



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

(11) PI 0304718-0 B1

(22) Data do Depósito: 04/04/2003

(45) Data de Concessão: 12/01/2016

(RPI 2349)



(54) Título: MÉTODO PARA A PRODUÇÃO DE UM TRILHO DE AÇO PERLÍTICO EXCELENTE NA RESISTÊNCIA AO DESGASTE E DUCTILIDADE

(51) Int.Cl.: C22C 38/00; C22C 38/04; C22C 38/58; C21D 8/00

(30) Prioridade Unionista: 05/04/2002 JP 2002-104457, 10/07/2002 JP 2002-201205, 10/07/2002 JP 2002-201206, 12/11/2002 JP 2002-328260, 12/11/2002 JP 2002-328261, 20/01/2003 JP 2003-11701, 24/01/2003 JP 2003-15647

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

(72) Inventor(es): MASAHARU UEDA, KOICHIRO MATSUSHITA, KAZUO FUJITA, KATSUYA IWANO, KOUICHI UCHINO, TAKASHI MOROHOSHI, AKIRA KOBAYASHI

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para **"MÉTODO PARA A PRODUÇÃO DE UM TRILHO DE AÇO PERLÍTICO EXCELENTE NA RESISTÊNCIA AO DESGASTE E DUCTILIDADE"**.

Campo Técnico

[001] A presente invenção refere-se a: um método para produzir um trilho de aço perlítico projetado para aperfeiçoar a resistência ao desgaste na porção dianteira de um trilho de aço para uma ferrovia de carga pesada, melhorar a resistência à quebra do trilho aperfeiçoando a ductilidade através do controle do número de grãos de bloco de perlite finos na porção dianteira do trilho, e impedir que a dureza das porções de alma e base do trilho deteriore pela redução da produção de estruturas de cementita pró-eutetóides nessas porções. O método da invenção produz eficientemente este trilho de aço perlítico de alta qualidade mediante a otimização das condições de aquecimento do bloco (laje) para o dito trilho, assim evitando o trincamento e quebra durante a laminação a quente, e suprimindo a descarburagem na camada de superfície externa do bloco (laje).

Técnica Antecedente

[002] No estrangeiro, em ferrovias de carga pesada, foram feitas tentativas para aumentar a velocidade e peso de carregamento de um trem para melhorar a eficiência do transporte ferroviário. Um tal aperfeiçoamento na eficiência do transporte ferroviário significa que o ambiente para uso dos trilhos está se tornando crescentemente rigoroso, e isso exige mais aperfeiçoamentos na qualidade do material dos trilhos. Especificamente, o desgaste nas porções do canto calibrador e laterais dianteiras assentadas em uma linha férrea curvada aumenta drasticamente e o fato tem sido observado como um problema do ponto de vista do tempo de serviço de um trilho. Nesse antecedente, os progressos dos trilhos planejados principalmente para a melhora da resistência ao desgaste foram promovidos como descrito abaixo.

1) Um método para produção de um trilho de alta resistência tendo uma resistência de tração de 130 kgf/mm² (1.274 MPa) ou mais, caracterizado por submeter a porção dianteira do trilho a resfriamento acelerado em uma taxa de resfriamento de 1 a 4°C/s a partir da faixa de temperatura da

[003] austenita para uma temperatura na faixa de 850°C a 500°C depois do final da laminação ou da aplicação de reaquecimento (Publicação da Patente Não-Examinada Japonesa Nº S57-198216).

2) Um trilho excelente na resistência ao desgaste onde um aço hipereutetóide (contendo acima de 0,85 a 1,20% C) é usado e a densidade da cementita nas lamelas nas estruturas de perlita é aumentada (Publicação de Patente Não-Examinada Japonesa Nº H8-144016).

[004] No caso 1) acima, é planejado que alta resistência seja garantida pelo uso de um aço contendo carbono eutetóide (contendo 0,7 a 0,8% de C) e assim formando estruturas de perlita finas. Entretanto, existe um problema já que a resistência ao desgaste é insuficiente e a quebra do trilho é provável de ocorrer quando o trilho é usado para uma ferrovia de carga pesada uma vez que a ductilidade é pequena. No caso 2) acima, é planejado que a resistência ao desgaste seja aperfeiçoada pelo uso de um aço ao carbono hipereutetóide (contendo acima de 0,85 a 1,20% de C), assim formando estruturas de perlita finas, e depois aumentando a densidade da cementita nas lamelas nas estruturas de perlita. Entretanto, a ductilidade é propensa a deteriorar e, portanto, a resistência à quebra de um trilho é pequena já que o seu teor de carbono é maior do que esse de um aço contendo carbono eutetóide atualmente usado. Ademais, existe um outro problema já que faixas de segregação, onde o carbono e os elementos de ligação estão concentrados, são prováveis de formar na porção central de uma fundição no estágio da fundição do aço derretido, formas de cementita

pró-eutetóides em uma grande quantidade ao longo das faixas de segregação especialmente na porção da alma, o que é indicado pelo numeral de referência 5 na figura 1, de um trilho depois da laminação, e a cementita pró-eutetóide serve como a origem dos trincamentos por fadiga ou trincamentos frágeis. Além do mais, quando a temperatura de aquecimento é inadequada em um processo de reaquecimento para a laminação a quente do bloco (placa) a ser laminada, o bloco (laje) fica em um estado derretido parcialmente, trincamentos se desenvolvem e, como consequência, o material do bloco (placa) se rompe durante a laminação a quente ou trincamentos permanecem no trilho depois da laminação a quente de acabamento, e portanto a produção do produto deteriora. Ainda mais, um outro problema é que, em alguns períodos de retenção em um processo de reaquecimento, a descarburização é acelerada na camada da superfície externa do bloco (placa), a dureza diminui, causada pela diminuição do teor de carbono nas estruturas de perlita na camada da superfície externa de um trilho depois da laminação a quente de acabamento e, portanto, a resistência ao desgaste na porção dianteira do trilho se deteriora.

[005] Em vista da situação acima, os progressos dos trilhos têm sido promovidos para resolver os problemas anteriormente mencionados como mostrado abaixo.

3) Um trilho onde um aço eutetóide (contendo 0,60 a 0,85% de C) é usado, o tamanho médio das redes do bloco nas estruturas de perlita é constituído fino através da laminação, e assim a ductilidade e a dureza são melhoradas (Publicação da Patente Não-Examinada Japonesa N° H8-109440).

4) Um trilho excelente na resistência ao desgaste onde um aço hipereutetóide (contendo acima de 0,85 a 1,20% de C) é usado, a densidade da cementita nas lamelas nas estruturas de perlita é aumentada, e, ao mesmo tempo, a dureza é controlada (Publicação de Patente

Não-Examinada Japonesa Nº H8-246100).

5) Um trilho excelente na resistência ao desgaste onde um aço hipereutetóide (contendo acima de 0,85 a 1,20% de C) é usado, a densidade da cementita nas lamelas nas estruturas de perlita é aumentada, e, ao mesmo tempo, a dureza é controlada pela aplicação de um tratamento térmico na(s) porção(ões) dianteira e/ou de alma (Publicação de Patente Não-Examinada Japonesa Nº H9-137228).

6) Um trilho onde um aço hipereutetóide (contendo acima de 0,85 a 1,20% de C) é usado, o tamanho médio das redes do bloco nas estruturas de perlita é constituído fino através da laminação e, assim, a ductilidade e dureza são melhoradas (Publicação de Patente Não-Examinada Japonesa Nº H8-109439).

[006] Nos trilhos propostos nos casos 3) e 4) acima, a resistência ao desgaste, ductilidade e a dureza das estruturas de perlita são melhoradas fazendo fino o tamanho médio das redes do bloco nas estruturas de perlita, e a resistência ao desgaste das estruturas de perlita é adicionalmente melhorada aumentando o teor de carbono no aço, aumentando a densidade de cementita nas lamelas nas estruturas de perlita e também aumentando a dureza. Entretanto, a despeito das tecnologias propostas, a ductilidade e a dureza dos trilhos têm sido insuficientes nas regiões frias onde a temperatura cai abaixo do ponto de congelamento. Ainda mais, mesmo quando tal tamanho médio das redes do bloco nas estruturas de perlita como descrito acima é constituído ainda mais fino em uma tentativa para melhorar a ductilidade e a dureza dos trilhos, tem sido difícil suprimir completamente a quebra do trilho nas regiões frias. Ademais, nos trilhos propostos nos casos 4) e 5) acima, existe um problema já que, em alguns comprimentos de laminação e temperaturas finais de laminação dos trilhos, a uniformidade da qualidade do material dos trilhos na direção longitudinal e a ductilidade das suas porções dianteiras não podem ser garantidas. No au-

ge disso, embora seja possível garantir a dureza das estruturas de perlita nas porções dianteiras e suprimir a formação de estruturas de cementita pró-eutetóide nas porções de alma pela aplicação do resfriamento acelerado nas porções dianteira e de alma dos trilhos, ainda tem sido difícil suprimir a formação de estruturas de cementita pró-eutetóide, que servem como os pontos de partida dos trincamentos por fadiga e trincamentos frágeis, nas porções de base e ponta da base dos trilhos, mesmo quando os métodos de tratamento térmico descritos acima são utilizados. Na porção da ponta da base em particular, já que a área seccional é menor do que essas nas porções dianteira e de alma, a temperatura de uma porção da ponta da base no fim da laminação tende a ser menor do que essas das outras porções e, como resultado, estruturas de cementita pró-eutetóide formam-se antes do tratamento térmico. Além do mais, na porção de alma também, existem ainda outros problemas já que: é provável que as estruturas de cementita pró-eutetóide se formem porque as faixas de segregação dos vários elementos de ligação permanecem; e, adicionalmente, a temperatura da porção de alma é pequena no fim da laminação a quente. Portanto, um problema adicional tem sido que é impossível evitar completamente os trincamentos por fadiga e trincamentos frágeis que se originam nas porções de ponta da base e alma.

[007] Ainda mais, no trilho descrito no caso 6) acima, embora uma tecnologia de fabricação de tamanho médio fino das redes do bloco nas estruturas de perlita em um aço hipereutetóide em uma tentativa para melhorar a ductilidade e a dureza de um trilho seja descrita, tem sido difícil suprimir completamente a ocorrência da quebra do trilho nas regiões frias.

Descrição da Invenção

[008] Na situação anteriormente mencionada, um trilho de aço perlítico excelente em resistência ao desgaste e ductilidade e um mé-

todo de produção do mesmo são pesquisados, para tornar possível, em um trilho da estrutura de perlita tendo um elevado teor de carbono, realizar: uma excelente resistência ao desgaste na porção dianteira do trilho, uma alta resistência à quebra do trilho melhorando a ductilidade, a prevenção da formação das estruturas de cementita pró-eutetóide otimizando as condições de resfriamento e, além desses, a uniformidade nas características do material na direção longitudinal do trilho e a supressão da descarburização na superfície externa do trilho.

[009] A presente invenção proporciona um trilho de aço perlítico excelente na resistência ao desgaste e ductilidade e um método de produção do mesmo, no qual, em um trilho usado para uma ferrovia de carga pesada, a resistência ao desgaste e ductilidade exigidas na porção dianteira do trilho são melhoradas, a resistência à quebra do trilho é aperfeiçoada em particular, e a resistência por fratura das porções de alma, base e ponta da base do trilho é aperfeiçoada evitando a formação das estruturas de cementita pró-eutetóide.

[0010] Ademais, a presente invenção proporciona um trilho de aço perlítico de alta eficiência e alta qualidade, no qual: o trincamento e quebra durante a laminação a quente são evitados pela otimização da máxima temperatura de aquecimento e do tempo de retenção em um processo de reaquecimento na eventualidade da laminação a quente de um bloco (laje) de aço de alto teor de carbono para laminação do trilho; e, além disso, a deterioração da resistência ao desgaste e resistência por fadiga é suprimida pelo controle da descarburização na camada da superfície externa do trilho.

[0011] Ainda adicionalmente, a presente invenção proporciona um método para produzir um trilho de aço perlítico excelente na resistência ao desgaste e ductilidade, no qual, em um trilho tendo um elevado teor de carbono, a ocorrência de trincamentos causados pela fadiga, fragilidade e carência de dureza é prevenida e, ao mesmo tempo, a

resistência ao desgaste da porção dianteira, a uniformidade na qualidade do material na direção longitudinal do trilho e a ductilidade da porção dianteira do trilho são garantidas pela aplicação do resfriamento acelerado nas porções dianteira, de alma e base do trilho imediatamente depois do fim da laminação a quente ou dentro de um certo período de tempo a seguir, adicionalmente otimizando a seleção de uma taxa de resfriamento acelerado na porção dianteira, um comprimento do trilho na laminação e a temperatura no fim da laminação, e, por fazer isto, suprimindo a formação das estruturas de cementita pró-eutetóide.

[0012] O ponto principal da presente invenção, que atinge o objetivo acima, é como segue:

(1) Um trilho de aço perlítico excelente na resistência ao desgaste e ductilidade, caracterizado em que, em um trilho de aço possuindo estruturas de perlita contendo, em massa, 0,65 a 1,40% de C, o número dos blocos de perlita possuindo tamanhos de grão na faixa de 1 a 15 μm é 200 ou mais por 0,2 mm^2 do campo de observação pelo menos em uma parte da região até uma profundidade de 10 mm da superfície dos cantos e topo da porção dianteira.

(2) Um trilho de aço perlítico excelente na resistência ao desgaste e ductilidade, caracterizado em que, em um trilho de aço possuindo estruturas de perlita contendo, em massa, 0,65 a 1,40% de C, 0,05 a 2,00% de Si e 0,05 a 2,00% de Mn, o número dos blocos de perlita possuindo tamanhos de grão na faixa de 1 a 15 μm é 200 ou mais por 0,2 mm^2 do campo de observação pelo menos em uma parte da região até uma profundidade de 10 mm da superfície dos cantos e topo da porção dianteira.

(3) Um trilho de aço perlítico excelente na resistência ao desgaste e ductilidade, caracterizado em que, em um trilho de aço possuindo estruturas de perlita contendo, em massa, 0,65 a 1,40% de C,

0,05 a 2,00% de Si, 0,05 a 2,00% de Mn e 0,05 a 2,00% de Cr, o número dos blocos de perlita possuindo tamanhos de grão na faixa de 1 a 15 μm é 200 ou mais por 0,2 mm^2 do campo de observação pelo menos em uma parte da região até uma profundidade de 10 mm da superfície dos cantos e topo da porção dianteira.

(4) Um trilho de aço perlítico excelente na resistência ao desgaste e ductilidade de acordo com qualquer um dos itens (1) a (3), caracterizado em que o teor de C do trilho de aço é acima de 0,85 a 1,40%.

(5) Um trilho de aço perlítico excelente na resistência ao desgaste e ductilidade de acordo com qualquer um dos itens (1) a (4), caracterizado em que o comprimento do trilho depois da laminação a quente é 100 a 200 m.

(6) Um trilho de aço perlítico excelente na resistência ao desgaste e ductilidade de acordo com qualquer um dos itens (1) a (5), caracterizado em que a dureza na região até uma profundidade de pelo menos 20 mm da superfície dos cantos e topo da porção dianteira fica na faixa de 300 a 500 Hv.

(7) Um trilho de aço perlítico excelente na resistência ao desgaste e ductilidade de acordo com qualquer um dos itens (1) a (6), caracterizado por adicionalmente conter, em massa, 0,01 a 0,50% de Mo.

(8) Um trilho de aço perlítico excelente na resistência ao desgaste e ductilidade de acordo com qualquer um dos itens (1) a (7), caracterizado por adicionalmente conter, em massa, um ou mais de 0,005 a 0,50% de V, 0,002 a 0,050% de Nb, 0,0001 a 0,0050% de B, 0,10 a 2,00% de Co, 0,05 a 1,00% de Cu, 0,05 a 1,00% de Ni e 0,0040 a 0,0200% de N.

(9) Um trilho de aço perlítico excelente na resistência ao desgaste e ductilidade de acordo com qualquer um dos itens (1) a (8), ca-

racterizado por adicionalmente conter, em massa, um ou mais de 0,0050 a 0,0500% de Ti, 0,0005 a 0,0200% de Mg, 0,0005 a 0,0150% de Ca, 0,0080 a 1,00% de Al e 0,0001 a 0,2000% de Zr.

(10) Um trilho de aço perlítico excelente na resistência ao desgaste e ductilidade de acordo com qualquer um dos itens (4) a (9), caracterizado por reduzir a quantidade das estruturas de cementita pró-eutetóide se formando na porção da alma do trilho de modo que o número das redes de cementita pró-eutetóide dividindo ao meio dois segmentos de linha cada um de 300 μm de comprimento se cruzando em ângulos retos (o número das redes de cementita pró-eutetóide que se cruzam, NC) no centro da linha central na porção de alma do trilho pode satisfazer a expressão $NC \leq CE$ em relação ao valor de CE definido pela equação (1) seguinte:

$$[0013] \quad CE = 60 ([\% \text{ em massa C}]) + 10 ([\% \text{ em massa Si}]) + 10 ([\% \text{ em massa Mn}]) + 500 ([\% \text{ em massa P}]) + 50 ([\% \text{ em massa S}]) + 30 ([\% \text{ em massa Cr}]) + 50 \quad (1)$$

[0014] (11) Um método para a produção de um trilho de aço perlítico excelente na resistência ao desgaste e ductilidade, caracterizado por, na laminação a quente de um trilho de aço contendo 0,65 a 1,40 % em massa de C: aplicar laminação de acabamento de modo que a temperatura da superfície do trilho pode ficar na faixa de 850°C a 1000°C e a razão de redução da área seccional na passagem final pode ser 6% ou mais; depois aplicar resfriamento acelerado na porção dianteira do dito trilho em uma taxa de resfriamento na faixa de 1 a 30°C/s a partir da temperatura da austenita para um a temperatura não maior do que 550°C; e controlar o número dos blocos de perlita tendo tamanhos de grão na faixa de 1 a 15 μm de modo a ser 200 ou mais por 0,2 mm^2 do campo de observação pelo menos em uma parte da região até uma profundidade de 10 mm da superfície dos cantos e topo da porção dianteira.

