de Mg, óxidos de Zr e inclusões à base de sulfeto de Mn tendo diâmetros de grão em uma faixa de 5 nm a 100 nm (/mm ²)	Material de porção da cabeça *1	
				Microestrutura	Dureza (Hv, 98N)
Aços para trilho da presente invenção	13	15	-	Perlita	350
	14	70	-	Perlita	350
	15	60	6800	Perlita	350
	16	100	4000	Perlita	350
	17	12	-	Perlita	370
	18	190	-	Perlita + pequena quantidade de bainita	390
	19	90	-	Perlita + pequena quantidade de bainita	390
	20	80	17000	Perlita + pequena quantidade de bainita	390
	21	180	-	Perlita	400
	22	100	-	Perlita	400
	23	20	-	Perlita	400
	24	180	-	Perlita	400

Tabela 9

Trilho	Aço	Número de inclusões à base de sulfeto de MN tendo comprimentos principais em uma faixa de 10 μm a 100 μm (/mm ²)	Número de óxidos à base de Mg, óxidos de Zr e inclusões à base de sulfeto de Mn tendo diâmetros de grão em uma faixa de 5 nm a 100 nm (/mm ²)	Material de porção da cabeça *1	
				Microestrutura	Dureza (Hv, 98N)
Aços para trilho da presente invenção	25	140	-	Perlita	400
	26	130	30000	Perlita	400
	27	170	18000	Perlita	420
	28	170	19000	Perlita	420
	29	190	-	Perlita	430
	30	140	-	Perlita	430
	31	130	19000	Perlita	430
	32	170	-	Perlita + pequena quantidade de martensita	450
	33	195	-	Perlita	425
	34	150	-	Perlita	425
	35	130	15000	Perlita	425
	36	18	-	Perlita	375

Tabela 10

Trilho	Aço	Número de inclusões à base de sulfeto de MN tendo comprimentos principais em uma faixa de 10 μm a 100 μm (/mm ²)	Número de óxidos à base de Mg, óxidos de Zr e inclusões à base de sulfeto de Mn tendo diâmetros de grão em uma faixa de 5 nm a 100 nm (/mm ²)	Material de porção da cabeça *1	
				Microestrutura	Dureza (Hv, 98N)
Aços para trilho da presente invenção	37	100	-	Perlita	375
	38	80	26000	Perlita	375
	39	60	635	Perlita	460
	40	90	1200	Perlita	445
	41	80	13000	Perlita	445
	42	50	45000	Perlita	445
	43	120	-	Perlita + pequena quantidade de cementita proeutctóide	500
	44	150	4500	Perlita	450
	45	190	-	Perlita + pequena quantidade de cementita pró-eutetóide	445
	46	90	-	Perlita + pequena quantidade de cementita pró-eutetóide	445
	47	70	12000	Perlita + pequena quantidade de cementita pró-eutetóide	445

Tabela 11

Trilho	Aço	Número de inclusões à base de sulfeto de MN tendo comprimentos principais em uma faixa de 10 μm a 100 μm (/mm ²)	Número de óxidos à base de Mg, óxidos de Zr e inclusões à base de sulfeto de Mn tendo diâmetros de grão em uma faixa de 5 nm a 100 nm (/mm ²)	Material de porção da cabeça *1	
				Microestrutura	Dureza (Hv, 98N)
Aços para trilho comparativos	48	50	3800	<u>Perlita + ferrita pró-eutetóide</u>	<u>300</u>
	49	50	3800	<u>Perlita + cementita pró-eutetóide</u>	420
	50	100	-	Perlita	<u>310</u>
	51	100	-	<u>Perlita + martensita</u>	<u>550</u>
	52	70	5600	Perlita	<u>280</u>
	53	70	5600	<u>Perlita + martensita</u>	<u>580</u>
	54	30	-	Perlita	440
	55	<u>300</u> (número de inclusões aumenta → tenacidade diminui)	-	Perlita	420
	56	<u>230</u> ((número de inclusões aumenta → tenacidade diminui)	-	Perlita	430
	57	<u>5</u> (geras CaO → diminui a tenacidade)	-	Perlita	430
	58	70	-	Perlita	350

Tabela 12

Trilho	Aço	Número de inclusões à base de sulfeto de MN tendo comprimentos principais em uma faixa de 10 μm a 100 μm (/mm ²)	Número de óxidos à base de Mg, óxidos de Zr e inclusões à base de sulfeto de Mn tendo diâmetros de grão em uma faixa de 5 nm a 100 nm (/mm ²)	Material de porção da cabeça *1	
				Microestrutura	Dureza (Hv, 98N)
Aços para trilho comparativos	59	<u>220</u> (número de inclusões aumenta → tenacidade diminui)	-	Perlita + pequena quantidade de bainita	390
	60	140	-	Perlita	400
	61	<u>210</u> (número de inclusões aumenta → tenacidade diminui)	-	Perlita	430
	62	<u>8</u> (gera CaO → tenacidade diminui)	-	Perlita	375
	63	90	-	Perlita + pequena quantidade de cementita pró-eutetóide	445
	64	70	-	<u>Perlita + ferrita pró-eutetóide</u>	320
	65	90	-	<u>Perlita + cementita pró-eutetóide</u>	370
	66	140	-	<u>Perlita + martensita</u>	490
	67	140	-	Perlita	<u>300</u>
	68	100	-	Perlita	<u>520</u>

[00175] (d) Teste de desgaste

[00176] A figura 5 mostra uma localização a partir da qual foi retirado um espécime de teste para o teste de desgaste, e os valores numéricos no desenho mostram as dimensões (mm).