[0015] (12) Um método para a produção de um trilho de aço perlítico excelente na resistência ao desgaste e ductilidade, caracterizado por, na laminação a quente de um trilho de aço contendo, em massa, 0,65 a 1,40% de C, 0,05 a 2,00% de Si e 0,05 a 2,00% de Mn: aplicar laminação de acabamento de modo que a temperatura da superfície do trilho pode ficar na faixa de 850°C a 1000°C e a razão de redução da área seccional na passagem final pode ser 6% ou mais; depois aplicar resfriamento acelerado na porção dianteira do dito trilho em uma taxa de resfriamento na faixa de 1 a 30°C/s a partir da temperatura da austenita para uma temperatura não maior do que 550°C; e controlar o número dos blocos de perlita tendo tamanhos de grão na faixa de 1 a 15 μm de modo a ser 200 ou mais por 0,2 mm² do campo de observação pelo menos em uma parte da região até uma profundidade de 10 mm da superfície dos cantos e topo da porção dianteira.

(13) Um método para a produção de um trilho de aço perlítico excelente na resistência ao desgaste e ductilidade, caracterizado por, na laminação a quente de um trilho de aço contendo, em massa, 0,65 a 1,40% de C, 0,05 a 2,00% de Si, 0,05 a 2,00% de Mn e 0,05 a 2,00% de Cr: aplicar laminação de acabamento de modo que a temperatura da superfície do trilho pode ficar na faixa de 850°C a 1000°C e a razão de redução da área seccional na passagem final pode ser 6% ou mais; depois aplicar resfriamento acelerado na porção dianteira do dito trilho em uma taxa de resfriamento na faixa de 1 a 30°C/s a partir da temperatura da austenita para uma temperatura não maior do que 550°C; e controlar o número dos blocos de perlita tendo tamanhos de grão na faixa de 1 a 15 μm de modo a ser 200 ou mais por 0,2 mm² do campo de observação pelo menos em uma parte da região até uma profundidade de 10 mm da superfície dos cantos e topo da porção dianteira.

(14) Um método para a produção de um trilho de aço perlítico excelente na resistência ao desgaste e ductilidade de acordo com qualquer

um dos itens (11) a (13), caracterizado em que, na laminação de acabamento na laminação a quente do dito trilho de aço, laminação de acabamento contínua é aplicada de modo que duas ou mais passagens de laminação podem ser aplicadas em uma razão de redução da área seccional de 1 a 30% por passagem e o período de tempo entre as passagens pode ser 10s ou menos.

(15) Um método para a produção de um trilho de aço perlítico excelente na resistência ao desgaste e ductilidade de acordo com qualquer um dos itens (11) a (13), caracterizado por aplicar o resfriamento acelerado na porção dianteira do dito trilho em uma taxa de resfriamento na faixa de 1 a 30°C/s a partir da temperatura da austenita para uma temperatura não maior do que 550°C dentro de 200s depois do fim da laminação de acabamento na laminação a quente do dito trilho de aço.

(16) Um método para a produção de um trilho de aço perlítico excelente na resistência ao desgaste e ductilidade de acordo com qualquer um dos itens (11) a (13), caracterizado por aplicar resfriamento acelerado dentro de 200s depois do fim da laminação de acabamento na laminação a quente do dito trilho de aço: na porção dianteira do dito trilho em uma taxa de resfriamento na faixa de 1 a 30°C/s a partir da faixa de temperatura da austenita para uma temperatura não maior do que 550°C; e nas porções de alma e base do dito trilho em uma taxa de resfriamento na faixa de 1 a 10°C/s de uma temperatura na faixa de temperatura da austenita para uma temperatura não maior do que 650°C.

(17) Um método para a produção de um trilho de aço perlítico excelente na resistência ao desgaste e ductilidade de acordo com qualquer um dos itens (11) a (16), caracterizado por, em um processo de reaquecimento para o bloco ou laje contendo a composição de aço anteriormente mencionada, reaquecer o dito bloco ou laje de modo que: a máxima temperatura de aquecimento (T_{max} , °C) do dito bloco ou laje

pode satisfazer a expressão $T_{max} \leq CT$ em relação ao valor de CT definido pela equação (2) seguinte composta do teor de carbono do dito bloco ou laje; e o tempo de retenção (M_{max} , min.) do dito bloco ou laje depois que o dito bloco ou laje é aquecida para uma temperatura de 1.100°C ou acima pode satisfazer a expressão $M_{max} \leq CM$ em relação ao valor de CM definido pela equação (3) seguinte composta do teor de carbono do dito bloco ou laje:

$$CT = 1.500 - 140 ([\% \text{ em massa C}]) - 80 ([\% \text{ em massa C}])^2 \dots (2),$$

$$CM = 600 - 120 ([\% \text{ em massa C}]) - 60 ([\% \text{ em massa C}])^2 (3).$$

(18) Um método para a produção de um trilho de aço perlítico excelente na resistência ao desgaste e ductilidade de acordo com qualquer um dos itens (11) a (16), caracterizado por aplicar resfriamento acelerado, depois da laminação a quente do bloco ou laje contendo a composição de aço anteriormente mencionada na forma de um trilho: dentro de 60 s depois da laminação a quente, nas porções de ponta da base do dito trilho de aço em uma taxa de resfriamento na faixa de 5 a 20°C/s a partir da temperatura da austenita para uma temperatura não maior do que 650°C ; e nas porções dianteira, de alma e base do dito trilho de aço em uma taxa de resfriamento na faixa de 1 a 10°C/s a partir da faixa de temperatura da austenita para uma temperatura não maior do que 650°C .

(19) Um método para a produção de um trilho de aço perlítico excelente na resistência ao desgaste e ductilidade de acordo com qualquer um dos itens (11) a (16), caracterizado por aplicar resfriamento acelerado, depois da laminação a quente do bloco ou laje contendo a composição de aço anteriormente mencionada na forma de um trilho: dentro de 100 s depois da laminação a quente, na porção de alma do dito trilho de aço em uma taxa de resfriamento na faixa de 2 a 20°C/s a partir da faixa de temperatura da austenita para uma temperatura não maior do que 650°C ; e nas porções dianteira e de base do dito trilho

de aço em uma taxa de resfriamento na faixa de 1 a 10°C/s a partir da faixa de temperatura da austenita para uma temperatura não maior do que 650°C.

(20) Um método para a produção de um trilho de aço perlítico excelente na resistência ao desgaste e ductilidade de acordo com qualquer um dos itens (11) a (16), caracterizado por aplicar resfriamento acelerado, depois da laminação a quente do bloco ou laje contendo a composição de aço anteriormente mencionada na forma de um trilho: dentro de 60 s depois da laminação a quente, nas porções de ponta da base do dito trilho de aço em uma taxa de resfriamento na faixa de 5 a 20°C/s a partir da faixa de temperatura da austenita para uma temperatura não maior do que 650°C; dentro de 100 s depois da laminação a quente, na porção de alma do dito trilho de aço em uma taxa de resfriamento na faixa de 2 a 20°C/s a partir da faixa de temperatura da austenita para uma temperatura não maior do que 650°C; e nas porções dianteira e de base do dito trilho de aço em uma taxa de resfriamento na faixa de 1 a 10°C/s a partir da faixa de temperatura da austenita para uma temperatura não maior do que 650°C.

(21) Um método para a produção de um trilho de aço perlítico excelente na resistência ao desgaste e ductilidade de acordo com qualquer um dos itens (11) a (16), caracterizado por, depois da laminação a quente do bloco ou laje contendo a composição de aço anteriormente mencionada na forma de um trilho: dentro de 60 s depois da laminação a quente, elevar a temperatura nas porções de ponta da base do dito trilho de aço para uma temperatura 50°C a 100°C mais alta do que a temperatura antes da elevação de temperatura; e também aplicar resfriamento acelerado nas porções dianteira, de alma e base do dito trilho de aço em uma taxa de resfriamento na faixa de 1 a 10°C/s a partir da faixa de temperatura da austenita para uma temperatura não maior do que 650°C.

(22) Um método para a produção de um trilho de aço perlítico excelente na resistência ao desgaste e ductilidade de acordo com qualquer um dos itens (11) a (16), caracterizado por, depois da laminação a quente do bloco ou laje contendo a composição de aço anteriormente mencionada na forma de um trilho: dentro de 100 s depois da laminação a quente, elevar a temperatura na porção de alma do dito trilho de aço para uma temperatura 20°C a 100°C mais alta do que a temperatura antes da elevação de temperatura; e também aplicar resfriamento acelerado nas porções dianteira, de alma e base do dito trilho de aço em uma taxa de resfriamento na faixa de 1 a 10°C/s a partir da faixa de temperatura da austenita para uma temperatura não maior do que 650°C.

(23) Um método para a produção de um trilho de aço perlítico excelente na resistência ao desgaste e ductilidade de acordo com qualquer um dos itens (11) a (16), caracterizado por, depois da laminação a quente do bloco ou laje contendo a composição de aço anteriormente mencionada na forma de um trilho: dentro de 60 s depois da laminação a quente, elevar a temperatura nas porções de ponta da base do dito trilho de aço para uma temperatura 20°C a 100°C mais alta do que a temperatura antes da elevação de temperatura; dentro de 100 s depois da laminação a quente, elevar a temperatura na porção de alma do dito trilho de aço para uma temperatura 20°C a 100°C mais alta do que a temperatura antes da elevação de temperatura; e também aplicar resfriamento acelerado nas porções dianteira, de alma e base do dito trilho de aço em uma taxa de resfriamento na faixa de 1 a 10°C/s a partir da faixa de temperatura da austenita para uma temperatura não maior do que 650°C.

(24) Um método para a produção de um trilho de aço perlítico excelente na resistência ao desgaste e ductilidade de acordo com qualquer um dos itens (11) a (16), caracterizado por, na eventualidade de esfriar

de modo acelerado a porção dianteira do dito trilho de aço a partir da faixa de temperatura da austenita, aplicar o resfriamento acelerado de modo que a taxa de resfriamento (ICR, °C/s) na faixa de temperatura de 750°C a 650°C na porção interna dianteira 30 mm em profundidade da superfície superior dianteira do dito trilho de aço possa satisfazer a expressão $ICR \geq \beta CCR$ em relação ao valor de CCR definido pela equação (4) seguinte composta das composições químicas do dito trilho de aço:

$$CCR = 0,6 + 10 \times ([\%C] - 0,9) - 5 \times ([\%C] - 0,9) \times [\%Si] - 0,17 [\%Mn] - 0,13[\%Cr] \dots (4).$$

(25) Um método para a produção de um trilho de aço perlítico excelente na resistência ao desgaste e ductilidade de acordo com qualquer um dos itens (11) a (16), caracterizado por, na eventualidade de esfriar de modo acelerado a porção dianteira do dito trilho de aço a partir da faixa de temperatura da austenita, aplicar o resfriamento acelerado de modo que o valor de TCR definido pela equação (5) seguinte composta das taxas de resfriamento respectivas na faixa de temperatura de 750°C a 500°C nas superfícies da porção superior di anteira (TH, °C/s), nas porções laterais dianteiras (TS, °C/s) e nas por ções de queixo inferiores (TJ, °C/s) do dito trilho de aço possa satisfazer a expressão $4CCR \geq TCR \geq 2CCR$ em relação ao valor de CCR definido pela equação seguinte (4) composta das composições químicas do dito trilho de aço:

$$CCR = 0,6 + 10 \times ([\%C] - 0,9) - 5 \times ([\%C] - 0,9) \times [\%Si] - 0,17 [\%Mn] - 0,13 [\%Cr] \dots (4),$$

$$TCR = 0,05TH (\text{°C/s}) + 0,10TS (\text{°C/s}) + 0,50TJ (\text{°C/s}) \dots (5).$$

(26) Um método para a produção de um trilho de aço perlítico excelente na resistência ao desgaste e ductilidade de acordo com qualquer um dos itens (11) a (25), caracterizado em que o teor de C do trilho de aço é 0,85 a 1,40%.

(27) Um método para a produção de um trilho de aço perlítico excelente na resistência ao desgaste e ductilidade de acordo com qualquer um dos itens (11) a (26), caracterizado em que o comprimento do trilho depois da laminação a quente é 100 a 200 m.

(28) Um método para a produção de um trilho de aço perlítico excelente na resistência ao desgaste e ductilidade de acordo com qualquer um dos itens (11) a (27), caracterizado em que a dureza na região até uma profundidade de pelo menos 20 mm da superfície dos cantos e topo da porção dianteira de um trilho de aço perlítico de acordo com qualquer um dos itens (1) a (10) está na faixa de 300 a 500 Hv.

(29) Um método para a produção de um trilho de aço perlítico excelente na resistência ao desgaste e ductilidade de acordo com qualquer um dos itens (11) a (28), caracterizado em que o trilho de aço adicionalmente contém, em massa, 0,01 a 0,50% de Mo.

(30) Um método para a produção de um trilho de aço perlítico excelente na resistência ao desgaste e ductilidade de acordo com qualquer um dos itens (11) a (29), caracterizado em que o trilho de aço adicionalmente contém, em massa, um ou mais de 0,005 a 0,50% de V, 0,002 a 0,050% de Nb, 0,0001 a 0,0050% de B, 0,10 a 2,00% de Co, 0,05 a 1,00% de Cu, 0,05 a 1,00% de Ni e 0,0040 a 0,0200% de N.

(31) Um método para a produção de um trilho de aço perlítico excelente na resistência ao desgaste e ductilidade de acordo com qualquer um dos itens (11) a (30), caracterizado em que o trilho de aço adicionalmente contém, em massa, um ou mais de 0,0050 a 0,0500% de Ti, 0,0005 a 0,0200% de Mg, 0,0005 a 0,0150% de Ca, 0,0080 a 1,00% de Al e 0,0001 a 0,2000% de Zr.

(32) Um método para a produção de um trilho de aço perlítico excelente na resistência ao desgaste e ductilidade de acordo com qualquer um dos itens (11) a (31), caracterizado por reduzir a quantidade das estruturas de cementita pró-eutetóide que se formam na porção de al-

ma do trilho de modo que o número das redes de cementita pró-eutetóide dividindo ao meio dois segmentos de linha cada um de 300 μ m de comprimento cruzando-se em ângulos retos (o número das redes de cementita pró-eutetóide que se cruzam, NC) no centro da linha central na porção de alma do trilho pode satisfazer a expressão $NC \leq CE$ em relação ao valor de CE definido pela equação (1) seguinte:

$$[0016] \quad CE = 60 ([\% \text{ em massa C}]) + 10 ([\% \text{ em massa Si}]) + 10 ([\% \text{ em massa Mn}]) + 500 ([\% \text{ em massa P}]) + 50 ([\% \text{ em massa S}]) + 30 ([\% \text{ em massa Cr}]) + 50 \dots (1).$$

Breve Descrição dos Desenhos

[0017] A figura 1 é uma ilustração mostrando as denominações de porções diferentes de um trilho.

[0018] A figura 2 é uma representação esquemática do método de avaliação da formação da rede de cementita pró-eutetóide.

[0019] A figura 3 é uma ilustração mostrando, em um corte, as denominações das posições diferentes na superfície da porção dianteira de um trilho de aço perlítico excelente na resistência ao desgaste e ductilidade de acordo com a presente invenção e a região onde a resistência ao desgaste é necessária.

[0020] A figura 4 é uma ilustração mostrando um esboço de um aparelho de teste de desgaste Nishihara.

[0021] A figura 5 é uma ilustração mostrando a posição da qual uma peça de teste para o teste de desgaste citado nas Tabelas 1 e 2 é recortada.

[0022] A figura 6 é uma ilustração mostrando a posição da qual uma peça de teste para o ensaio de tração citado nas Tabelas 1 e 2 é recortada.

[0023] A figura 7 é um gráfico mostrando a relação entre os teors de carbono e as quantidades da perda por desgaste nos resultados do teste de desgaste dos trilhos de aço de acordo a presente invenção

mostrados na Tabela 1 (numerais de referência 1 a 12) e os trilhos de aço comparativos mostrados na Tabela 2 (numerais de referência 13 a 22).

[0024] A figura 8 é um gráfico mostrando a relação entre os teors de carbono e os valores de alongamento total nos resultados do ensaio de tração dos trilhos de aço de acordo com a presente invenção mostrados na Tabela 1 (numerais de referência 1 a 12) e os trilhos de aço comparativos mostrados na Tabela 2 (numerais de referência 17 a 22).

[0025] A figura 9 é uma ilustração mostrando um esboço de um aparelho de teste de desgaste na laminação para um trilho e uma roda.

[0026] A figura 10 é uma ilustração mostrando porções diferentes em uma porção dianteira do trilho em detalhes.

Melhor Modo para Execução da Invenção

[0027] A presente invenção é, a seguir, explicada em detalhes.

[0028] Os presentes inventores estudaram, em primeiro lugar, a relação entre a ocorrência da quebra do trilho e as propriedades mecânicas das estruturas de perlita. Como resultado, foi confirmado que a ocorrência da quebra do trilho que se origina da porção dianteira do trilho está bem correlacionada com a ductilidade avaliada em um ensaio de tração ao invés da dureza avaliada em um teste de impacto, no qual a velocidade de carregamento é comparativamente alta, porque a velocidade de carregamento imposta na porção dianteira do trilho pelo contato com a roda é comparativamente pequena.

[0029] Depois, os presentes inventores reexaminaram a relação entre a ductilidade e o tamanho do bloco das estruturas de perlita em um trilho de aço das estruturas de perlita tendo um alto teor de carbono. Como resultado, foi confirmado que, embora a ductilidade das estruturas de perlita tenda a melhorar à medida que o tamanho médio

das redes do bloco nas estruturas de perlita diminui, a ductilidade não melhora suficientemente com a mera diminuição no tamanho médio das redes do bloco em uma região onde o tamanho médio das redes do bloco é muito fino.

[0030] Em vista disso, os presentes inventores estudaram o fator dominante da ductilidade das estruturas de perlita em uma região onde o tamanho médio das redes do bloco nas estruturas de perlita era muito fino. Como resultado, foi verificado que a ductilidade das estruturas de perlita não se correlaciona com o tamanho médio do grão do bloco, porém com o número das redes de bloco de perlita finos possuindo certos tamanhos de grão e que a ductilidade das estruturas de perlita significativamente melhora pelo controle do número das redes de bloco de perlita finos possuindo certos tamanhos de grão até um certo valor ou mais em uma dada área de um campo visual.

[0031] Com base nas descobertas acima, os presentes inventores verificaram que, em um trilho de aço de estruturas de perlita possuindo um elevado teor de carbono, ambas a resistência ao desgaste e a ductilidade na porção dianteira do trilho são aperfeiçoadas simultaneamente pelo controle do número das redes do bloco de perlita finos tendo certos tamanhos de grão na porção dianteira do trilho.

[0032] Isto é, um objetivo da presente invenção é, em um trilho contendo elevado teor de carbono para ferrovias de carga pesada, melhorar a resistência ao desgaste na sua porção dianteira, e, ao mesmo tempo, prevenir a ocorrência de fratura tal como quebra do trilho pelo aperfeiçoamento da ductilidade através do controle do número das redes do bloco de perlita finos tendo certos tamanhos de grão.

[0033] A seguir, as razões para regular as condições na presente invenção são, daqui em diante, explicadas em detalhes.

(1) Regulações para o tamanho e o número das redes do bloco de perlita

[0034] Em primeiro lugar, as razões são explicadas para regular o tamanho das redes do bloco de perlita, o tamanho sendo usado para regular o número das redes do bloco de perlita, na faixa de 1 a 15 μm .

[0035] Um bloco de perlita tendo um tamanho de grão maior do que 15 μm não contribui significativamente para aperfeiçoar a ductilidade das estruturas de perlita finas. Por outro lado, embora um bloco de perlita tendo um tamanho de grão menor do que 1 μm contribua para aperfeiçoar a ductilidade das estruturas de perlita finas, a sua contribuição é insignificante. Por essas razões, o tamanho das redes do bloco de perlita, o tamanho sendo usado para regular o número das redes do bloco de perlita, é regulado na faixa de 1 a 15 μm .

[0036] Em segundo lugar, são explicadas as razões para regular o número das redes do bloco de perlita possuindo tamanhos de grão na faixa de 1 a 15 μm para 200 ou mais por 0,2 mm^2 do campo de observação.

[0037] Quando o número das redes do bloco de perlita tendo tamanhos de grão na faixa de 1 a 15 μm é menor do que 200 por 0,2 mm^2 do campo de observação, torna-se impossível aperfeiçoar a ductilidade das estruturas de perlita finas. Nenhum limite superior é particularmente apresentado com relação ao número das redes do bloco de perlita tendo tamanhos de grão na faixa de 1 a 15 μm , porém, a partir das restrições na temperatura de laminação durante a laminação e as condições de resfriamento durante o tratamento térmico na produção do trilho, 1.000 grãos por 0,2 mm^2 do campo de observação é o limite superior, substancialmente.

[0038] Em terceiro lugar, são explicadas as razões para especificar que a região, na qual o número das redes do bloco de perlita tendo tamanhos de grão na faixa de 1 a 15 μm é determinado ser 200 ou mais por 0,2 mm^2 do campo de observação, é pelo menos uma parte da região até uma profundidade de 10 mm da superfície dos cantos e

topo da porção dianteira.

[0039] A quebra do trilho que se origina da porção dianteira do trilho começa, basicamente, da superfície da porção dianteira. Por essa razão, de modo a prevenir a quebra do trilho, é necessário melhorar a ductilidade da camada de superfície da porção dianteira do trilho, isto é, aumentar o número das redes do bloco de perlita tendo tamanhos de grão na faixa de 1 a 15 μm . Como resultado do exame experimental da correlação entre a ductilidade da camada de superfície da porção dianteira do trilho e dos blocos de perlita na sua camada de superfície, foi esclarecido que a ductilidade da camada de superfície da porção dianteira do trilho está correlacionada com o tamanho do bloco de perlita na região até uma profundidade de 10 mm da superfície da porção superior dianteira. Além disso, como resultado do exame adicional da correlação entre a ductilidade da camada de superfície de uma porção dianteira do trilho e os blocos de perlita na sua camada de superfície, foi confirmado que a ductilidade da camada de superfície da porção dianteira do trilho é aperfeiçoada e, conseqüentemente, a quebra do trilho é impedido contanto que a região onde o número das redes do bloco de perlita tendo tamanhos de grão na faixa de 1 a 15 μm seja 200 ou mais exista pelo menos em uma parte da região anteriormente mencionada. Os regulamentos acima são determinados com base nos resultados dos exames anteriormente mencionados.

[0040] Aqui, o método para medir o tamanho das redes do bloco de perlita é descrito. Métodos para medir os grãos do bloco de perlita incluem (i) o método de cauterização de frisar modificado, (ii) o método de fenda por cauterização e (iii) o método do padrão de difração de retrodifusão eletrônica (EBSP) onde SEM é usado. Nos exames acima, desde que o tamanho das redes do bloco de perlita era fino, foi difícil confirmar o tamanho pelo método de cauterização de frisar modificado (i) ou o método de fenda por cauterização (ii), e portanto, o mé-

todo EBSD (iii) foi utilizado.

[0041] As condições da medição são descritas a seguir. A medição do tamanho das redes do bloco de perlita seguiram as condições e procedimentos descritos nos itens (ii) a (vii) abaixo, e o número das redes do bloco de perlita possuindo tamanhos de grão na faixa de 1 a 15 μm por 0,2 mm^2 do campo de observação foi contado. A medição foi feita pelo menos em dois campos de observação em cada uma das posições de observação, o número das redes em cada um dos campos de observação foi contado de acordo com os procedimentos seguintes, e a média dos números das redes em dois ou mais campos de observação foi usada como o valor representando uma posição de observação.

Condições de medição do bloco de perlita

[0042] SEM: um microscópio eletrônico de varredura de alta resolução

[0043] Pré-tratamento para a medição: polimento de uma superfície usinada com esmeril de diamante de 1 μm e depois polimento eletrolítico.

[0044] Campo de observação: 400 μm x 500 μm (área de observação, 0,2 mm^2).

[0045] Diâmetro do feixe do SEM: 30 nm.

[0046] Etapa de medição (intervalo): 0,1 a 0,9 μm .

[0047] Identificação do limite do grão: quando a diferença nas orientações do cristal em dois pontos de medição adjacentes é 15° ou mais, então o limite do grão entre os pontos de medição é identificado como um limite do grão do bloco de perlita (limite do grão do ângulo grande).

[0048] Medição do tamanho do grão: depois de medir a área de cada um das redes do bloco de perlita, o raio de cada grão de cristal é calculado assumindo que o grão do bloco de perlita é redondo, então o

diâmetro é calculado a partir dele, e o valor assim obtido é usado como o tamanho do grão do bloco de perlita.

(2) Composição química de um trilho de aço

[0049] Serão explicadas as razões em detalhes para regular a composição química de um trilho de aço nas faixas especificadas nas reivindicações.

[0050] C é um elemento eficaz para acelerar a transformação perlítica e garantir a resistência ao desgaste. Se a quantidade de C é 0,65% ou menos, então dureza suficiente das estruturas de perlita na porção dianteira do trilho não pode ser garantida, além disso estruturas de ferrita pró-eutetóide se formam, portanto a resistência ao desgaste deteriora, e, como resultado, durabilidade útil do trilho é diminuído. Se a quantidade de C excede 1,40%, por outro lado, então as estruturas de cementita pró-eutetóide formam-se nas estruturas de perlita na camada de superfície e no interior da dianteira do trilho e/ou a densidade das fases da cementita nas estruturas de perlita aumenta, e, assim a ductilidade das estruturas de perlita deteriora. Além disso, o número das redes de cementita pró-eutetóide que se cruzam (NC) na porção de alma de um trilho aumenta e a dureza da porção da alma deteriora. Por essas razões, a quantidade de C é limitada na faixa de 0,65 a 1,40%. Observe que, para melhorar a resistência ao desgaste ainda mais, é desejável ajustar a quantidade de C para acima de 0,85% pelo que a densidade das fases da cementita nas estruturas de perlita pode aumentar ainda mais e assim a resistência ao desgaste pode adicionalmente ser melhorada.

[0051] Si é um componente indispensável como um agente desoxidante. Também, Si é um elemento que aumenta a dureza (resistência) da porção dianteira do trilho pelo efeito de endurecimento da solução sólida de Si em uma fase da ferrita nas estruturas de perlita e, ao mesmo tempo, aperfeiçoa a dureza e dureza do trilho inibindo a for-

mação das estruturas de cementita pró-eutetóide. Entretanto, se o teor de Si é menor do que 0,05%, então esses efeitos não são esperados suficientemente, e nenhum aperfeiçoamento tangível na dureza e dureza é obtido. Se o teor de Si excede 2,00%, por outro lado, então defeitos de superfície ocorrem em uma grande quantidade durante a laminação a quente e/ou a capacidade de soldagem deteriora causada pela formação dos óxidos. Além do mais, nesse caso, as próprias estruturas de perlita tornam-se frágeis, assim não somente a ductilidade de um trilho deteriora porém também danos na superfície tal como rachadura ocorrem e, portanto, durabilidade útil do trilho diminui. Por essas razões, a quantidade de Si é limitada na faixa de 0,05 a 2,00%.

[0052] Mn é um elemento que melhora a capacidade de endurecimento, garante a dureza das estruturas de perlita pela diminuição do espaçamento da lamela de perlita, e assim melhora a resistência ao desgaste. Entretanto, se o teor de Mn é menor do que 0,05%, então os efeitos são insignificantes e torna-se difícil garantir a resistência ao desgaste exigida de um trilho. Se o teor de Mn é maior do que 2,00%, por outro lado, então a capacidade de endurecimento é aumentada notavelmente, portanto estruturas de martensita prejudiciais para a resistência ao desgaste e dureza tendem a se formar, e a segregação é acelerada. Ainda mais, em um aço com elevado teor de carbono ($C > 0,85\%$) em particular, estruturas de cementita pró-eutetóide formam-se nas porções de alma e outros, o número das redes de cementita pró-eutetóide que se cruzam (NC) aumenta na porção da alma, e assim a dureza de um trilho deteriora. Por essas razões, a quantidade de Mn é limitada na faixa de 0,05 a 2,00%.

[0053] Observe que, para inibir a formação das estruturas de cementita pró-eutetóide na porção de alma de um trilho, é necessário regular as quantidades de adição de P e S. Para essa finalidade, é desejável controlar suas quantidades de adição dentro de faixas respec-

tivas especificadas abaixo pelas razões seguintes.

[0054] P é um elemento que fortalece a ferrita e melhora a dureza das estruturas de perlita. Entretanto, desde que P é um elemento que facilmente causa a segregação, se o teor de P excede 0,030%, ele também acelera a segregação de outros elementos e, como resultado, a formação das estruturas de cementita pró-eutetóide em uma porção da alma é significativamente acelerada. Conseqüentemente, o número das redes de cementita pró-eutetóide que se cruzam (NC) na porção de alma de um trilho aumenta e a dureza da porção da alma deteriora. Por essas razões, a quantidade de P é limitada para 0,030% ou menos.

[0055] S é um elemento que contribui para a aceleração da transformação perlítica pela geração de MnS e formação da zona de esgotamento de Mn ao redor do MnS e é efetivo para melhorar a dureza das estruturas de perlita fazendo fino o tamanho dos blocos de perlita como resultado da contribuição acima. Entretanto, se o teor de S excede 0,025%, a segregação de Mn é acelerada e, como resultado, a formação das estruturas de cementita pró-eutetóide em uma porção de alma é violentamente acelerada. Conseqüentemente, o número das redes de cementita pró-eutetóide que se cruzam (NC) na porção de alma de um trilho aumenta e a dureza da porção da alma deteriora. Por essas razões, a quantidade de S é limitada a 0,025% ou menos.

[0056] Ademais, os elementos de Cr, Mo, V, Nb, B, Co, Cu, Ni, Ti, Mg, Ca, Al e Zr podem ser adicionados, quando necessário, em um trilho de aço tendo a composição química especificada acima com a finalidade de: melhorar a resistência ao desgaste fortalecendo as estruturas de perlita; prevenir a deterioração da dureza inibindo a formação das estruturas de cementita pró-eutetóide; prevenir o amolecimento e o enfraquecimento de uma zona afetada pelo calor da solda; aperfeiçoar a ductilidade e dureza das estruturas de perlita; fortalecer as

estruturas de perlita; prevenir a formação das estruturas de cementita pró-eutetóide e controlar a distribuição da dureza nas seções transversais da porção dianteira e do interior de um trilho.

[0057] Entre esses elementos, Cr e Mo garantem a dureza das estruturas de perlita elevando a temperatura de transformação de equilíbrio da perlita e, em particular, pela diminuição do espaçamento da lamela de perlita entre lamelas de perlita adjacentes. V e Nb inibem o desenvolvimento das redes de austenita pela formação de carburetos e nitretos durante a laminação a quente e resfriamento subsequente e, além disso, aperfeiçoam a ductilidade e dureza das estruturas de perlita pelo endurecimento da precipitação. Ademais, eles formam de modo estável carburetos e nitretos durante o reaquecimento e assim impedem que as zonas afetadas pelo calor das juntas da solda amoleçam. B reduz a dependência da temperatura de transformação perlítica em uma taxa de resfriamento e uniformiza a distribuição da dureza em uma porção dianteira do trilho. Co e Cu dissolvem na ferrita nas estruturas de perlita e assim aumentam a dureza das estruturas de perlita. Ni previne o enfraquecimento causado pela adição de Cu durante a laminação a quente, aumenta a dureza de um aço perlítico ao mesmo tempo, e, além disso, impede o amolecimento das zonas afetadas pelo calor das juntas de solda.

[0058] Ti torna fina a estrutura de uma zona afetada pelo calor e evita o enfraquecimento de uma junta de solda. Mg e Ca fazem finos os grãos de austenita durante a laminação de um trilho, aceleram a transformação perlítica ao mesmo tempo e aperfeiçoam a ductilidade das estruturas de perlita. Al fortalece as estruturas de perlita e suprime a formação da estrutura cementita pró-eutetóide pela mudança da temperatura de transformação eutetóide para uma temperatura mais alta e, ao mesmo tempo, a concentração do carbono eutetóide para um carbono superior, e assim melhora a resistência ao desgaste de

um trilho e impede a deterioração da sua dureza. Zr forma inclusões de ZrO_2 , que servem como núcleos de solidificação em um trilho de aço com elevado teor de carbono, e assim aumenta a razão do grão de cristal de eixos iguais em uma estrutura de solidificação. Como resultado, ele suprime a formação das faixas de segregação na porção central do bloco (placa) e a formação das estruturas de cementita pró-eutetóide prejudiciais para a dureza do trilho. O objetivo principal da adição do N é melhorar a dureza acelerando a transformação perlítica que se origina dos limites do grau de austenita e tornar finas as estruturas de perlita.

[0059] As razões para regular cada um das composições químicas anteriormente mencionados são abaixo explicadas em detalhes.

[0060] Cr é um elemento que contribui para o endurecimento (fortalecimento) das estruturas de perlita elevando a temperatura de transformação de equilíbrio da perlita e conseqüentemente tornando finas as estruturas de perlita e, ao mesmo tempo, melhora a dureza (resistência) das estruturas de perlita fortalecendo as fases da cementita. Se o teor de Cr é menor do que 0,05%, entretanto, os efeitos são insignificantes e o efeito da melhora da dureza de um trilho de aço não se mostra. Se Cr é excessivamente adicionado além de 2,00%, por outro lado, então a capacidade de endurecimento aumenta, estruturas de martensita formam-se em uma grande quantidade e a dureza do trilho deteriora. Além disso, a segregação é acelerada, a quantidade das estruturas de cementita pró-eutetóide que se formam em uma porção da alma aumenta, conseqüentemente o número das redes de cementita pró-eutetóide que se cruzam (NC) aumenta, e portanto a dureza da porção da alma do trilho deteriora. Por essas razões, a quantidade de Cr é limitada na faixa de 0,05 a 2,00%.

[0061] Mo, como Cr, é um elemento que contribui para o endurecimento (fortalecimento) das estruturas de perlita elevando a tempera-

tura de transformação de equilíbrio da perlita e conseqüentemente estreitando o espaço entre lamelas de perlita adjacentes e melhora a dureza (resistência) das estruturas de perlita como resultado. Se o teor de Mo é menor do que 0,01%, entretanto, os efeitos são insignificantes e o efeito de melhorar a dureza de um trilho de aço não se mostra de forma alguma. Se Mo é excessivamente adicionado além de 0,50%, por outro lado, então a taxa de transformação das estruturas de perlita é diminuída significativamente, e as estruturas de martensita prejudiciais para a dureza são prováveis de se formar. Por essas razões, a quantidade da adição de Mo é limitada na faixa de 0,01 a 0,50%.

[0062] V é um elemento efetivo para: tornar finos os grãos de austenita pelo efeito de pinagem dos carburetos de V e nitretos de V quando o tratamento térmico para aquecer o material de aço para uma alta temperatura é aplicado; adicionalmente melhorar a dureza (resistência) das estruturas de perlita pelo endurecimento de precipitação dos carburetos de V e nitretos de V que se formam durante o resfriamento depois da laminação a quente; e, ao mesmo tempo, melhorar a ductilidade. V é também um elemento efetivo para prevenir que a zona afetada pelo calor de uma junta de solda amoleça pela formação de carburetos de V e nitretos de V em uma faixa de temperatura comparativamente alta em uma zona afetada pelo calor reaquescida para uma temperatura na faixa não mais alta do que a temperatura de transformação Ac_1 . Se o teor de V é menor do que 0,005%, entretanto, os efeitos não são esperados suficientemente e a melhora da dureza das estruturas de perlita e o aperfeiçoamento da sua ductilidade não são realizados. Se V é adicionado além de 0,500%, por outro lado, então carburetos de V e nitretos de V grossos se formam, e a dureza e a resistência ao dano por fadiga interna do trilho deteriora. Por essas razões, a quantidade de V é limitada na faixa de 0,005 a 0,500%.

[0063] Nb, como V, é um elemento efetivo para: fazer finos os

grãos de austenita pelo efeito de pinagem dos carburetos de Nb e nitretos de Nb quando o tratamento térmico para aquecer o material de aço para uma alta temperatura é aplicado; adicionalmente melhorar a dureza (resistência) das estruturas de perlita pelo endurecimento de precipitação dos carburetos de Nb e nitretos de Nb que se formam durante o resfriamento depois da laminação a quente; e, ao mesmo tempo, aperfeiçoar a ductilidade. Nb é também um elemento efetivo para prevenir que a zona afetada pelo calor de uma junta soldada amoleça pela formação de carburetos de Nb e nitretos de Nb de modo estável na faixa de temperatura de uma baixa temperatura para uma alta temperatura em uma zona afetada pelo calor reaquecida para uma temperatura na faixa menor do que a temperatura de transformação Ac_1 . Se o teor de Nb é menor do que 0,002%, entretanto, os efeitos não são esperados e a melhora da dureza das estruturas de perlita e o aperfeiçoamento da sua ductilidade não são realizados. Se Nb é adicionado além de 0,050%, por outro lado, então carburetos de Nb e nitretos de Nb grossos se formam, e a dureza e a resistência aos danos por fadiga interna do trilho deterioram. Por essas razões, a quantidade de Nb é limitada na faixa de 0,002 a 0,050%.