[00177] Conforme mostrado na figura 5, um espécime de teste em forma de disco foi cortado de uma porção incluindo a porção de superfície da cabeça 3a no trilho de aço. Então, conforme mostrado na figura 6, dois eixos de rotação opostos foram preparados, o espécime de teste em forma de disco (espécime 4 do teste de trilho) foi disposto em um dos eixos de rotação, e um material oponente 5 foi disposto no outro eixo de rotação. O espécime de teste de trilho 4 e o material oponente 5 foram trazidos ao contato em um estado onde uma carga predeterminada foi aplicada ao espécime de teste de trilho 4. Em tal estado, os dois eixos de rotação foram girados a uma velocidade predeterminada enquanto resfriava-se o espécime de teste pelo fornecimento de ar comprimido por um bocal de resfriamento 6. Então, após girar os eixos 700.000 vezes a quantidade reduzida (quantidade desgastada) do peso do espécime de teste de trilho 4 foi medida.

[00178] As condições para o teste de desgaste estão mostradas abaixo.

[00179] Máquina de teste: máquina de teste de desgaste do tipo Nishihara (referir-se à figura 6)

[00180] Forma do espécime de teste: espécime em forma de disco (diâmetro externo: 30 mm, espessura: 8 mm)

[00181] Localização a partir da qual o espécime de teste é retirado: 2 mm abaixo da superfície da porção de cabeça do trilho (referir-se à figura 5)

[00182] Carga de teste: 686 N (pressão na superfície de contato: 640 MPa)

[00183] Razão de deslizamento: 20%

- [00184] Material oponente: aço perlítico (Hv 380)
- [00185] Atmosfera: na atmosfera (ar)
- [00186] Resfriamento: Resfriamento forçado por ar comprimido (taxa de fluxo: 100 NI/minuto)
- [00187] Número de repetições: 700.000
- [00188] (e) Teste de impacto da porção da cabeça
- [00189] A figura 7 mostra uma localização da qual foi retirado o espécime de teste para o teste de impacto.
- [00190] Conforme mostrado na figura 7, um espécime de teste foi cortado ao longo da direção da largura do trilho (seção transversal) na seção transversal do aço do trilho de forma que uma porção incluindo a porção de superfície da cabeça 3a forme o fundo de um entalhe. Então, o espécime de teste obtido foi submetido a um teste de impacto sob as condições a seguir; e assim os valores de impacto (J/cm^2) foram medidos.
- [00191] Máquina de teste: máquina para teste de impacto
- [00192] Forma do espécime de teste: Entalhe em U de 2 mm na JIS N° 3
- [00193] Localização da qual o espécime de teste é retirado: 2 mm abaixo da superfície da porção de cabeça do trilho (referir-se à figura 7)
- [00194] Temperatura do teste: Temperatura normal (20°C)
- [00195] Os resultados obtidos estão mostrados nas tabelas 13 a 15. Aqui, nas tabelas, os "Resultados dos testes de desgaste *2" se referem aos resultados do teste de desgaste acima descritos, e a quantidade reduzida (g) do peso eo espécime de teste de trilho 13 é expresso como a quantidade desgastada. Os "Resultados do teste de impacto *3" se referem aos resultados do teste de impacto acima descrito da porção de cabeça e mostram os valores de impacto (J/cm^2). Enquanto isso, um valor de impacto maior (J/cm^2) significa uma tenacidade superior.
- [00196] Na presente avaliação, um caso em que a quantidade des-

gastada estava na faixa de 1,5 g ou menos após girar 700.000 vezes foi avaliado como tendo excelente resistência ao desgaste. Uma vez que os valores de impacto medidos a 20°C são grande mente variados com a quantidade de carbono no aço, os critérios de valor que mostraram os méritos relativos das características não foram ajustados, e os méritos relativos dos valores de impacto foram avaliados entre os trilhos de aço que tivessem a mesma quantidade de carbono.

Tabela 13

Trilho	Aço	Resultados do teste de desgaste *2 (g, 700,000 vezes)	Resultados do teste de impacto *3
			Valor de impacto (J/cm ²)
Aços para trilho da presente invenção	1	1,45	37,0
	2	0,35	10,0
	3	1,25	19,0
	4	1,10	17,0
	5	1,00	16,0
	6	0,91	14,5
	7	0,62	12,5
	8	0,63	16,0
	9	0,46	11,3
	10	0,45	13,0
	11	0,80	13,0
	12	0,81	12,0
	13	1,35	33,0
	14	1,33	34,5
	15	1,37	38,5
	16	1,25	29,0
	17	1,22	26,0
	18	1,18	25,0
	19	1,19	27,0
	20	1,18	31,0
	21	1,05	18,5
	22	1,04	19,5
	23	1,06	22,5
	24	0,95	19,5

Tabela 14

Trilho	Aço	Resultados do teste de desgaste *2 (g, 700,000 vezes)	Resultados do teste de impacto *3
			Valor de impacto (J/cm ²)
Aços para trilho da presente invenção	25	0,94	20,5
	26	0,94	25,0
	27	0,86	18,0
	28	0,70	18,5
	29	0,75	14,0
	30	0,74	15,5
	31	0,75	18,5
	32	0,72	14,2
	33	0,60	12,5
	34	0,62	14,0
	35	0,60	16,0
	36	0,64	12,0
	37	0,63	13,5
	38	0,63	16,0
	39	0,45	13,5
	40	0,44	12,5
	41	0,43	14,0
	42	0,44	16,0
	43	0,30	11,0
	44	0,32	12,0
	45	0,25	10,0
	46	0,26	11,5
	47	0,27	14,0

Tabela 15

Trilho	Aço	Resultados do teste de desgaste *2 (g, 700.000 vezes)	Resultados do teste de impacto *3
			Valor de impacto (J/cm ²)
Aços para trilho comparativos	48	<u>2,30 (grandemente desgastado)</u>	37,0
	49	0,30	<u>5,0 (valor de impacto é diminuído)</u>
	50	<u>1,65 (grandemente desgastado)</u>	18,0
	51	<u>1,80 (grandemente desgastado)</u>	<u>4,5 (valor de impacto é diminuído)</u>
	52	<u>1,62 (grandemente desgastado)</u>	16,0
	53	<u>1,90 (grandemente desgastado)</u>	<u>4,0 (valor de impacto é diminuído)</u>
	54	0,62	9,0
	55	0,46	7,5
	56	0,75	9,5
	57	0,75	8,0
	58	1,35	29,0
	59	1,18	20,0
	60	0,95	14,0
	61	0,75	9,8
	62	0,64	9,0
	63	0,25	7,0
	64	<u>2,00 (grandemente desgastado)</u>	35,0
	65	0,40	<u>6,0 (valor de impacto é diminuído)</u>
	66	<u>1,90 (grandemente desgastado)</u>	<u>4,0 (valor de impacto é diminuído)</u>
	67	<u>1,75 (grandemente desgastado)</u>	18,0
	68	0,40	<u>7,0 (valor de impacto é diminuído)</u>

[00197] (1) Trilhos conforme a presente invenção (47 trilhos), aços N^{os} 1 a 47

[00198] Aços n^{os} 3, 4, 7, 8, 11 a 14, 17 a 19, 21 a 25, 29, 30, 32 a 34, 36, 37, 43, 45 e 46: trilhos perlita tendo resistência ao desgaste e tenacidade superiores que têm composições químicas dentro da faixa limitada descrita acima da presente invenção e nos quais o número de inclusões à base de sulfeto de Mn tendo comprimentos principais (comprimento do eixo maior) numa faixa de 10 µm a 100 µm, a microestrutura da porção da cabeça do trilho e a dureza estão dentro das faixas limitadas da presente invenção.

[00199] Aços N^{os} 1, 2, 5, 6, 9, 10, 15, 16, 20, 26 to 28, 31, 35, 38 a 42, 44 e 47: trilhos perlita tendo resistência ao desgaste e tenacidade superiores que têm as composições químicas dentro da faixa limitada acima descrita da presente invenção e nos quais o número de inclusões à base de sulfeto de MN tendo comprimentos principais (comprimento do eixo maior) em uma faixa de 10 µm a 100 µm, o número de óxidos à base de Mg, óxidos de Zr e inclusões à base de sulfeto de Mn tendo diâmetro de grão em uma faixa de 5 nm a 100 nm, a microestrutura da porção de cabeça do trilho e a dureza estão dentro das faixas limitadas da presente invenção.

[00200] (2) Trilhos comparativos (21 trilhos), Aços N^{os} 48 a 68

[00201] Aços N^{os} 48 a 53: trilhos cujas quantidades de C, Si e Mn estão fora das faixas da presente invenção.

[00202] Aços N^{os} 54 a 55: trilhos cujas quantidades de P e S estão fora das faixas da presente invenção.

[00203] Aços N^{os} 56 a 57: trilhos cuja quantidade de Ca está fora da faixa da presente invenção. Aços N^{os} 58 a 63: trilhos cujas quantidades de P, S e Ca estão fora da faixa da presente invenção.

[00204] Aços N^{os} 64 a 66: trilhos cujas composições químicas estão dentro da faixa da presente invenção; entretanto as microestruturas

das porções de cabeça não preenchem as características da presente invenção acima descritas.

[00205] Aços N^{os} 67 a 68: trilhos cujas composições químicas estão dentro da faixa da presente invenção; entretanto, a dureza da porção de cabeça está fora da faixa da presente invenção descrita acima.

[00206] Conforme mostrado nas tabelas 1 a 15, comparado com os aços para trilhos comparativos (aços N^{os} 48 a 53), os aços conforme a presente invenção (Aços N^{os} 1 a 47) incluem C, Si e Mn em teores dentro das faixas limitadas da presente invenção. Portanto, é possível obter estavelmente uma estrutura perlítica tendo uma dureza dentro da faixa limitada da presente invenção sem gerar estrutura ferrita eutetóide, estrutura cementita eutetóide e estrutura martensita, o que afeta adversamente a resistência ao desgaste e a tenacidade.

[00207] Comparado com os aços para trilhos comparativos (Aços N^{os} 64 a 68), os aços para trilho conforme a presente invenção (aços N^{os} 1 a 47) incluem uma estrutura perlítica na microestrutura da porção de cabeça, e a dureza da estrutura perlítica está dentro da faixa limitada da presente invenção. Como resultado, é possível melhorar a resistência ao desgaste e a tenacidade do trilho.