[0064] B é um elemento que suprime a formação de cementita pró-eutetóide pela formação de carboboretos de ferro, uniformiza a distribuição da dureza na porção dianteira ao mesmo tempo diminuindo a dependência da temperatura de transformação perlítica em uma taxa de resfriamento, previne a deterioração da dureza do trilho e estende durabilidade do trilho como resultado. Se o teor de B é menor do que 0,0001%, entretanto, os efeitos são insuficientes e nenhum aperfeiçoamento na distribuição da dureza na porção dianteira do trilho é realizado. Se B é adicionado além de 0,0050%, por outro lado, então carboboretos grossos de ferro se formam, e a ductilidade, dureza e resistência ao dano por fadiga interna são significativamente deterioradas.

Por essas razões, a quantidade de B é limitada na faixa de 0,0001 a 0,0050%.

[0065] Co é um elemento que dissolve na ferrita nas estruturas de perlita e melhora a dureza (resistência) das estruturas de perlita pelo fortalecimento da solução sólida. Co é também um elemento que aperfeiçoa a ductilidade aumentando a energia de transformação da perlita e tornando finas as estruturas de perlita. Se o teor de Co é menor do que 0,10%, entretanto, os efeitos não são esperados. Se Co é adicionado além de 2,00%, por outro lado, então a ductilidade das fases da ferrita deteriora significativamente, dano de rachadura ocorre na superfície de laminação da roda e a resistência ao dano de superfície do trilho deteriora. Por essas razões, a quantidade de Co é limitada na faixa de 0,10 a 2,00%.

[0066] Cu é um elemento que dissolve na ferrita nas estruturas de perlita e melhora a dureza (resistência) das estruturas de perlita pelo fortalecimento da solução sólida. Se o teor de Cu é menor do que 0,05%, entretanto, os efeitos não são esperados. Se Cu é adicionado além de 1,00%, por outro lado, então a capacidade de endurecimento é melhorada notavelmente e, como resultado, as estruturas de martensita prejudiciais para a dureza são prováveis de se formarem. Além disso, nesse caso, a ductilidade das fases da ferrita é significativamente diminuída e portanto a ductilidade do trilho deteriora. Por essas razões, a quantidade de Cu é limitada na faixa de 0,05 a 1,00%.

[0067] Ni é um elemento que previne o enfraquecimento causado pela adição de Cu durante a laminação a quente e, ao mesmo tempo, endurece (fortalece) o aço perlítico através do fortalecimento da solução sólida dissolvendo na ferrita. Além disso, Ni é um elemento que, em uma zona afetada pelo calor da solda, precipita como os grãos finos dos compostos intermetálicos de Ni_3Ti em combinação com Ti e inibe o amolecimento da zona afetada pelo calor da solda pelo fortale-

cimento da precipitação. Se o teor de Ni é menor do que 0,01%, entretanto, os efeitos são muito pequenos. Se Ni é adicionado além de 1,00%, por outro lado, a ductilidade das fases de ferrita é diminuída significativamente, dano por rachadura ocorre na superfície de laminação da roda e a resistência ao dano de superfície do trilho deteriora. Por essas razões, a quantidade de Ni é limitada na faixa de 0,01 a 1,00%.

[0068] Ti é um elemento efetivo para prevenir o enfraquecimento da zona afetada pelo calor de uma junta de solda tirando vantagem do fato que carburetos e nitretos de Ti tendo precipitado durante o reaquecimento da junta da solda não dissolvem novamente e assim tornando fina a estrutura da zona afetada pelo calor aquecida para uma temperatura na faixa de temperatura da austenita. Se o teor de Ti é menor do que 0,0050%, entretanto, os efeitos são insignificantes. Se Ti é adicionado além de 0,0500%, por outro lado, então carburetos e nitretos grossos de Ti se formam e a ductilidade, dureza e resistência ao dano por fadiga interna de um trilho deterioram significativamente. Por essas razões, a quantidade de Ti é limitada na faixa de 0,0050 a 0,0500%.

[0069] Mg é um elemento efetivo para aperfeiçoar a ductilidade das estruturas de perlita pela formação de óxidos finos em combinação com O, S, Al e assim por diante, suprimindo o desenvolvimento das redes de cristal durante o reaquecimento para a laminação de um trilho, e assim fazendo finos os grãos de austenita. Além disso, MgO e MgS dispersam em grãos finos, assim forma uma zona de esgotamento de Mn ao redor do MnS, e contribuem para o progresso da transformação perlítica. Portanto, Mg é um elemento efetivo para aperfeiçoar a ductilidade das estruturas de perlita tornando fino o tamanho do bloco da perlita. Se o teor de Mg é menor do que 0,0005%, entretanto, os efeitos são insignificantes. Se Mg é adicionado além de 0,0200%,

por outro lado, então óxidos grossos de Mg se formam e a dureza e resistência ao dano por fadiga interna do trilho deterioram. Por essas razões, a quantidade de Mg é limitada na faixa de 0,0005 a 0,0200%.

[0070] Ca tem uma força de ligação forte com S e forma sulfetos na forma de CaS. Ademais, CaS faz o MnS dispersar nos grãos finos e assim forma uma zona de esgotamento de Mn ao redor do MnS. Portanto, Ca contribui para o progresso da transformação perlítica e, como resultado, é um elemento efetivo para aperfeiçoar a ductilidade das estruturas de perlita tornando fino o tamanho do bloco de perlita. Se o teor de Ca é menor do que 0,0005% entretanto, os efeitos são insignificantes. Se Ca é adicionado além de 0,0150%, por outro lado, óxidos grossos de Ca se formam e a dureza e resistência ao dano pela fadiga interna do trilho deterioram. Por essas razões, a quantidade de Ca é limitada na faixa de 0,0005 a 0,0150%.

[0071] Al é um elemento que muda a temperatura da transformação eutetóide para uma temperatura mais alta e, ao mesmo tempo, a concentração do carbono eutetóide para um carbono superior. Dessa forma, Al é um elemento que fortalece e previne a deterioração da dureza as estruturas de perlita pela inibição da formação das estruturas de cementita pró-eutetóide. Se o teor de Al é menor do que 0,0080%, entretanto, os efeitos são insignificantes. Se Al é adicionado além de 1,00%, por outro lado, torna-se difícil fazer o Al dissolver no aço, assim a inclusão de alumina grosseira servindo como as origens do dano por fadiga se formam, e conseqüentemente a dureza e resistência ao dano por fadiga interna do trilho deterioram. Além disso, nesse caso, óxidos se formam durante a soldagem e a capacidade de soldagem é notavelmente deteriorada. Por essas razões, a quantidade de Al é limitada na faixa de 0,0080 a 1,00%.

[0072] Zr é um elemento que funciona como os núcleos de solidificação em um trilho de aço de alto teor de carbono no qual γ -Fe é o

crystal primário da solidificação, porque as inclusões de ZrO_2 têm boa coerência de treliça com γ -Fe, assim aumenta a razão de cristal de eixos iguais em uma estrutura de solidificação, por fazer isso, inibe a formação das faixas de segregação na porção central do bloco (placa), e suprime a formação das estruturas de cementita pró-eutetóide prejudiciais para a dureza do trilho. Se a quantidade de Zr é menor do que 0,0001%, entretanto, então o número das inclusões de ZrO_2 é tão pequeno que sua função como os núcleos de solidificação não exibe um efeito tangível, e, como consequência, o efeito da supressão da formação das estruturas de cementita pró-eutetóide é reduzido. Se a quantidade de Zr excede 0,2000%, por outro lado, então inclusões grosseiras de Zr se formam em uma grande quantidade, assim a dureza do trilho deteriora, o dano por fadiga interna que se origina das inclusões grosseiras do sistema de Zr é provável de ocorrer, e, como resultado, durabilidade do trilho diminui. Por essas razões, a quantidade de Zr é limitada na faixa de 0,0001 a 0,2000%.

[0073] N acelera a transformação perlítica que se origina dos limites do grão de austenita segregando nos limites do grão de austenita, e assim torna fino o tamanho do bloco de perlita. Portanto, N é um elemento efetivo para melhorar a dureza e ductilidade das estruturas de perlita. Se o teor de N é menor do que 0,0040%, entretanto, os efeitos são insignificantes. Se N é adicionado além de 0,0200%, por outro lado, torna-se difícil fazer o N dissolver no aço e furos de gás funcionando como as origens do dano por fadiga se formam no interior do trilho. Por essas razões, a quantidade de N é limitada na faixa de 0,0040 a 0,0200%.

[0074] Um trilho de aço que tem tal composição química como descrito acima é fundido e refinado em um forno de fusão comumente usado tal como um conversor ou um forno a arco voltaico, então o aço fundido resultante é processado através da fusão do lingote e lamina-

ção por ruptura ou fusão contínua, e a seguir a peça fundida resultante é produzida em trilhos através da laminação a quente. Subseqüentemente, resfriamento acelerado é aplicado na porção dianteira de um trilho laminado a quente mantendo o calor da alta temperatura na laminação a quente ou sendo reaquecido para uma alta temperatura com a finalidade do tratamento térmico, e, por fazer isso, as estruturas de perlita tendo uma alta dureza podem ser transformadas de modo estável na porção dianteira do trilho.

[0075] Como um método para controlar o número dos blocos de perlita tendo tamanhos de grão na faixa de 1 a 15 μm de modo a ser 200 ou mais por $0,2 \text{ mm}^2$ do campo de observação pelo menos em uma parte da região até uma profundidade de 10 mm da superfície dos cantos e topo da porção dianteira do trilho nos processos de produção acima, o método desejável satisfaz as condições de: fixar a temperatura durante a laminação a quente tão baixa quanto possível; aplicar resfriamento acelerado tão rapidamente quanto possível depois da laminação; por fazer isso, suprimir o desenvolvimento das redes de austenita imediatamente depois da laminação; e elevar a razão de redução de área na laminação final de modo que o resfriamento acelerado pode ser aplicado enquanto alto esforço de transformação é acumulado nos grãos de austenita. As condições desejáveis da laminação a quente e tratamento térmico são como segue: a temperatura de laminação final é 980°C ou menor; a razão de redução da área na laminação final é 6% ou mais; e a taxa de resfriamento acelerado é 1°C/s ou mais em média da faixa a partir da faixa de temperatura da austenita até 550°C .

[0076] Ademais, no caso onde o trilho é reaquecido com a finalidade do tratamento térmico, como é impossível fazer uso do efeito do esforço de transformação, é desejável fixar a temperatura de reaquecimento tão baixa quanto possível e a taxa de resfriamento acelerado tão alta quanto possível. Condições desejáveis do tratamento térmico

para o reaquecimento são como segue: a temperatura de reaquecimento é 1.000°C ou menor; e a taxa de resfriamento acelerado é 5°C/s ou mais em média da faixa a partir da faixa de temperatura da austenita até 550°C.

(3) A dureza da porção dianteira do trilho e a faixa da dureza

[0077] Aqui, são explicadas as razões para regular a dureza na região até uma profundidade de 20 mm da superfície dos cantos e topo da porção dianteira do trilho de modo a ficar na faixa de 300 a 500 Hv.

[0078] Em um aço possuindo a composição química de acordo com a presente invenção, se a dureza fica abaixo de 300 Hv, então torna-se difícil garantir uma boa resistência ao desgaste e durabilidade do trilho encurta. Se a dureza excede 500 Hv, por outro lado, a resistência ao dano na superfície é significativamente deteriorada como resultado de: a acumulação do dano por fadiga em uma superfície de laminação da roda causado por um melhoramento fantástico na resistência ao desgaste; e/ou a ocorrência do dano por fadiga na laminação tal como dano por pontos escuros causado pelo desenvolvimento de uma textura cristalográfica. Por essas razões, a dureza das estruturas de perlita é limitada na faixa de 300 a 500 HV.

[0079] A seguir, são explicadas as razões para regular a porção, onde a dureza é regulada na faixa de 300 a 500 HV, de modo a ficar na região até uma profundidade de 20 mm da superfície dos cantos e topo da porção dianteira.

[0080] Se a profundidade da porção onde a dureza é regulada na faixa de 300 a 500 HV é menor do que 20 mm, então, considerando durabilidade de um trilho, a profundidade da porção onde a resistência ao desgaste exigida de um trilho deve ser garantida é insuficiente e torna-se difícil garantir um tempo de serviço suficientemente longo do trilho. Se a porção onde a dureza é regulada na faixa de 300 a 500 HV

se estende até uma profundidade de 30 mm ou mais da superfície dos cantos e topo da porção dianteira, durabilidade do trilho é adicionalmente estendido, o que é mais desejável.

[0081] Em relação ao acima, a figura 1 mostra as denominações de porções diferentes de um trilho, onde: o numeral de referência 1 indica a porção superior dianteira, o numeral de referência 2 as porções laterais dianteiras (cantos) nos lados direito e esquerdo do trilho, o numeral de referência 3, as porções de queixo inferior nos lados direito e esquerdo do trilho, e o numeral de referência 4, a porção interna dianteira, que está localizada na proximidade da posição em uma profundidade de 30 mm da superfície da porção superior dianteira no centro da largura do trilho.

[0082] A figura 3 mostra as denominações das posições diferentes da superfície da porção dianteira e da região onde as estruturas de perlita possuindo a dureza de 300 a 500 HV são exigidas em uma seção transversal da porção dianteira de um trilho de aço perlítico excelente na resistência ao desgaste e ductilidade de acordo com a presente invenção. Na porção dianteira do trilho, o numeral de referência 1 indica a porção superior dianteira e o numeral de referência 2, as porções de canto dianteiras, uma das duas porções de canto dianteira 2 sendo a porção do canto calibrador (G.C.) que principalmente entra em contato com as rodas. A resistência ao desgaste de um trilho pode ser garantida contanto que as estruturas de perlita possuindo composição química de acordo com a presente invenção e possuindo a dureza de 300 a 500 HV sejam formadas pelo menos na direção sombreada com linhas oblíquas na figura.

[0083] Portanto, é desejável que as estruturas de perlita possuindo dureza controlada dentro da faixa acima fiquem localizadas na proximidade da superfície de uma porção dianteira do trilho que principalmente entra em contato com as rodas, e as outras porções podem

consistir em quaisquer estruturas metalográficas diferentes da estrutura de perlita.

[0084] A seguir, os presentes inventores quantificaram a quantidade das estruturas de cementita pró-eutetóide que se formam na porção de alma do trilho. Como resultado da medição do número das redes de cementita pró-eutetóide dividindo ao meio dois segmentos de linha de um comprimento prescrito se cruzando em ângulos retos (a seguir citados como o número de grãos de cementita pró-eutetóide que se cruzam, NC) em um campo de observação sob uma ampliação prescrita, uma boa correlação foi encontrada entre o número das redes de cementita pró-eutetóide que se cruzam e o estado da formação da estrutura de cementita, e foi esclarecido que o estado da formação da estrutura de cementita pró-eutetóide pode ser quantificado com base na correlação.

[0085] Subseqüentemente, os presentes inventores investigaram a relação entre a dureza da porção da alma e o estado da formação da estrutura de cementita pró-eutetóide usando trilhos de aço das estruturas de perlita possuindo um alto teor de carbono. Como resultado, foi esclarecido que, em um trilho de aço das estruturas de perlita possuindo um alto teor de carbono: (i) a dureza da porção de alma do trilho está em correlação negativa com o número das redes de cementita pró-eutetóide que se cruzam (NC); (ii) se o número das redes de cementita pró-eutetóide que se cruzam (NC) não é maior do que um certo valor, então a dureza da porção da alma não deteriora e (iii) o valor limiar do número de grãos de cementita pró-eutetóide que se cruzam (NC) além dos quais a dureza deteriora está correlacionado com a composição química do trilho de aço.

[0086] Com base nas descobertas acima, os presentes inventores tentaram esclarecer a relação entre o valor limiar do número das redes de cementita pró-eutetóide que se cruzam (NC) além do qual a dureza

da porção da alma do trilho se deteriorou, e a composição química do trilho de aço, usando a análise de correlação múltipla. Como resultado, foi verificado que o valor limiar do número das redes de cementita pró-eutetóide que se cruzam (NC) além do qual a dureza de uma porção de alma diminui pode ser definido pelo valor (CE) calculado da equação (1) seguinte que avalia as contribuições da composição química (% em massa) em um trilho de aço.

[0087] Ademais, os presentes inventores estudaram um meio para aperfeiçoar a dureza da porção de alma de um trilho. Como resultado, foi verificado que a quantidade das estruturas de cementita pró-eutetóide que se formam na porção de alma de um trilho é reduzida para um nível menor do que esse de um trilho de aço atualmente usado e a dureza da porção da alma do trilho é impedida de deteriorar pelo controle do número das redes de cementita pró-eutetóide que se cruzam (NC) na porção de alma do trilho de modo a não ser maior do que o valor de CE calculado da composição química do trilho:

$$CE = 60 [\% \text{ em massa C}] - 10 [\% \text{ em massa Si}] + 10 [\% \text{ em massa Mn}] + 500 [\% \text{ em massa P}] + 50 [\% \text{ em massa S}] + 30 [\% \text{ em massa Cr}] - 54 \dots \quad (1),$$

[0088] NC (número de grãos de cementita pró-eutetóide que se cruzam em uma porção de alma) \leq (valor da equação (1)).

[0089] Observe que, na presente invenção, de modo a reduzir o número das redes de cementita pró-eutetóide que se cruzam (NC) no centro da linha central na porção de alma de um trilho, é efetivo: com relação à fusão contínua, (i) otimizar a redução de luz por um meio tal como o controle da velocidade de fusão e (ii) fazer fina a estrutura de solidificação diminuindo a temperatura da fusão e, com relação ao tratamento térmico do trilho, (iii) aplicar resfriamento acelerado na porção de alma do trilho além da sua porção dianteira. De modo a reduzir o número das redes de cementita pró-eutetóide que se cruzam (NC)

ainda mais, é efetivo: combinar as medidas acima na fusão contínua e tratamento térmico; adicionar Al, que tem o efeito de suprimir a formação das estruturas de cementita pró-eutetóide; e/ou adicionar Zr, que torna fina a estrutura de solidificação.

(4) Método para expor as estruturas de cementita pró-eutetóide na porção de alma de um trilho

[0090] O método para expor as estruturas de cementita pró-eutetóide descritas nas reivindicações 10 e 32 é explicado abaixo. Em primeiro lugar, a superfície transversal da porção de alma de um trilho é polida com esmeril de diamante, subseqüentemente, a superfície polida é mergulhada em uma solução de ácido pícrico e soda cáustica, e assim as estruturas de cementita pró-eutetóide ficam expostas. Alguns ajustes podem ser necessários das condições de exposição de acordo com a condição da superfície polida, porém, basicamente, as condições de exposição desejáveis são: a temperatura da solução de imersão é 80°C e o tempo de imersão é aproximadamente 120 minutos.