[00208] A figura 8 mostra os resultados do teste de desgaste dos aços para trilhos conforme a presente invenção (aços N^{os} 1 a 47) e aços para trilhos comparativos (aços N^{os} 48, 50, 51, 52, 53, 64, 66 e 67).

[00209] No caso em que C, Si e Mn estão incluídos em quantidades dentro da faixa limitada da presente invenção, a geração de estrutura ferrita eutetóide e estrutura martensita, que afetam adversamente a resistência ao desgaste, é evitada, e em adição a dureza está dentro da faixa limitada da presente invenção. Portanto, é possível melhorar grandemente a resistência ao desgaste com qualquer quantidade de carbono.

[00210] A figura 9 mostra os resultados do teste de impacto dos aços para trilhos conforme a presente invenção (aços n^{os} 1 a 47) e aços para trilho comparativos (aços n^{os} 49, 51, 53, 65, 66 e 68).

[00211] No caso em que C, Si e Mn estão incluídos em quantidades dentro da faixa limitada da presente invenção, a geração de estrutura cementita eutetóide e estrutura martensita, que afetam adversamente a tenacidade, é evitada, e em adição a dureza está dentro da faixa limitada da presente invenção. Portanto, é possível melhorar grandemente a tenacidade com qualquer quantidade de carbono.

[00212] Conforme mostrado na figura 10, comparado com os aços para trilho comparativos (aços N^{os} 54 a 63), os aços para trilho conforme a presente invenção (aços N^{os} 1 a 47) incluem P, S, e Ca em quantidades dentro das faixas limitadas da presente invenção. Portanto, é possível melhorar grandemente a tenacidade dos trilhos perlita com qualquer quantidade de carbono.

[00213] Além disso, conforme mostrado na figura 11, os aços para trilho conforme a presente invenção (Aços N^{os} 11 a 13, 18 a 20, 24 a 26, 29 a 31, 33 a 35, 36 a 38 e 45 a 47) incluem Ca, e, além disso, a quantidade adicionada de Ca é otimizada. Portanto, inclusões à base de sulfeto de Mn são controladas de forma que o seu número esteja dentro da faixa limitada da presente invenção. Como resultado, é possível melhorar a tenacidade do trilho perlítico. Em adição, no caso em que Mg e Zr são adicionados, óxidos e inclusões à base de sulfeto de Mn são dispersados finamente de forma que o número de óxidos à base de Mg, óxidos de Zr e inclusões à base de sulfato de Mn sejam feitos estar em uma faixa de 500/mm² a 50,000/mm². Portanto, é possível melhorar também a tenacidade do trilho perlítico.

APLICABILIDADE INDUSTRIAL

[00214] O trilho perlítico conforme a presente invenção tem resistência ao desgaste e tenacidade superiores às daquelas de um trilho de

alta resistência em uso corrente. Portanto, a presente invenção pode ser preferivelmente aplicada a trilhos usados em ambiente da linha extremamente severo, tais como trilhos para transporte ferroviário de mercadorias que transportam recursos naturais minerados de regiões com ambientes naturais severos.

BREVE DESCRIÇÃO DOS SÍMBOLOS

- 1: porção de topo da cabeça
- 2: porção de canto da cabeça
- 3: porção da cabeça do trilho
- 3a: porção da superfície da cabeça
- 3b: uma porção variando entre as superfícies das porções de canto da cabeça e a porção de topo da cabeça até uma profundidade de 20 mm
- 4: espécime de teste de trilho
- 5: material oponente
- 6: bocal para resfriamento

REIVINDICAÇÕES

1. Trilho perlítico caracterizado pelo fato de que tem uma composição de aço compreendendo, em termos de percentual em massa,

C: 0,65 a 1,20%;

Si: 0,05 a 2,00%;

Mn: 0,05 a 2,00%;

P $\leq$ 0,0150%;

S $\leq$ 0,0100%;

Ca: 0,0005 a 0,0200%; e

o saldo sendo composto por Fe e as inevitáveis impurezas, em que uma razão de S/Ca está na faixa de 0,45 a 3,00,

em uma porção da cabeça do trilho, a porção de superfície da cabeça que vai desde as superfícies das porções dos cantos da cabeça e a porção de topo da cabeça até uma profundidade de 10 mm tem uma estrutura perlítica,

a dureza Hv da estrutura perlítica está em uma faixa de 320 a 500, e

inclusões à base de sulfeto de Mn tendo comprimentos principais em uma faixa de 10 a 100 μ m estão presentes em uma quantidade por unidade de área em uma faixa de 10 a 200/mm² em uma seção transversal tomada de uma porção que vai desde a superfície da porção da cabeça do trilho até uma profundidade de 3 mm a 10 mm ao longo da direção do comprimento na estrutura perlítica.

2. Trilho perlítico, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o aço também compreende, em termos de percentual em massa, ou um ou ambos entre Mg: 0,0005 a 0,0200% e Zr: 0,0005 a 0,0100%, e

óxidos à base de Mg, óxidos de Zr, e inclusões à base de sulfetos de Mn tendo diâmetros de grão em uma faixa de 5 nm a 100

nm estão presentes em uma quantidade por unidade de área em uma faixa de 500 a 50.000/mm² em uma seção transversal tomada de uma porção que vai desde a superfície da parte da superfície da cabeça do trilho até uma profundidade de 3 mm a 10 mm na estrutura perlítica.

3. Trilho perlítico, de acordo com a reivindicação 1 ou 2, caracterizado pelo fato de que o aço também compreende, em termos de percentual em massa, Co: 0,01% a 1,00%.

4. Trilho perlítico, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, caracterizado pelo fato de que o aço também compreende, em termos de percentual em massa, ou um ou ambos entre Cr: 0,01 a 2,00% e Mo: 0,01 a 0,50%.

5. Trilho perlítico, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 4, caracterizado pelo fato de que o aço também compreende, em termos de percentual em massa, ou um ou ambos entre V: 0,005 a 0,50% e Nb: 0,002 a 0,050%.

6. Trilho perlítico, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 5, caracterizado pelo fato de que o aço também compreende, em termos de percentual em massa, B: 0,0001 a 0,0050%.

7. Trilho perlítico, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 6, caracterizado pelo fato de que o aço também compreende, em termos de percentual em massa, Cu: 0,01 a 1,00%.

8. Trilho perlítico, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 7, caracterizado pelo fato de que o aço também compreende, em termos de percentual em massa, Ni: 0,01 a 1,00%.

9. Trilho perlítico, de acordo com qualquer uma das reivin-

dicações 1 a 8,

caracterizado pelo fato de que o aço também compreende, em termos de percentual em massa, Ti: 0,0050 , 0,0500%.

10. Trilho perlítico, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 9,

caracterizado pelo fato de que o aço também compreende, em termos de percentual em massa, Al: mais de 0,0100 a 1,00%.

11. Trilho perlítico, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 10,

caracterizado pelo fato de que o aço também compreende, em termos de percentual em massa, N: 0,0060 a 0,0200%.