(5) Método para medir o número das redes de cementita pró-eutetóide que se cruzam (NC)

[0091] A seguir, o método para medir o número das redes de cementita pró-eutetóide que se cruzam (NC) é explicado. A cementita pró-eutetóide é provável de se formar nos limites das redes de cristal de austenita anteriores. A porção onde as estruturas de cementita pró-eutetóide ficam expostas no centro da linha central em uma superfície seccional da porção de alma de um trilho é observada com um microscópio ótico. Depois, o número das interseções (expressos nas marcas redondas na figura 2) das redes de cementita pró-eutetóide com dois segmentos de linha cada um de 300 μm de comprimento se cruzando em ângulos retos é contado sob uma ampliação de 200. A figura 2 esquematicamente mostra o método de medição. O número das redes

de cementita pró-eutetóide que se cruzam é definido como o total das interseções nos dois segmentos de linha X e Y, cada um de 300 μm de comprimento se cruzando em ângulos retos, isto é, $[X_n = 4] + [Y_n = 7]$. Observe que, considerando a distribuição desigual das estruturas de cementita pró-eutetóide causada pela variação da intensidade da segregação, é desejável executar a contagem, pelo menos, em 5 ou mais campos de observação e usar a média das contagens como o número representativo do espécime.

(6) Equação para calcular o valor de CE

[0092] Aqui, é explicada a razão para definir a equação para calcular o valor de CE como descrito anteriormente. A equação para calcular o valor de CE foi obtida, usando trilhos de aço de estruturas de perlita tendo um elevado teor de carbono, tomando os procedimentos de: investigar a relação entre a dureza da porção de alma e o estado da formação da estrutura de cementita pró-eutetóide; e depois esclarecendo a relação entre o valor limiar do número das redes de cementita pró-eutetóide que se cruzam (NC) além do qual a dureza da porção de alma deteriora e a composição química (% em massa) do trilho de aço usando a análise de correlação múltipla. A equação (1) de correlação resultante é mostrada abaixo:

$$\text{CE} = 60 [\% \text{ em massa C}] - 10 [\% \text{ em massa Si}] + 10 [\% \text{ em massa Mn}] + 500 [\% \text{ em massa P}] + 50 [\% \text{ em massa S}] + 30 [\% \text{ em massa Cr}] - 54 \dots \quad (1),$$

[0093] O coeficiente afixado no teor de cada um da composição química constituinte representa a contribuição do componente relevante para a formação das estruturas de cementita na porção de alma de um trilho, e o sinal + significa que o componente relevante tem uma correlação positiva com a formação das estruturas de cementita, e o sinal - uma correlação negativa. O valor absoluto de cada um dos coeficientes representa a magnitude da contribuição. Um valor de CE é

definido como um número inteiro do valor calculado da equação acima, arredondar números de cinco e acima e desprezar qualquer coisa abaixo de cinco. Observe que, em algumas combinações da composição química especificados na equação acima, o valor de CE pode ser 0 ou negativo. Um tal caso em que o valor de CE é 0 ou negativo é considerado como fora do escopo da presente invenção, mesmo se os teors da composição química se conformam com as faixas relevantes especificadas anteriormente.

[0094] Além disso, os presentes inventores examinaram as causas para a geração de trincamentos em um bloco (placa) tendo um alto teor de carbono nos processos de reaquecimento e laminação a quente do bloco (placa) em trilhos. Como resultado, foi esclarecido que: algumas partes do bloco (placa) são fundidas nas porções segregadas nas estruturas de solidificação na proximidade da superfície externa do bloco (placa) onde a temperatura de aquecimento do bloco (placa) é a mais alta; as partes fundidas irrompem pela laminação subsequente; e assim os trincamentos são gerados. Também foi esclarecido que, quanto mais alta for a temperatura de aquecimento máxima do bloco (placa) ou quanto maior for o teor de carbono do bloco (placa), mais trincamentos tendem a ser gerados.

[0095] Com base nas descobertas acima, os presentes inventores experimentalmente estudaram a relação entre a máxima temperatura de aquecimento do bloco (placa) na qual as partes fundidas que causaram trincamentos foram geradas e o teor de carbono no bloco (placa). Como resultado, foi verificado que a máxima temperatura de aquecimento do bloco (placa) na qual as partes fundidas são geradas pode ser regulada por uma expressão quadrática que é mostrada como a equação (2) seguinte composta do teor de carbono (% em massa) da fusão, e que as partes fundidas do bloco (placa) em um estado reaquecido e trincamentos ou rupturas acompanhantes durante a la-

laminação a quente podem ser prevenidas pelo controle da máxima temperatura de aquecimento (T_{max} , °C) do bloco (placa) para menos do que o valor de CT calculado da equação quadrática:

$$[0096] \quad CT = 1500 - 140 ([\% \text{ em massa C}]) - 80 ([\% \text{ em massa C}])^2 \dots (2).$$

[0097] A seguir, os presentes inventores analisaram os fatores que aceleravam a descarburização na camada da superfície externa de um bloco (placa) tendo um alto teor de carbono em um processo de rea-quecimento para laminação a quente do bloco (placa) em trilhos. Como resultado, foi esclarecido que a descarburização na camada da superfície externa do bloco (placa) é significativamente influenciada pela temperatura e o tempo de retenção no rea-quecimento do bloco (placa) e além do mais o teor de carbono no bloco (placa).

[0098] Com base nas descobertas acima, os presentes inventores estudaram a relação entre a temperatura e o tempo de retenção no rea-quecimento do bloco (placa), o teor de carbono no bloco (placa) e a quantidade de descarburização na camada de superfície externa do bloco (placa). Como resultado, foi verificado que, quanto mais longo for o tempo de retenção em uma temperatura não menor do que uma certa temperatura e quanto mais alto for o teor de carbono em uma peça fundida, tanto mais a descarburização na camada de superfície externa do bloco (placa) é acelerada.

[0099] Além disso, os presentes inventores experimentalmente estudaram a relação entre o teor de carbono em uma peça fundida e o tempo de retenção no rea-quecimento do bloco (placa) que não causa a deterioração das propriedades do trilho depois da laminação final. Como resultado, foi verificado que, quando a temperatura de rea-quecimento for 1.100°C ou mais alta, o tempo de retenção do bloco (placa) pode ser regulado por uma expressão quadrática que é mostrada como a equação (3) seguinte composta do teor de carbono (% em

massa) do bloco (placa), e que a diminuição do teor de carbono e a deterioração da dureza nas estruturas de perlita na camada da superfície externa do bloco (placa) podem ser suprimidas e também a deterioração da resistência ao desgaste e a resistência à fadiga de um trilho depois da laminação final podem ser suprimidas pelo controle do tempo de reaquecimento do bloco (placa) (M_{max} , min) para não mais do que o valor de CM calculado a partir da equação quadrática:

$$CM = 600 - 120 ([\% \text{ em massa C}]) - 60 ([\% \text{ em massa C}])^2 \quad (3).$$

[00100] Como declarado acima, os presentes inventores verificaram que, otimizando a máxima temperatura de aquecimento do bloco (placa) tendo um alto teor de carbono e o seu tempo de retenção em uma temperatura de aquecimento não menor do que uma certa temperatura em um processo de reaquecimento para laminação a quente do bloco (placa) em trilhos: a fusão parcial do bloco (placa) é prevenida e assim trincamentos e rupturas são prevenidos durante a laminação a quente; adicionalmente, a descarburagem na camada da superfície externa de um trilho é impedida e assim a deterioração da resistência ao desgaste e resistência por fadiga são suprimidas; e, como consequência, um trilho de alta qualidade pode ser produzido de modo eficiente.

[00101] Em outras palavras, a presente invenção torna possível produzir eficientemente um trilho de alta qualidade prevenindo a fusão parcial do bloco (placa) tendo um elevado teor de carbono e suprimindo a descarburagem na camada de superfície externa do bloco (placa) em um processo de reaquecimento para laminação a quente do bloco (placa) em trilhos. As condições especificadas na presente invenção são explicadas abaixo.

[00102] (7) Razões para limitar a máxima temperatura de aquecimento (T_{max} , °C) do bloco (placa) em um processo de reaquecimento para laminação a quente

[00103] Aqui, são explicadas as razões em detalhes para limitar a

máxima temperatura de aquecimento (T_{max} , °C) do bloco (placa) para não mais do que o valor de CT calculado a partir do teor de carbono de um trilho de aço em um processo de reaquecimento para laminação a quente do bloco (placa) em trilhos.

[00104] Os presentes inventores experimentalmente investigaram os fatores que fizeram a fusão parcial ocorrer em uma peça fundida tendo um alto teor de carbono em um processo de reaquecimento para laminação a quente do bloco (placa) em trilhos e assim que trincamentos fossem geradas no bloco (placa) durante a laminação a quente. Como resultado, foi confirmado que, quanto mais alta for a temperatura de aquecimento máxima do bloco (placa) e maior for o seu teor de carbono, a fusão parcial é apta a ocorrer no bloco (placa) durante o reaquecimento e trincamentos são aptos de serem gerados durante a laminação a quente.

[00105] Com base nas descobertas, os presentes inventores tentaram encontrar a relação entre o teor de carbono do bloco (placa) e a sua máxima temperatura de aquecimento além da qual a fusão parcial ocorreu no bloco (placa) pelo uso da análise de correlação múltipla. A equação (2) de correlação resultante é mostrada abaixo:

$$CT = 1500 - 140 ([\% \text{ em massa C}]) - 80 ([\% \text{ em massa C}])^2 \dots (2).$$

[00106] Como declarado acima, a equação (2) é uma equação de regressão experimental, e a fusão parcial em uma peça fundida durante o reaquecimento e trincamentos e rupturas acompanhantes durante a laminação podem ser prevenidos pelo controle da máxima temperatura de aquecimento (T_{max} , °C) do bloco (placa) para não mais do que o valor de CT calculado a partir da equação quadrática composta do teor de carbono do bloco (placa).

[00107] (8) Razões para limitar o tempo de retenção (M_{max} , min.) do bloco (placa) em um processo de reaquecimento para laminação a quente

[00108] Aqui, são explicadas as razões em detalhes para limitar o tempo de retenção (Mmax, min.) do bloco (placa) aquecida para uma temperatura de 1.100°C ou mais alta em um processo de reaquecimento para laminação a quente do bloco (placa) em trilhos para não mais do que o valor de CM calculado a partir do teor de carbono de um trilho de aço.

[00109] Os presentes inventores experimentalmente investigaram os fatores que aumentaram a quantidade da descarburização na camada de superfície externa do bloco (placa) tendo um elevado teor de carbono em um processo de reaquecimento para a laminação a quente do bloco (placa) em trilhos. Como resultado, foi esclarecido que, quanto mais longo foi o tempo de retenção em uma temperatura não menor do que uma certa temperatura e quanto mais alto o teor de carbono em uma peça fundida, tanto mais a descarburização é acelerada durante o reaquecimento.

[00110] Com base nas descobertas, os presentes inventores tentaram descobrir a relação, na faixa de temperatura de reaquecimento de 1.100°C ou mais alta onde a descarburização do bloco (placa) foi significativa, entre o teor de carbono do bloco (placa) e o tempo de retenção do bloco (placa) além do qual as propriedades de um trilho depois da laminação final deterioraram pelo uso da análise de correlação múltipla. A equação (3) de correlação resultante é mostrada abaixo:

$$CM = 600 - 120 ([\% \text{ em massa C}]) - 60 ([\% \text{ em massa C}])^2 \dots (3).$$

[00111] Como declarado acima, a equação (3) é uma equação de regressão experimental, e a diminuição no teor do carbono e na dureza das estruturas de perlita na camada de superfície externa do bloco (placa) é inibida e assim a deterioração da resistência ao desgaste e da resistência por fadiga de um trilho depois da laminação final é suprimida pelo controle do tempo de retenção (Mmax, min.) do bloco (placa) na faixa de temperatura de reaquecimento de 1.100°C ou mais

alta a não mais do que o valor de CM calculado a partir da equação quadrática.

[00112] Observe que nenhum limite inferior é particularmente especificado para o tempo de retenção (M_{max} , min) no reaquecimento do bloco (placa), porém é desejável controlar o tempo de retenção a 250 minutos ou mais longo do ponto de vista do aquecimento do bloco (placa) de maneira suficiente e uniforme e garantir a formabilidade no momento da laminação de um trilho.

[00113] Com relação ao controle da temperatura e do tempo do reaquecimento como especificado acima em um processo de reaquecimento para laminação a quente do bloco (placa) em trilhos, é desejável medir diretamente a temperatura na superfície externa do bloco (placa) e controlar a temperatura assim obtida e o tempo. Entretanto, quando a medição é difícil industrialmente, pelo controle da temperatura média da atmosfera em um forno de reaquecimento e o tempo residente no forno em uma faixa de temperatura prescrita da atmosfera do forno também, efeitos similares podem ser obtidos e um trilho de alta qualidade pode ser produzido eficientemente.

[00114] A seguir, os presentes inventores estudaram um método de tratamento térmico capaz de, em um trilho de aço tendo um elevado teor de carbono, melhorar a dureza das estruturas de perlita na porção dianteira do trilho e suprimir a formação das estruturas de cementita pró-eutetóide nas suas porções de alma e base. Como resultado, foi confirmado que, com relação a um trilho depois da laminação a quente, é possível melhorar a dureza da porção dianteira do trilho e suprimir a formação das estruturas de cementita pró-eutetóide nas suas porções de alma e base pela aplicação de resfriamento acelerado na porção dianteira e também um outro resfriamento acelerado nas porções de alma e base ou a partir da faixa de temperatura da austenita dentro de um tempo prescrito depois da laminação ou depois que o

trilho é aquecido novamente para uma certa temperatura.

[00115] Como a primeira etapa dos estudos acima, os presentes inventores estudaram um método para endurecer as estruturas de perlita em uma porção dianteira do trilho na produção comercial do trilho. Como resultado, foi verificado que: a dureza das estruturas de perlita em uma porção dianteira do trilho está correlacionada com o período de tempo do fim da laminação a quente para o começo do resfriamento acelerado subsequente e a taxa do resfriamento acelerado; e é possível formar estruturas de perlita na porção dianteira do trilho e endurecer a porção pelo controle do período de tempo depois do fim da laminação a quente e a taxa de resfriamento acelerado subsequente dentro de faixas prescritas respectivas e adicionalmente pelo controle da temperatura no fim do resfriamento acelerado para não menor do que uma temperatura prescrita.

[00116] Como a segunda etapa, os presentes inventores estudaram um método que torna possível suprimir a formação das estruturas de cementita pró-eutetóide nas porções de alma e base de um trilho na produção comercial do trilho. Como resultado, foi verificado que: a formação das estruturas de cementita pró-eutetóide está correlacionada com o período de tempo do fim da laminação a quente para o começo do resfriamento acelerado subsequente e as condições do resfriamento acelerado; e é possível suprimir a formação das estruturas de cementita pró-eutetóide pelo controle do período de tempo depois do fim da laminação a quente dentro de uma faixa prescrita e adicionalmente pelo (i) controle da taxa de resfriamento acelerado dentro de uma faixa prescrita e a temperatura final do resfriamento acelerado para não menor do que uma temperatura prescrita ou (ii) aplicar o aquecimento até uma temperatura dentro de uma faixa de temperatura prescrita e a seguir controlar a taxa de resfriamento acelerada dentro de uma faixa prescrita.

[00117] Além dos métodos de produção acima, os presentes inventores estudaram um método de produção de trilho para garantir a uniformidade da qualidade do material do trilho na direção longitudinal nos métodos de produção acima. Como resultado, foi esclarecido que, quando o comprimento de um trilho na laminação a quente excede um certo comprimento: a diferença de temperatura entre as duas extremidades do trilho e a sua porção intermediária e além disso entre as extremidades do trilho depois da laminação é excessiva; e, pelo método de produção do trilho anteriormente mencionado, é difícil controlar a temperatura e a taxa de resfriamento sobre todo o comprimento do trilho e assim a qualidade do material do trilho na direção longitudinal torna-se desigual. Então, os presentes inventores estudaram um comprimento de laminação perfeito de um trilho para garantir a uniformidade da qualidade do material do trilho através da laminação de teste dos trilhos reais. Como resultado, foi verificado que uma certa faixa adequada existe no comprimento de laminação de um trilho considerando a eficiência econômica.

[00118] Além disso, os presentes inventores estudaram um método de produção do trilho para garantir a ductilidade da porção dianteira do trilho. Como resultado, foi verificado que: a ductilidade da porção dianteira do trilho está correlacionada com a temperatura e a razão de redução da área da laminação a quente, o período de tempo entre as passagens da laminação e o período de tempo do fim da laminação final para o começo do tratamento térmico; e é possível garantir ambas a ductilidade da porção dianteira do trilho e a formabilidade de um trilho ao mesmo tempo pelo controle da temperatura da porção dianteira do trilho na laminação final, da razão de redução da área, do período de tempo entre as passagens de laminação e do período de tempo para o começo do tratamento térmico dentro de faixas prescritas respectivas.

[00119] Como declarado acima, na presente invenção, foi verificado que, com relação a um trilho de aço possuindo um alto teor de carbono: é possível endurecer a porção dianteira do trilho e assim garantir a resistência ao desgaste da porção dianteira do trilho e suprimir a formação das estruturas de cementita pró-eutetóide nas porções de alma e base do trilho, as estruturas sendo prejudiciais para a ruptura por fadiga e fratura frágil, pela aplicação do resfriamento acelerado nas porções dianteira, de alma e base do trilho dentro de um período de tempo prescrito depois do fim da laminação a quente e, além disso, pela aplicação de um outro resfriamento acelerado nas porções de alma e ponta de base do trilho depois que o trilho é aquecido; e adicionalmente é possível garantir a resistência ao desgaste da porção dianteira do trilho, a uniformidade da qualidade do material do trilho na direção longitudinal, a ductilidade da porção dianteira do trilho e a resistência à fadiga e dureza à fratura das porções de alma e base do trilho otimizando o comprimento do trilho na laminação, a temperatura da porção dianteira do trilho na laminação final, a razão da redução da área, o período de tempo entre passagens de laminação e o período de tempo do fim da laminação para o começo do tratamento térmico.