FIG. 1

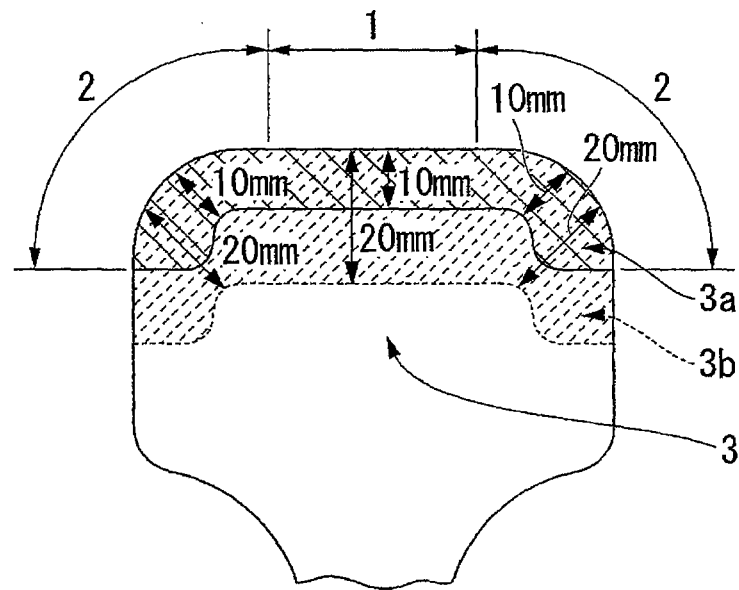


FIG. 2

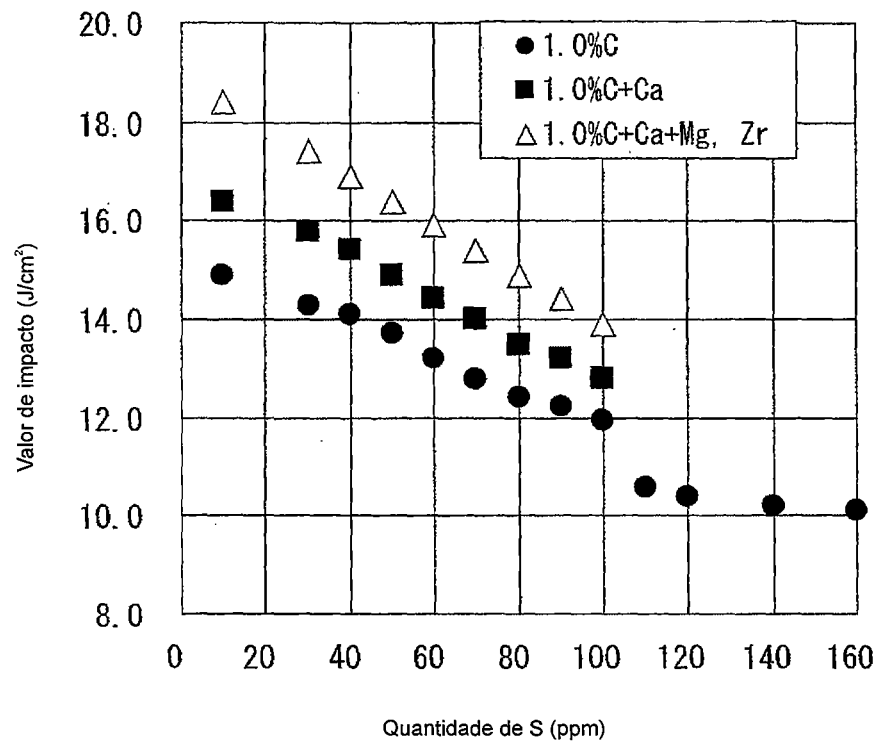


FIG. 3

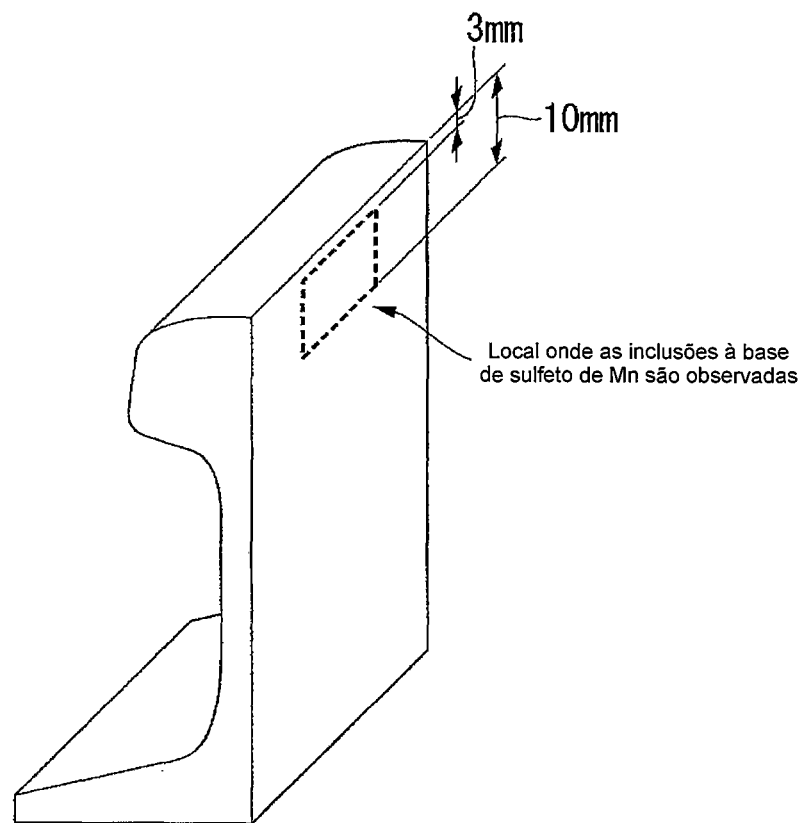
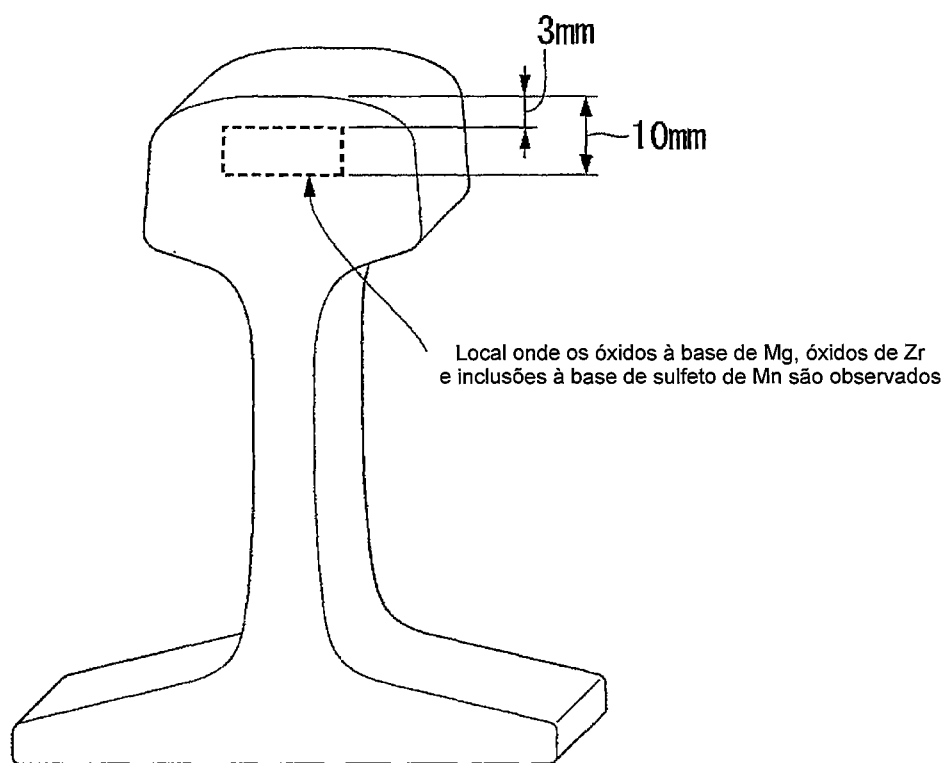


FIG. 4



5/8

FIG. 5

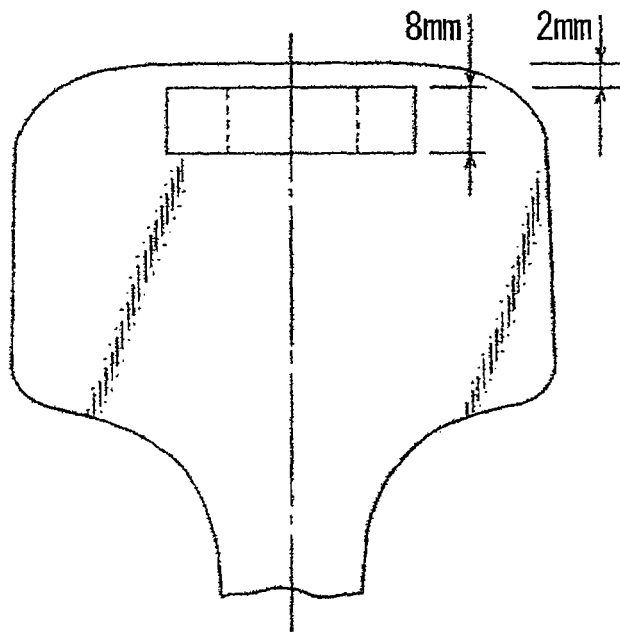


FIG. 6

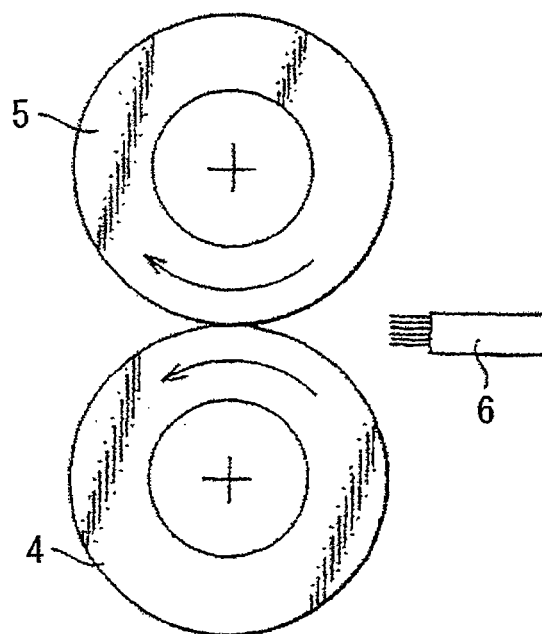


FIG. 7

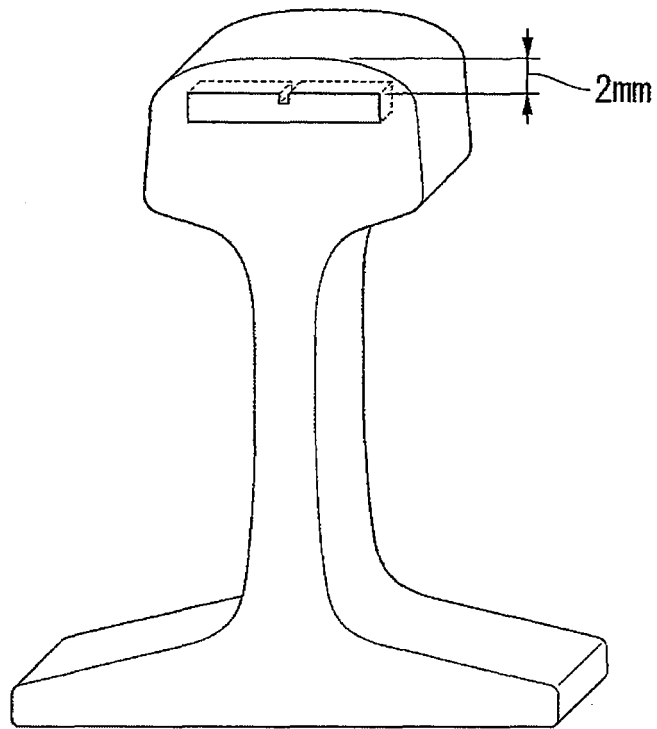