[00120] Em outras palavras, a presente invenção torna possível, em um trilho de aço tendo um elevado teor de carbono: tornar fino o tamanho dos blocos de perlita; garantir a ductilidade da porção dianteira do trilho; prevenir a deterioração da resistência ao desgaste da porção dianteira do trilho e a resistência à fadiga e dureza à fratura das porções de alma e base do trilho, e garantir a uniformidade da qualidade do material do trilho na direção longitudinal.

(9) Razões para limitar as condições do resfriamento acelerado

[00121] Aqui, são explicadas as razões em detalhes para limitar o período de tempo do fim da laminação a quente para o começo do resfriamento acelerado, e a taxa e a faixa de temperatura do resfriamento

acelerado nas reivindicações 11 a 16.

[00122] Em primeiro lugar, são fornecidas explicações com relação ao período de tempo do fim da laminação a quente para o começo do resfriamento acelerado.

[00123] Quando o período de tempo do fim da laminação a quente para o começo do resfriamento acelerado excede 200 segundos, com a composição química de acordo com a presente invenção, grãos de austenita engrossaram depois da laminação, como uma consequência os blocos de perlita engrossaram, e a ductilidade não é aperfeiçoada suficientemente, e, com alguma composição química de acordo com a presente invenção, as estruturas de cementita pró-eutetóide se formam e a resistência à fadiga e a dureza do trilho deterioram. Por essas razões, o período de tempo do fim da laminação a quente para o começo do resfriamento acelerado é limitado para não mais do que 200 segundos. Observe que, mesmo se o período de tempo excede 200 segundos, a qualidade do material do trilho não é significativamente deteriorada exceto pela ductilidade. Portanto, contanto que o período de tempo não seja mais longo do que 250 segundos, uma qualidade de trilho aceitável para o uso real pode ser garantida.

[00124] Enquanto isso, em uma seção do trilho imediatamente depois do fim da laminação a quente, existe uma distribuição de temperatura desigual causada pela remoção do calor pelos rolos de laminação durante a laminação e assim por diante, e, como resultado, a qualidade do material na seção do trilho torna-se desigual depois do resfriamento acelerado. De modo a suprimir a desigualdade da temperatura em uma seção de trilho e uniformizar a qualidade do material na seção do trilho, é desejável começar o resfriamento acelerado depois do decorrer de não menos do que 5 segundos do fim da laminação.

[00125] A seguir, são fornecidas explicações com relação à faixa da taxa de resfriamento acelerado.

[00126] Primeiro, as condições do resfriamento acelerado em uma porção dianteira do trilho são explicadas. Quando a taxa de resfriamento acelerado de uma porção dianteira do trilho fica abaixo de 1°C/s , com a composição química de acordo com a presente invenção, a porção dianteira do trilho não pode ser endurecida e torna-se difícil garantir a resistência ao desgaste da porção dianteira do trilho. Além disso, estruturas de cementita pró-eutetóide se formam e a ductilidade do trilho deteriora. Ainda mais, a temperatura de transformação perlítica se eleva, os blocos de perlita engrossam e a ductilidade do trilho se deteriora. Quando a taxa de resfriamento acelerada excede 30°C/s , por outro lado, com a composição química de acordo com a presente invenção, estruturas de martensita se formam e a dureza da porção dianteira do trilho deteriora significativamente. Por essas razões, a taxa de resfriamento acelerado da porção dianteira do trilho é limitada na faixa de 1 a 30°C/s .

[00127] Observe que a taxa de resfriamento acelerado mencionada acima não é uma taxa de resfriamento durante o resfriamento porém uma taxa de resfriamento média do começo ao fim do resfriamento acelerado. Portanto, contanto que a taxa de resfriamento média do começo ao fim do resfriamento acelerado fique dentro da faixa especificada acima, é possível deixar fino o tamanho do bloco de perlita e simultaneamente endurecer a porção dianteira do trilho.

[00128] A seguir, são fornecidas explicações com relação à faixa de temperatura do resfriamento acelerado. Quando o resfriamento acelerado na porção dianteira do trilho for terminado em uma temperatura acima de 550°C , uma recuperação térmica excessiva acontece do interior de um trilho depois do fim do resfriamento acelerado. Como resultado, a temperatura de transformação perlítica é empurrada para cima pela elevação de temperatura e torna-se impossível endurecer as estruturas de perlita e garantir uma boa resistência ao desgaste. Além

disso, os blocos de perlita engrossaram e a ductilidade do trilho deteriora. Por essas razões, a presente invenção estipula que o resfriamento acelerado deve ser aplicado até que a temperatura alcance uma temperatura não mais alta do que 550°C.

[00129] Nenhum limite inferior é particularmente especificado para a temperatura na qual o resfriamento acelerado em uma porção dianteira do trilho é terminado porém, para garantir uma boa dureza na porção dianteira do trilho e prevenir a formação das estruturas de martensita que são prováveis de se formarem em porções segregadas e semelhantes em uma porção interna dianteira, 400°C é a temperatura limite inferior, substancialmente.

[00130] Segundo, são fornecidas explicações quanto às condições do resfriamento acelerado nas porções dianteira, de alma e base de um trilho, que são estipuladas na reivindicação 16, para prevenir a formação das estruturas de cementita pró-eutetóide.

[00131] Em primeiro lugar, a faixa da taxa de resfriamento acelerado é explicada. Quando a taxa de resfriamento acelerado fica abaixo de 1°C/s, com a composição química de acordo com a presente invenção, torna-se difícil prevenir a formação das estruturas de cementita pró-eutetóide. Quando a taxa de resfriamento acelerado excede 10°C/s, por outro lado, com a composição química de acordo com a presente invenção, as estruturas de martensita se formam em porções segregadas nas porções de alma e base de um trilho e a dureza do trilho deteriora significativamente. Por essas razões, a taxa de resfriamento acelerado é limitada na faixa de 1 a 10°C/s.

[00132] Observe que a taxa de resfriamento acelerado mencionada acima não é uma taxa de resfriamento durante o resfriamento, porém uma taxa de resfriamento média do começo ao fim do resfriamento acelerado. Portanto, contanto que a taxa de resfriamento média do começo ao fim do resfriamento acelerado fique dentro da faixa especi-

ficada acima, é possível suprimir a formação das estruturas de cementita pró-eutetóide.

[00133] A seguir, são fornecidas explicações com relação à faixa de temperatura do resfriamento acelerado. Quando o resfriamento acelerado é acabado em uma temperatura acima de 650°C, uma recuperação térmica excessiva acontece a partir do interior do trilho depois do fim do resfriamento acelerado. Como resultado, as estruturas de perlita são impedidas de se formarem pela elevação de temperatura e, no lugar, estruturas de cementita pró-eutetóide se formam. Por essas razões, a presente invenção estipula que o resfriamento acelerado deve ser aplicado até que a temperatura alcance uma temperatura não maior do que 650°C.

[00134] Nenhum limite inferior é praticamente especificado para a temperatura na qual o resfriamento acelerado é acabado porém, para suprimir a formação das estruturas de cementita pró-eutetóide e prevenir a formação das estruturas de martensita nas porções segregadas na porção da alma, 500°C é a temperatura limite inferior, substancialmente.

(10) Razões para limitar as condições do tratamento térmico das porções de alma e base de um trilho

[00135] Com a finalidade de impedir totalmente a formação das estruturas de cementita pró-eutetóide nas porções de alma e ponta da base de um trilho, um tratamento térmico restritivo é aplicado além do resfriamento explicado acima. Aqui, as condições do tratamento térmico das porções de alma e ponta da base de um trilho são explicadas.

[00136] Primeiro, as condições do tratamento térmico da porção da alma de um trilho estipulado nas reivindicações 19 e 20 são explicadas. As explicações começam com o período de tempo do fim da laminação a quente ao começo do resfriamento acelerado na porção de alma do trilho. Quando o período de tempo do fim da laminação a

quente ao começo do resfriamento acelerado na porção de alma do trilho excede 100 s, com a composição química de acordo com a presente invenção, as estruturas de cementita pró-eutetóide se formam na porção de alma do trilho antes do resfriamento acelerado e a resistência à fadiga e dureza do trilho deterioram. Por essas razões, o período de tempo até o começo do resfriamento acelerado é limitado para não ser mais longo do que 100 s.

[00137] Nenhum limite inferior é particularmente especificado para o período de tempo do fim da laminação a quente ao começo do resfriamento acelerado na porção de alma do trilho porém, para tornar uniforme o tamanho das redes de austenita na porção de alma do trilho e amenizar a desigualdade da temperatura que ocorre durante a laminação, é desejável começar o resfriamento acelerado depois do intervalo não menor do que 5 s do fim da laminação a quente.

[00138] A seguir, são proporcionadas explicações quanto à faixa da taxa de resfriamento do resfriamento acelerado na porção de alma do trilho. Quando a taxa de resfriamento está abaixo de 2°C/s, com a composição química de acordo com a presente invenção, torna-se difícil prevenir a formação das estruturas de cementita pró-eutetóide na porção de alma do trilho. Quando a taxa de resfriamento excede 20°C/s, por outro lado, com a composição química de acordo com a presente invenção, as estruturas de martensita se formam nas faixas de segregação na porção de alma do trilho e a dureza da porção de alma do trilho deteriora significativamente. Por essas razões, a taxa de resfriamento acelerado na porção da alma do trilho é limitada na faixa de 2 a 20°C/s.

[00139] Observe que a taxa de resfriamento acelerado na porção da alma do trilho mencionada acima não é uma taxa de resfriamento durante o resfriamento, porém uma taxa de resfriamento média do começo ao fim do resfriamento acelerado. Portanto, contanto que a

taxa de resfriamento média do começo ao fim do resfriamento acelerado fique dentro da faixa especificada acima, é possível suprimir a formação das estruturas de cementita pró-eutetóide.

[00140] A seguir, são fornecidas explicações quanto à faixa de temperatura do resfriamento acelerado na porção de alma do trilho. Quando o resfriamento acelerado é terminado em uma temperatura acima de 650°C, uma recuperação térmica excessiva acontece do interior do trilho depois do fim do resfriamento acelerado. Como resultado, as estruturas de cementita pró-eutetóide se formam devido à elevação de temperatura antes das estruturas de perlita se formarem em uma quantidade suficiente. Por essas razões, a presente invenção estipula que o resfriamento acelerado deve ser aplicado até que a temperatura alcance uma temperatura não mais alta que 650°C.

[00141] Nenhum limite inferior é particularmente especificado para a temperatura na qual o resfriamento acelerado é terminado porém, para suprimir a formação das estruturas de cementita pró-eutetóide e prevenir a formação das estruturas de martensita que se formam, mais nas porções segregadas, na porção da alma, 500°C é a temperatura limite inferior substancialmente.

[00142] A seguir, são explicadas as razões em detalhes para limitar o período de tempo do fim da laminação a quente ao começo do aquecimento na porção da alma do trilho e a faixa de temperatura do aquecimento nas suas faixas respectivas nas reivindicações 22 e 23.

[00143] Primeiro, são fornecidas explicações quanto ao período de tempo do fim da laminação a quente ao começo do aquecimento na porção de alma do trilho. Quando o período de tempo do fim da laminação a quente ao começo do aquecimento na porção da alma de um trilho excede 100 s, com a composição química de acordo com a presente invenção, as estruturas de cementita pró-eutetóide se formam na porção da alma do trilho antes do aquecimento, e, mesmo embora

a porção do trilho esteja aquecida, as estruturas de cementita pró-eutetóide subsistem ao tratamento térmico subsequente e a resistência à fadiga e dureza do trilho se deterioram. Por essas razões, o período de tempo até o começo do aquecimento é limitado para não ser mais longo do que 100 s.

[00144] Nenhum limite inferior é particularmente especificado para o período de tempo do fim da laminação a quente ao começo do aquecimento na porção da alma do trilho porém, para amenizar a desigualdade da temperatura que ocorre durante a laminação e executar o aquecimento de modo preciso, é desejável começar o aquecimento depois do intervalo não menor do que 5 s do fim da laminação a quente.

[00145] A seguir, são proporcionadas explicações quanto à faixa de temperatura do aquecimento na porção da alma do trilho. Quando a elevação de temperatura do aquecimento for menor do que 20°C, estruturas de cementita pró-eutetóide se formam na porção de alma do trilho antes do resfriamento acelerado subsequente e a resistência à fadiga e dureza da porção da alma do trilho deterioram. Quando a elevação de temperatura do aquecimento excede 100°C, por outro lado, as estruturas de perlita engrossaram depois do tratamento térmico e a dureza da porção da alma do trilho deteriora. Por essas razões, a elevação de temperatura do aquecimento na porção da alma do trilho é limitada na faixa de 20°C a 100°C.

[00146] A seguir, são explicadas as razões para especificar as condições do tratamento térmico das porções de ponta da base do trilho nas reivindicações 18 e 20. Primeiro, são proporcionadas as explicações quanto ao período de tempo do fim da laminação a quente ao começo do resfriamento acelerado nas porções de ponta da base do trilho. Quando o período de tempo do fim da laminação a quente ao começo do resfriamento acelerado nas porções de ponta de base do

trilho excede 60 s, com a composição química de acordo com a presente invenção, estruturas de cementita pró-eutetóide se formam nas porções de ponta da base do trilho antes do resfriamento acelerado e a resistência à fadiga e dureza do trilho deterioram. Por essas razões, o período de tempo até o começo do resfriamento acelerado é limitado para não ser mais longo do que 60 s.

[00147] Nenhum limite inferior é particularmente limitado para o período de tempo do fim da laminação a quente ao começo do resfriamento acelerado nas porções de ponta de base do trilho porém, para tornar uniforme o tamanho das redes de austenita nas porções de ponta de base do trilho e amenizar a desigualdade da temperatura que ocorre durante a laminação, é desejável começar o resfriamento acelerado depois de um intervalo não mais curto do que 5 s do fim da laminação a quente.

[00148] A seguir, são proporcionadas as explicações quanto à faixa da taxa de resfriamento do resfriamento acelerado nas porções de ponta de base do trilho. Quando a taxa de resfriamento fica abaixo de $5^{\circ}\text{C}/\text{s}$, com a composição química de acordo com a presente invenção, torna-se difícil suprimir a formação das estruturas de cementita pró-eutetóide nas porções de ponta de base do trilho. Quando a taxa de resfriamento excede $20^{\circ}\text{C}/\text{s}$, por outro lado, com a composição química de acordo com a presente invenção, estruturas de martensita se formam nas porções de ponta de base do trilho e a dureza das porções de ponta de base do trilho deteriora significativamente. Por essas razões, a taxa de resfriamento acelerado nas porções de ponta de base do trilho é limitada na faixa de 5 a $20^{\circ}\text{C}/\text{s}$.

[00149] Observe que a taxa de resfriamento acelerado nas porções de ponta de base do trilho mencionada acima não é uma taxa de resfriamento durante o resfriamento, porém uma taxa de resfriamento média do começo ao fim do resfriamento acelerado. Portanto, contanto

que a taxa de resfriamento média do começo ao fim do resfriamento acelerado fique dentro da faixa especificada acima, é possível suprimir a formação das estruturas de cementita pró-eutetóide.

[00150] A seguir, são proporcionadas as explicações quanto à faixa de temperatura do resfriamento acelerado nas porções de ponta de base do trilho. Quando o resfriamento acelerado é terminado em uma temperatura acima de 650°C, uma recuperação térmica excessiva acontece a partir do interior do trilho depois do fim do resfriamento acelerado. Como resultado, estruturas de cementita pró-eutetóide se formam devido à elevação de temperatura antes das estruturas de perlita se formarem em uma quantidade suficiente. Por essas razões, a presente invenção estipula que o resfriamento acelerado deve ser aplicado até que a temperatura alcance uma temperatura não mais alta do que 650°C.

[00151] A seguir, são explicadas as razões em detalhes para limitar o período de tempo do fim da laminação a quente ao começo do aquecimento nas porções de ponta de base de um trilho e a faixa de temperatura do aquecimento nas suas faixas respectivas nas reivindicações 21 e 23.

[00152] Primeiro, são fornecidas as explicações quanto ao período de tempo do fim da laminação a quente ao começo do aquecimento nas porções de ponta de base do trilho. Quando o período de tempo do fim da laminação a quente ao começo do aquecimento nas porções de ponta de base do trilho excede 60 s, com a composição química de acordo com a presente invenção, estruturas de cementita pró-eutetóide se formam nas porções de ponta de base do trilho antes do aquecimento, e, mesmo embora as porções de ponta de base sejam aquecidas a seguir, as estruturas de cementita pró-eutetóide sobrevivem ao tratamento térmico subsequente e a resistência à fadiga e dureza do trilho deterioram. Por essas razões, o período de tempo até o

começo do aquecimento é limitado para não ser mais longo do que 60s.

[00153] Nenhum limite inferior é particularmente limitado para o período de tempo do fim da laminação a quente ao começo do aquecimento nas porções de ponta de base do trilho porém, para amenizar a desigualdade da temperatura que ocorre durante a laminação e executar o aquecimento com precisão, é desejável começar o aquecimento depois do intervalo não menor do que 5 s do fim da laminação a quente.

[00154] A seguir, são proporcionadas as explicações quanto à faixa de temperatura do aquecimento nas porções de ponta de base do trilho. Quando a elevação de temperatura do aquecimento for menor do que 50°C, estruturas de cementita pró-eutetóide se formam nas porções de ponta de base do trilho antes do resfriamento acelerado subsequente e a resistência à fadiga e dureza das porções de ponta de base do trilho deterioram. Quando a elevação de temperatura do aquecimento excede 100°C, por outro lado, as estruturas de perlita engrosseiram depois do tratamento térmico e a dureza das porções de ponta de base do trilho deteriora. Por essas razões, a elevação de temperatura do aquecimento nas porções de ponta de base do trilho é limitada na faixa de 50°C a 100°C.

[00155] Com relação às condições da porção dianteira do trilho na eventualidade de aplicar o tratamento térmico acima, é desejável fixar o período de tempo do fim da laminação a quente até o tratamento térmico para não ser mais longo do que 200 s e a razão de redução da área na passagem final da laminação a quente de acabamento em 6% ou mais, ou é mais desejável aplicar laminação de acabamento contínua de duas ou mais passagens com um período de tempo não mais longo do que 10 s entre passagens em uma razão de redução de área de 1 a 30% por passagem.

(11) Razões para limitar o comprimento do trilho depois da laminação a quente

[00156] Aqui, são explicadas as razões em detalhes para limitar o comprimento do trilho depois da laminação a quente nas reivindicações 5 e 27.