FIG. 8

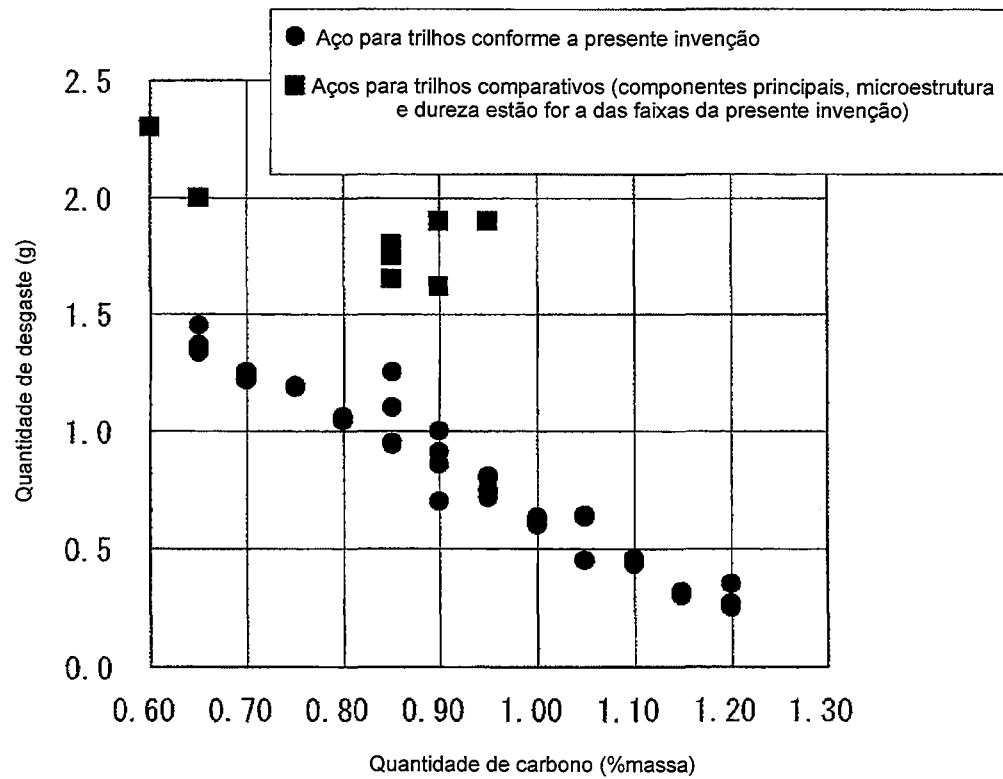


FIG. 9

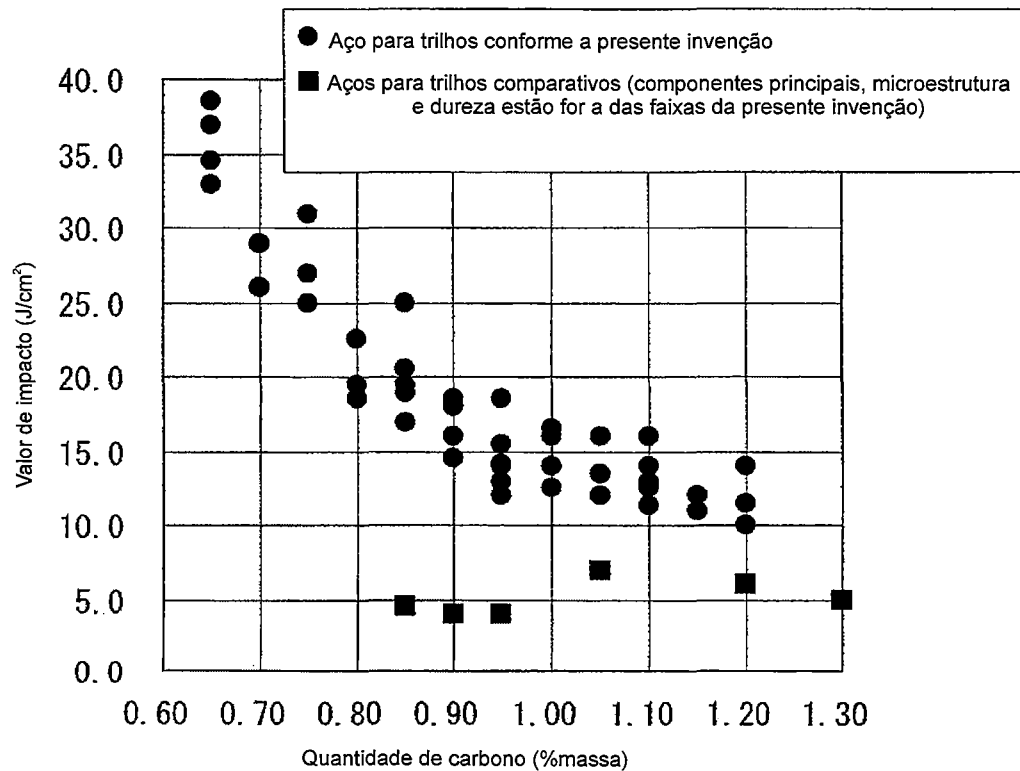


FIG. 10

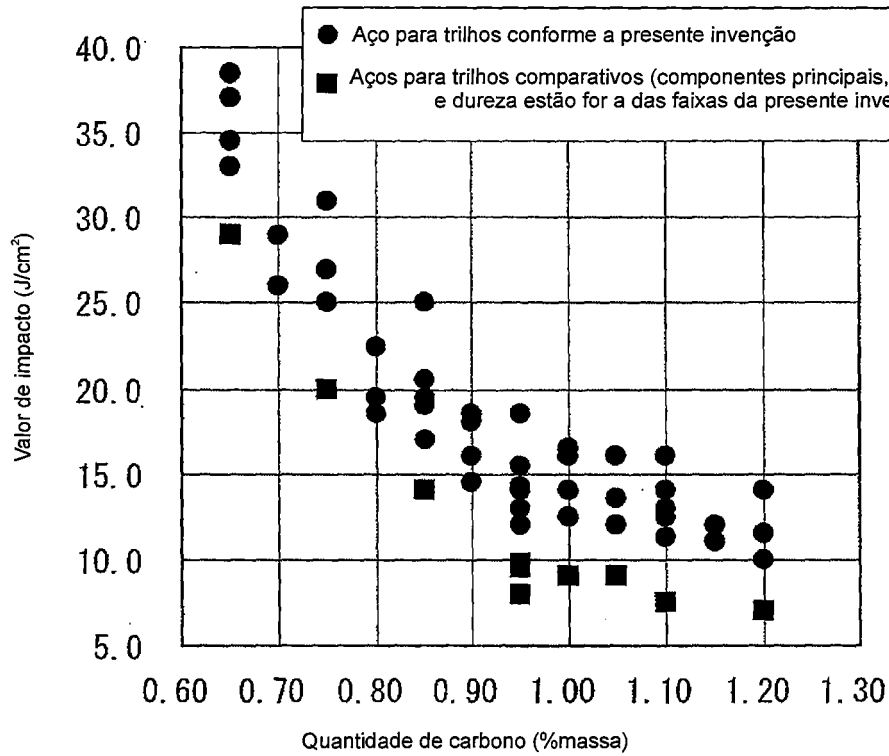


FIG. 11