[00157] Quando o comprimento do trilho depois da laminação a quente excede 200 m, a diferença de temperatura entre as extremidades e a porção média e além disso entre as duas extremidades do trilho depois da laminação torna-se tão grande que torna-se difícil controlar apropriadamente a temperatura e a taxa de resfriamento sobre todo o comprimento do trilho mesmo embora o método de produção de trilho acima seja utilizado, e a qualidade do material do trilho na direção longitudinal torna-se desigual. Quando o comprimento do trilho depois da laminação a quente for menor do que 100 m, por outro lado, a eficiência da laminação diminui e o custo de produção do trilho aumenta. Por essas razões, o comprimento do trilho depois da laminação a quente é limitado na faixa de 100 a 200 m.

[00158] Observe que, de modo a obter um comprimento de trilho de produto na faixa de 100 a 200 m, é desejável garantir um comprimento de laminação do comprimento do trilho do produto mais tolerâncias de grupo.

(12) Razões para limitar as condições de laminação na laminação a quente

[00159] Aqui, são explicadas as razões em detalhes para limitar as condições da laminação na laminação a quente nas reivindicações 11 a 14.

[00160] Quando a temperatura no fim da laminação a quente excede 1.000°C, com a composição química de acordo com a presente invenção, as estruturas de perlita na porção dianteira do trilho não são feitas finas e a ductilidade não é aperfeiçoada suficientemente. Quan-

do a temperatura no fim da laminação a quente está abaixo de 850°C, por outro lado, torna-se difícil controlar a forma do trilho e, como resultado, produzir um trilho que satisfaça uma forma exigida de produto. Além disso, as estruturas de cementita pró-eutetóide se formam imediatamente depois da laminação graças à baixa temperatura e a resistência à fadiga e a dureza do trilho deterioram. Por essas razões, a temperatura no fim da laminação a quente é limitada na faixa de 850°C a 1.000°C.

[00161] Quando a razão de redução da área na passagem final da laminação a quente fica abaixo de 6%, torna-se impossível fazer fino o tamanho do grão de austenita depois da laminação do trilho e, como consequência, o tamanho do bloco de perlita aumenta e é impossível garantir uma alta ductilidade na porção dianteira do trilho. Por essas razões, a razão de redução da área na passagem da laminação final é definida como 6% ou mais.

[00162] Além do controle acima da temperatura de laminação e da razão de redução da área, com a finalidade de aperfeiçoar a ductilidade na porção dianteira do trilho, 2 ou mais passagens de laminação consecutivas são aplicadas na laminação final e, além disso, a razão de redução da área por passagem e o período de tempo entre as passagens na laminação final são controlados.

[00163] A seguir, são explicadas as razões em detalhes para limitar a razão de redução da área por passagem e o período de tempo entre as passagens na laminação final na reivindicação 14.

[00164] Quando a razão da redução da área por passagem na laminação final for menor do que 1%, os grãos de austenita não são constituídos finos de forma alguma, o tamanho do bloco de perlita não é reduzido como consequência, e assim a ductilidade na porção dianteira do trilho não é aperfeiçoada. Por essas razões, a razão de redução da área por passagem na laminação final é limitada a 1% ou mais.

Quando a razão de redução da área por passagem na laminação final excede 30%, por outro lado, torna-se impossível controlar a forma do trilho e assim torna-se difícil produzir um trilho que satisfaça uma forma exigida de produto. Por essas razões, a razão da redução da área por passagem na laminação final é limitada na faixa de 1 a 30%.

[00165] Quando o período de tempo entre as passagens na laminação final excede 10 s, grãos de austenita se desenvolvem depois da laminação, o tamanho do bloco de perlita não é reduzido como consequência, e assim a ductilidade na porção dianteira do trilho não é aperfeiçoada. Por essas razões, o período de tempo entre passagens na laminação final é limitado para não ser mais longo do que 10 s. Nenhum limite inferior é particularmente especificado para o período de tempo entre as passagens porém, para suprimir o crescimento do grão, constituir finos os grãos de austenita através da recristalização contínua e tornar pequeno o tamanho do bloco de perlita como resultado, é desejável tornar o período de tempo tão curto quanto possível.

[00166] Aqui, as porções do trilho são explicadas. A figura 1 mostra as denominações das porções diferentes do trilho. Como mostrado na figura 1: a porção dianteira é a porção que essencialmente entra em contato com as rodas (numeral de referência 1); a porção da alma é a porção que está localizada abaixo e tem uma espessura seccional mais fina do que a porção dianteira (numeral de referência 5); a porção de base é a porção que está localizada mais baixo do que a porção da alma (numeral de referência 6) e as porções de ponta de base são as porções que estão localizadas em ambas as extremidades da porção de base 6 (numeral de referência 7). Na presente invenção, as porções de ponta de base são definidas como as regiões de 10 a 40 mm separadas de ambas as extremidades da porção de base. Portanto, as porções de ponta de base 7 constituem partes de uma porção de base 6. As temperaturas e as condições de resfriamento no tratamento tér-

mico do trilho são definidas pelos valores representativos relevantes que são medidos nas regiões de 0 a 3 mm de profundidade das superfícies de, como mostrado na figura 1, respectivamente: o centro da largura do trilho na porção dianteira 1; o centro da largura do trilho na porção de base 6; o centro da altura do trilho na porção de alma 5 e pontos 5 mm distantes das extremidades das porções de ponta de base 7.

[00167] Observe que é desejável tornar as taxas de resfriamento nos três pontos de medição acima tão iguais quanto possíveis de modo a tornar uniforme a dureza e as estruturas na seção do trilho.

[00168] A temperatura na laminação do trilho é representada pela temperatura medida imediatamente depois da laminação no ponto no centro da largura do trilho sobre a superfície da porção dianteira 1 mostrada na figura 1.

[00169] Os presentes inventores também examinaram, no trilho de aço das estruturas de perlita tendo um elevado teor de carbono, a relação entre a taxa de resfriamento capaz de prevenir a formação das estruturas de cementita pró-eutetóide na porção interna dianteira (taxa de resfriamento crítica da formação da estrutura de cementita pró-eutetóide) e a composição química do trilho de aço.

[00170] Como resultado dos testes de tratamento térmico usando espécimes de aço com elevado teor de carbono simulando a forma da porção dianteira do trilho, foi esclarecido que: existe uma relação entre a composição química (C, Si, Mn e Cr) do trilho de aço e a taxa de resfriamento crítica da formação da estrutura de cementita pró-eutetóide, e C, que é um elemento que acelera a formação de cementita, tem uma correlação positiva e Si, Mn e Cr, que são elementos que aumentam a capacidade de endurecimento, têm correlações negativas.

[00171] Com base na descoberta acima, os presentes inventores tentaram determinar, nos trilhos de aço contendo acima de 0,85 de %

em massa de C, onde a formação das estruturas de cementita pró-eutetóide é visível, a relação entre a composição química (C, Si, Mn e Cr) dos trilhos de aço e as taxas de resfriamento críticas da formação da estrutura de cementita pró-eutetóide, pelo uso da análise de correlação múltipla. Como resultado, foi verificado que: o valor correspondendo à taxa de resfriamento crítica da formação da estrutura de cementita pró-eutetóide na porção interna dianteira do trilho de aço é obtido pelo cálculo do valor de CCR definido pela equação (4) representando a contribuição da composição química (% em massa) no trilho de aço; e adicionalmente é possível prevenir a formação das estruturas de cementita pró-eutetóide na porção interna dianteira do trilho pelo controle da taxa de resfriamento na porção interna dianteira do trilho (ICR, °C/s) para não menos do que o valor de CCR no tratamento térmico de um trilho de aço:

$$\text{CCR} = 0,6 + 10 \times ([\%C] - 0,9) - 5 \times ([\%C] - 0,9) \times [\%Si] - 0,17[\%Mn] - 0,13[\%Cr] \dots \quad (4).$$

[00172] A seguir, os presentes inventores estudaram um método para controlar a taxa de resfriamento na porção interna dianteira (ICR, °C/s) no tratamento térmico de um trilho de aço.

[00173] Em vista do fato que toda a superfície da porção dianteira do trilho é esfriada na eventualidade do resfriamento da porção dianteira do trilho em um tratamento térmico, os presentes inventores executaram testes de tratamento térmico usando espécimes de aço com alto teor de carbono simulando a forma de uma porção dianteira de trilho e tentaram descobrir a relação entre as taxas de resfriamento nas posições diferentes na superfície da porção dianteira do trilho e a taxa de resfriamento na porção interna dianteira do trilho. Como resultado, foi confirmado que: a taxa de resfriamento na porção interna dianteira do trilho está correlacionada com a taxa de resfriamento na superfície da porção superior dianteira do trilho (TH, °C/s), a média das

taxas de resfriamento nas superfícies dos lados direito e esquerdo da porção dianteira do trilho (TS, °C/s) e a média das taxas de resfriamento nas superfícies das porções de queixo inferiores (TJ, °C/s) que estão localizadas nos limites entre as porções dianteira e de alma nos lados direito e esquerdo; e a taxa de resfriamento na porção interna dianteira do trilho pode ser avaliada pelo uso do valor de TCR definido pela equação (5) que representa a contribuição para a taxa de resfriamento na porção interna dianteira do trilho:

$$TCR = 0,05TH \text{ (}^\circ\text{C/s)} + 0,10TS \text{ (}^\circ\text{C/s)} + 0,50TJ \text{ (}^\circ\text{C/s)} \dots (5).$$

[00174] Observe que cada uma das taxas de resfriamento nas porções laterais dianteiras e porções de queixo inferiores (TS e TJ, °C/s) é o valor médio das taxas de resfriamento nas posições respectivas nos lados direito e esquerdo do trilho.

[00175] Ademais, os presentes inventores investigaram experimentalmente a relação do valor de TCR com a formação das estruturas de cementita pró-eutetóide na porção interna dianteira do trilho e estruturas na camada de superfície da porção dianteira do trilho. Como resultado, foi esclarecido que: a formação das estruturas de cementita pró-eutetóide na porção interna dianteira do trilho está correlacionada com o valor de TCR; e, quando o valor de TCR for duas vezes ou mais o valor de CCR calculado a partir da composição química do trilho de aço, estruturas de cementita pró-eutetóide não se formam na porção interna dianteira do trilho.

[00176] Foi adicionalmente esclarecido que, em relação às microestruturas na camada de superfície da porção dianteira do trilho, quando o valor de TCR for quatro vezes ou mais o valor de CCR calculado da composição química do trilho de aço, o resfriamento é excessivo, estruturas de bainita e martensita prejudiciais à resistência ao desgaste se formam na camada de superfície da porção dianteira do trilho e a durabilidade do trilho de aço diminui.

[00177] Isto é, os presentes inventores verificaram que, no tratamento térmico da porção dianteira do trilho, é possível garantir uma taxa de resfriamento apropriada na porção interna dianteira do trilho (ICR, °C/s), prevenir a formação das estruturas de cementita pró-eutetóide lá, e adicionalmente estabilizar as estruturas de perlita na camada de superfície da porção dianteira do trilho pelo controle do valor de TCR de modo a satisfazer a expressão $4CCR \geq TCR \geq 2CCR$.

[00178] Para resumir, os presentes inventores verificaram que, no trilho de aço tendo um alto teor de carbono: é possível prevenir a formação das estruturas de cementita pró-eutetóide na porção interna dianteira do trilho de aço pelo controle da taxa de resfriamento na porção interna dianteira (ICR) de modo a não ser menor do que o valor de CCR calculado da composição química do trilho de aço; e além do mais é necessário controlar o valor de TCR calculado das taxas de resfriamento nas posições diferentes na superfície da porção dianteira dentro da faixa regulada pelo valor de CCR para garantir uma taxa de resfriamento apropriada na porção interna dianteira (ICR) e estabilizar as estruturas de perlita na camada de superfície da porção dianteira.

[00179] Dessa maneira, a presente invenção torna possível, no tratamento térmico de um trilho de aço de alto teor de carbono usado em uma ferrovia de carga pesada: estabilizar as estruturas de perlita na camada de superfície da porção dianteira; ao mesmo tempo, prevenir a formação das estruturas de cementita pró-eutetóide, que são prováveis de se formarem na porção interna dianteira e servem como a origem do dano por fadiga; e, como consequência, garantir uma boa resistência ao desgaste e aperfeiçoar a resistência ao dano por fadiga interna.

[00180] (13) Razões para regular o método de tratamento térmico para prevenir a formação das estruturas de cementita pró-eutetóide em uma porção interna dianteira de trilho

1) Razões para definir a equação para calcular o valor de CCR

[00181] São explicadas as razões para definir a equação para calcular o valor de CCR na reivindicação 24 como descrito acima.

[00182] A equação para calcular o valor de CCR foi deduzida dos procedimentos de: em primeiro lugar medir a taxa de resfriamento crítica da formação da estrutura de cementita pró-eutetóide através dos testes simulando o tratamento térmico da porção dianteira do trilho; e depois esclarecer a relação entre a taxa de resfriamento crítica da formação da estrutura de cementita pró-eutetóide e a composição química (C, Si, Mn e Cr) de um trilho de aço pelo uso da análise de correlação múltipla. A equação (4) da correlação resultante é mostrada abaixo. Como declarado acima, a equação (4) é uma equação de regressão experimental e é possível prevenir a formação das estruturas de cementita pró-eutetóide pelo resfriamento da porção interna dianteira do trilho em uma taxa de resfriamento não menor do que o valor calculado a partir da equação (4):

$$\text{CCR} = 0,6 + 10 \times ([\%C] - 0,9) - 5 \times ([\%C] - 0,9) \times - [\%Si] - 0,17[\%Mn] - 0,13[\%Cr] \dots (4).$$

[00183] 2) Razões para limitar a posição e a faixa de temperatura onde a taxa de resfriamento na porção interna dianteira do trilho é regulada

[00184] São explicadas as razões para determinar a posição onde a taxa de resfriamento na porção interna dianteira do trilho é regulada para ser uma posição de 30 mm em profundidade da superfície superior dianteira na reivindicação 24.

[00185] A taxa de resfriamento na porção dianteira do trilho tende a diminuir da superfície para o seu interior. Portanto, de modo a prevenir a formação das estruturas de cementita pró-eutetóide nas regiões da porção dianteira do trilho onde a taxa de resfriamento é menor, é ne-

cessário garantir uma taxa de resfriamento adequada na porção interna dianteira do trilho. Como resultado da medição experimental das taxas de resfriamento nas posições diferentes na porção interna dianteira do trilho, foi confirmado que: a taxa de resfriamento na posição 30 mm em profundidade da superfície superior dianteira é a mais baixa; e, quando uma taxa de resfriamento adequada é garantida nessa posição, as estruturas de cementita pró-eutetóide são impedidas de se formarem na porção interna dianteira do trilho. A partir dos resultados, a posição onde a taxa de resfriamento na porção interna dianteira do trilho é regulada é determinada como sendo uma posição 30 mm em profundidade da superfície superior dianteira.

[00186] A seguir, são explicadas as razões para definir a faixa de temperatura na qual a taxa de resfriamento na porção interna dianteira do trilho é regulada na reivindicação 24.

[00187] Foi experimentalmente confirmado que, no trilho de aço tendo a composição química como especificado acima, a temperatura na qual as estruturas de cementita pró-eutetóide se formam fica na faixa de 750°C a 650°C. Portanto, de modo a prevenir a formação das estruturas de cementita pró-eutetóide, é necessário controlar a taxa de resfriamento na porção interna dianteira do trilho para pelo menos um certo valor ou mais na faixa de temperatura acima. Por essas razões, a faixa de temperatura na qual a taxa de resfriamento na posição 30 mm em profundidade da superfície superior dianteira do trilho de aço é regulada é determinada como sendo de 750°C a 650°C.

[00188] 3) Razões para definir a equação para calcular o valor de TCR e limitar a faixa do valor

[00189] São explicadas as razões para definir a equação para o cálculo do valor de TCR na reivindicação 25.

[00190] A equação para calcular o valor de TCR foi deduzida dos procedimentos de: em primeiro lugar medir a taxa de resfriamento na

porção superior dianteira do trilho (TH, °C/s), a taxa de resfriamento nas porções laterais dianteiras do trilho (TS, °C/s), a taxa de resfriamento nas porções de queixo inferiores (TJ, °C/s), e além disso a taxa de resfriamento na porção interna dianteira do trilho (ICR, °C/s) através dos testes simulando o tratamento térmico da porção dianteira do trilho; e a seguir formulando as taxas de resfriamento nas porções de superfície dianteira do trilho respectivas de acordo com suas contribuições para a taxa de resfriamento na porção interna dianteira do trilho (ICR, °C/s). A equação (5) resultante é mostrada abaixo. Como declarado acima, a equação (5) é uma equação empírica e, contanto que o valor calculado a partir da equação (5) não seja menor do que um certo valor, é possível garantir uma taxa de resfriamento adequada na porção interna dianteira do trilho e prevenir a formação das estruturas de cementita pró-eutetóide:

$$[00191] \quad TCR = 0,05TH \text{ (}^\circ\text{C/s)} + 0,10TS \text{ (}^\circ\text{C/s)} + 0,50TJ \text{ (}^\circ\text{C/s)} \dots$$

(5).

[00192] Observe que cada uma das taxas de resfriamento nas porções laterais dianteiras e porções de queixo inferiores (TS e TJ, °C/s) é o valor médio das taxas de resfriamento nas posições respectivas nos lados direito e esquerdo do trilho.

[00193] A seguir, são explicadas as razões para regular o valor de TCR de modo a satisfazer a expressão $4CCR \geq TCR \geq 2CCR$ na reivindicação 25.

[00194] Quando o valor de TCR for menor do que 2CCR, a taxa de resfriamento na porção interna dianteira do trilho (ICR, °C/s) diminui, as estruturas de cementita pró-eutetóide se formam na porção interna dianteira do trilho, e o dano por fadiga interna é provável de ocorrer. Além disso, nesse caso, a dureza na superfície da porção dianteira do trilho deteriora e uma boa resistência ao desgaste do trilho não pode ser garantida. Quando o valor de TCR excede 4CCR, por outro lado,

taxas de resfriamento na camada de superfície da porção dianteira do trilho aumentam drasticamente, estruturas de bainita e martensita prejudiciais à resistência ao desgaste se formam na camada de superfície da porção dianteira do trilho, e a durabilidade do trilho de aço diminui. Por essas razões, o valor de TCR é restrito na faixa especificada pela expressão $4CCR \geq TCR \geq 2CCR$.

[00195] 4) Razões para limitar as posições e a faixa de temperatura onde as taxas de resfriamento na superfície da porção dianteira do trilho são reguladas

[00196] Em primeiro lugar, são explicadas as razões para determinar posições onde as taxas de resfriamento na superfície da porção dianteira do trilho são reguladas para serem três tipos de porções; uma porção superior dianteira, porções laterais dianteiras e porções de queixo inferiores, na reivindicação 25.

[00197] A taxa de resfriamento na porção interna dianteira do trilho é significativamente influenciada pelas condições de resfriamento na superfície da porção dianteira do trilho. Os presentes inventores experimentalmente examinaram a relação entre a taxa de resfriamento na porção interna dianteira do trilho e as taxas de resfriamento na superfície da porção dianteira do trilho. Como resultado, foi determinado que: a taxa de resfriamento na porção interna dianteira do trilho está em boa correlação com as taxas de resfriamento nos três tipos de superfície, através das quais o calor na porção dianteira do trilho é removido, do topo, dos lados (direito e esquerdo) e dos queixos inferiores (direito e esquerdo) da porção dianteira do trilho; e a taxa de resfriamento na porção interna dianteira do trilho é adequadamente controlada pelo ajuste das taxas de resfriamento nas superfícies. A partir dos resultados, as posições onde as taxas de resfriamento na superfície da porção dianteira do trilho são reguladas são determinadas para serem o topo, os lados e os queixos inferiores da porção dianteira do trilho.

[00198] A seguir, são explicadas as razões para definir uma faixa de temperatura na qual as taxas de resfriamento nos três tipos de superfícies da porção dianteira do trilho são reguladas na reivindicação 25.

[00199] Foi experimentalmente confirmado que, em um trilho de aço tendo a composição química como especificado acima, a temperatura na qual as estruturas de cementita pró-eutetóide se formam está na faixa de 750°C a 650°C. Portanto, de modo a prevenir a formação das estruturas de cementita pró-eutetóide, é necessário controlar a taxa de resfriamento na porção interna dianteira do trilho para pelo menos um certo valor ou mais na faixa de temperatura acima. Entretanto, como a quantidade de calor removido na porção interna dianteira do trilho é menor do que esse removido na superfície da porção dianteira do trilho no momento do fim do resfriamento acelerado, a temperatura na porção interna dianteira do trilho é mais alta do que essa na superfície da porção dianteira do trilho. Dessa maneira, de modo a garantir uma taxa de resfriamento adequada na porção interna dianteira do trilho na faixa de temperatura até 650°C, além da qual as estruturas de cementita pró-eutetóide se formam, é necessário regular a temperatura no fim do resfriamento acelerado para menos de 650°C na superfície da porção dianteira do trilho. Como resultado da verificação experimental da temperatura no fim do resfriamento acelerado na superfície da porção dianteira do trilho, foi confirmado que, quando o resfriamento é continuado até que a temperatura de superfície alcança 500°C, a temperatura no fim do resfriamento na porção interna dianteira do trilho cai para menos de 650°C. Desses resultados, a faixa de temperatura na qual as taxas de resfriamento nos três tipos de superfícies da porção dianteira do trilho (o topo, os lados e os queixos inferiores da porção dianteira do trilho) são reguladas é determinada para ser de 750°C a 500°C.

[00200] Aqui, as porções do trilho são explicadas. A figura 10 mostra as denominações das posições diferentes na porção dianteira do trilho. A porção superior dianteira significa toda a parte superior da porção dianteira do trilho (numeral de referência 1), as porções laterais dianteiras significam todas as partes do lado esquerdo e direito da porção dianteira do trilho (numeral de referência 2), as porções de queixo inferiores significam todas as partes nos lados esquerdo e direito nos limites entre a porção dianteira e a porção da alma (numeral de referência 3), e a porção interna dianteira significa a parte na proximidade da posição 30 mm em profundidade da superfície da porção superior dianteira do trilho no centro da largura do trilho (numeral de referência 4).

[00201] Taxas de resfriamento acelerado e as faixas de temperatura do resfriamento acelerado no tratamento térmico do trilho são definidas pelos valores representativos relevantes que são medidos nas superfícies de, ou nas regiões até 5 mm em profundidade das superfícies de, como mostrado na figura 10, respectivamente: o centro da largura do trilho na porção superior dianteira 1; o centro da altura dianteira do trilho nas porções laterais dianteiras 2 e o centro das porções de queixo inferiores 3.

[00202] Como conseqüência, pelo controle das temperaturas e taxas de resfriamento nas porções acima, é possível estabilizar as estruturas de perlita na camada de superfície da porção dianteira e controlar a taxa de resfriamento na porção interna dianteira 4, assim garantir uma boa resistência ao desgaste na superfície da porção dianteira, prevenir a formação das estruturas de cementita pró-eutetóide na porção interna dianteira, e, além disso, melhorar a resistência ao dano por fadiga interna. Com relação ao resfriamento acelerado durante o tratamento térmico da porção dianteira do trilho, é possível escolher arbitrariamente, quando exigido, a aplicação ou de outra forma do resfria-

mento e taxas de resfriamento acelerado no caso da aplicação nas cinco posições, isto é a porção superior dianteira, porções laterais dianteiras (direita e esquerda) e porções de queixo inferiores (direita e esquerda), de modo que o valor de TCR possa satisfazer a expressão $4CCR \geq TCR \geq 2CCR$.

[00203] Observe que é desejável tornar iguais as taxas de resfriamento em ambos os lados direito e esquerdo das porções laterais dianteiras e porções de queixo inferiores de modo a tornar uniforme a dureza e as estruturas metalográficas em ambos os lados da porção dianteira do trilho.

[00204] Como explicado acima, de modo a prevenir a formação das estruturas de cementita pró-eutetóide na porção interna dianteira e estabilizar as estruturas de perlita na camada de superfície da porção dianteira no trilho de aço das estruturas de perlita tendo um alto teor de carbono, é necessário controlar a taxa de resfriamento na porção interna dianteira (ICR) de modo a não ser menor do que o valor de CCR que é determinado pela composição química do trilho de aço e corresponde à taxa de resfriamento crítica sob a qual as estruturas de cementita se formam, e, ao mesmo tempo, controlar as taxas de resfriamento nas posições diferentes acima mencionadas nas superfícies da porção dianteira do trilho de modo que o valor de TCR pode cair dentro da faixa especificada.

[00205] É desejável que a estrutura metalográfica do trilho de aço produzido através de um método de tratamento térmico de acordo com a presente invenção seja composta de estruturas de perlita quase sobre todo o corpo. Em algumas escolhas de composição química e condições de resfriamento acelerado, estruturas de ferrita pró-eutetóide, estruturas de cementita pró-eutetóide e estruturas de bainita podem se formar em quantidades muito pequenas nas estruturas de perlita. Entretanto, contanto que as quantidades dessas estruturas se-

jam muito pequenas, sua presença nas estruturas de perlita não tem uma influência significativa na resistência à fadiga e na dureza do trilho. Por essa razão, a estrutura da porção dianteira do trilho de aço produzido através de um método de tratamento térmico de acordo com a presente invenção pode incluir estruturas de perlita nas quais pequenas quantidades das estruturas de ferrita pró-eutetóide, estruturas de cementita pró-eutetóide e estruturas de bainita são misturadas.

Exemplos

(Exemplo 1)

[00206] A Tabela 1 mostra, com relação a cada um dos trilhos de aço de acordo com a presente invenção, composição química, condições de tratamento térmico e laminação a quente, a microestrutura da porção dianteira em uma profundidade de 5 mm da sua superfície, o número e a posição de medição dos blocos de perlita tendo tamanhos de grão na faixa de 1 a 15 μm , e a dureza da porção dianteira em uma profundidade de 5 mm da sua superfície. A Tabela 1 também mostra a quantidade do desgaste do material na porção dianteira depois que 700.000 ciclos de repetição do teste de desgaste Nishihara são impostos sob a condição de resfriamento forçado como mostrado na figura 4, e o resultado do ensaio de tração na porção dianteira. Na figura 4, o numeral de referência 8 indica uma peça de teste de trilho, 9 uma peça de roda complementar e 10 um bico de resfriamento.

[00207] A Tabela 2 mostra, com relação a cada um dos trilhos de aço comparativos, composição química, condições de tratamento térmico e laminação a quente, a microestrutura da porção dianteira em uma profundidade de 5 mm da sua superfície, o número e a posição de medição dos blocos de perlita tendo tamanhos de grão na faixa de 1 a 15 μm , e a dureza da porção dianteira em uma profundidade de 5 mm da sua superfície. A Tabela 2 também mostra a quantidade do desgaste do material na porção dianteira depois que 700.000 ciclos de

repetição do teste de desgaste Nishihara são impostos sob a condição de resfriamento forçado como mostrado na figura 4, e o resultado do ensaio de tração na porção dianteira.

[00208] Observe que qualquer um dos trilhos de aço listados nas Tabelas 1 e 2 foi produzido sob as condições de um período de tempo de 180 segundos da laminação a quente ao tratamento térmico e a razão de redução de área de 6% na passagem final da laminação a quente de acabamento.

[00209] Os trilhos listados nas tabelas são como segue:

∞ Trilhos de aço de acordo com a presente invenção (12 trilhos), Símbolos 1 a 12

[00210] Os trilhos de aço perlítico excelentes na resistência ao desgaste e ductilidade possuindo composição química nas faixas anteriormente mencionadas, caracterizados pelo fato de que o número dos blocos de perlita possuindo tamanhos de grão na faixa de 1 a 15 μm é 200 ou mais por 0,2 mm^2 do campo de observação pelo menos em uma parte da região até uma profundidade de 10 mm da superfície dos cantos e topo da porção dianteira.

∞ Trilhos de aço comparativos (10 trilhos), Símbolos 13 a 22.

[00211] Símbolos 13 a 16 (4 trilhos): os trilhos de aço comparativos, onde as quantidades de C, Si, Mn na formação de ligas estão fora das faixas respectivas de acordo com as reivindicações da presente invenção.

[00212] Símbolos 17 a 22 (6 trilhos): os trilhos de aço comparativos possuindo a composição química nas faixas anteriormente mencionadas, onde o número dos blocos de perlita tendo tamanhos de grão na faixa de 1 a 15 μm é menor do que 200 por 0,2 mm^2 do campo de observação pelo menos em uma parte da região até uma profundidade de 10 mm da superfície dos cantos e topo da porção dianteira.

[00213] Aqui, são fornecidas as explicações quanto aos desenhos

anexos a ele. A figura 3 é uma ilustração mostrando, em um corte, as denominações das diferentes posições na superfície da porção dianteira de um trilho de aço perlítico excelente na resistência ao desgaste e ductilidade de acordo com a presente invenção e a região onde a resistência ao desgaste é necessária. A figura 4 é uma ilustração mostrando um esboço de um aparelho de teste de desgaste Nishihara. Na figura 4, o numeral de referência 8 indica uma peça de teste de trilho, 9 uma peça de roda complementar e 10 um bico de resfriamento. A figura 5 é uma ilustração mostrando a posição da qual a peça de teste para o teste de desgaste citado nas Tabelas 1 e 2 é recortada. A figura 6 é uma ilustração mostrando a posição da qual a peça de teste para o ensaio de tração citado nas Tabelas 1 e 2 é recortada.

[00214] Ademais, a figura 7 é um gráfico mostrando a relação entre os teors de carbono e as quantidades da perda por desgaste nos resultados do teste de desgaste dos trilhos de aço de acordo com a presente invenção mostrados na Tabela 1 e os trilhos de aço comparativos mostrados na Tabela 2, e a figura 8 é um gráfico mostrando a relação entre os teors de carbono e os valores de alongamento total nos resultados do ensaio de tração dos trilhos de aço de acordo com a presente invenção mostrados na Tabela 1 e os trilhos de aço comparativos mostrados na Tabela 2.

[00215] Os testes foram executados sob as seguintes condições:

∞ Teste de desgaste da porção dianteira

[00216] Equipamento de teste: equipamento de teste de desgaste Nishihara (ver figura 4)

[00217] Forma da peça de teste: forma de disco (30 mm de diâmetro externo, 8 mm de espessura)

[00218] Posição de usinagem da peça de teste: 2 mm na profundidade da superfície da porção superior dianteira do trilho (ver figura 5)

[00219] Carga de teste: 686 N (pressão da superfície de contato

640 Mpa)

- [00220] Razão de escorregamento: 20%.
- [00221] Peça da roda complementar: aço perlítico (Hv 380)
- [00222] Atmosfera: ar
- [00223] Resfriamento: resfriamento forçado por ar comprimido (taxa de fluxo: 100 NI/minuto)
- [00224] Ciclo de repetição: 700.000 ciclos
- [00225] Ensaio de tração da porção dianteira
- [00226] Equipamento de teste: equipamento de ensaio de tração universal compacto
- [00227] Forma da peça de teste: peça de teste JIS N° 4 equivalente;
- [00228] comprimento da porção paralela, 25 mm;
- [00229] diâmetro da porção paralela, 6 mm;
- [00230] comprimento do calibre para medição do alongamento, 21 mm
- [00231] Posição de usinagem da peça de teste: 5 mm em profundidade da superfície da porção superior dianteira do trilho (ver figura 6)
- [00232] Velocidade de deformação: 10 mm/min
- [00233] Temperatura de teste: temperatura ambiente (20°C)
- [00234] Como observado nas Tabelas 1 e 2, nos casos dos trilhos de aço de acordo com a presente invenção em contraste com os casos dos trilhos de aço comparativos, estruturas de cementita pró-eutetóide, estruturas de ferrita pró-eutetóide, estruturas de martensita e assim por diante prejudiciais para a resistência ao desgaste e ductilidade do trilho não se formaram e a resistência ao desgaste e ductilidade foram boas como resultado do controle das quantidades de adição de C, Si e Mn dentro das faixas prescritas respectivas.
- [00235] Além disso, como observado na figura 7, nos casos dos trilhos de aço de acordo com a presente invenção em contraste com os

casos dos trilhos de aço comparativos, a resistência ao desgaste aperfeiçoou como resultado do controle dos teors de carbono dentro da faixa prescrita. Em particular, nos casos dos trilhos de aço tendo teors de carbono acima de 0,85% (Símbolos 5 a 12) de acordo com a presente invenção em contraste com os casos dos trilhos de aço tendo teors de carbono de 0,85% ou menos (Símbolos 1 a 4) de acordo com a presente invenção, a resistência ao desgaste aperfeiçoou mais.

[00236] Além disso, como observado na figura 8, nos casos dos trilhos de aço de acordo com a presente invenção em contraste com os casos dos trilhos de aço comparativos, a ductilidade das porções dianteiras aperfeiçoou como resultado do controle dos números dos blocos de perlita tendo tamanhos de grão na faixa de 1 a 15 μ m. Dessa maneira, foi possível prevenir fraturas tal como a quebra do trilho em regiões frias.

Tabela 1

Classif- cação do Tritino	Sint- bolo	Aço	Composição química (% em massa)				Condições de tratamento térmico e laminação a quente	Morfos- tura da porção dentária (5 mm de profun- dade da superfície dentária)	Número dos blocos de perfis 1 a 15 mm no lami- nho do grão (por 0,2 mm ²) posição de medição	Dureza da porção dentária (5 mm de profundidade da superfície dentária) (HV 10 kgf)	Quantia- de de desgaste da porção dentária (g)	Resultado do ensaio de tração da porção dentária	Avergü- mento total (%)
			C	Si	Mn	Conteúdo de Ca e Mg							
Tritino Invertido	1	1	0,68	0,25	0,80	NE 0,15	Razão da redução de área da laminação final: 13% Temperatura final da laminação: 940°C Taxa de resfriamento acelerado: 50°C/s	Perda	405	335	1,35	22,5	
			2	0,75	0,15	1,31	Ca: 0,15	Razão da redução de área da laminação final: 10% Temperatura final da laminação: 950°C Taxa de resfriamento acelerado: 40°C/s	Perda	231	358	1,24	18,3
			3	0,80	0,30	0,98		Temperatura de resfriamento: 870°C Taxa de resfriamento acelerado: 70°C/s	Perda	755	395	1,15	20,5
			4	0,85	0,45	1,00	Mn: 0,02	Razão da redução de área da laminação final: 9% temperatura final da laminação: 940°C taxa de resfriamento acelerado: 40°C/s	Perda	321	405	1,08	16,0
			5	0,87	0,52	1,15	Mg: 0,0021	Razão da redução de área da laminação final: 12% Temperatura final da laminação: 930°C Taxa de resfriamento acelerado: 50°C/s	Perda	380	415	0,88	15,8
			6	0,91	0,25	0,60	Ca: 0,0012	Razão da redução de área da laminação final: 9% Temperatura final da laminação: 900°C Taxa de resfriamento acelerado: 50°C/s	Perda	212	385	0,85	14,5
			7	0,94	0,75	0,80	v: 0,04	Razão da redução de área da laminação final: 8% Temperatura final da laminação: 960°C Taxa de resfriamento acelerado: 50°C/s	Perda	248	389	0,75	12,9

Tabela 1 – Continuação...

Classif- capítulo Título	Símbolo	Aço	Composição química (% em massa)				Condições de tratamento térmico e laminação	Microes- tura da porção dianteira (5 mm de profundi- dade da superfície dianteira)	Número dos blocos de perla 1 a 15 em no branco do grão (por 0,2 mm ² posição de medição)	Dureza de perção dianteira (5 mm de profundidade da superfície dianteira)(Hv 10 kgf)	Quantia- de de desgaste da porção dianteira (g)	Resultado de ensaio de tração da porção dianteira Averg- mento total (%)
			C	Si	Mn	Ca/Mg/V/Nb/Si Co/Cu/Ni/Ti Mo/Cr/Al/Zr						
	8	8	1,01	0,81	1,05	B: 0,0012	Razão da redução de áreas da laminação final: 11% Temperatura final da laminação: 960°C Taxa de resfriamento acelerado: 6°C/s	Perla	285	448	0,59	11,9
	9	9	1,04	0,41	0,75	Cr: 0,21	Razão da redução de áreas da laminação final: 10% Temperatura final da laminação: 960°C Taxa de resfriamento acelerado: 5°C/s	Perla	285	422	0,62	10,9
	10	10	1,10	0,45	1,65	Zr: 0,0015 Nb: 0,018	Razão da redução de áreas da laminação final: 15% Temperatura final da laminação: 935°C Taxa de resfriamento acelerado: 6°C/s	Perla	348	452	0,52	11,0
Título Invertido	11	11	1,20	1,21	0,65	Ti: 0,0130 Al: 0,0400	Razão da redução de áreas da laminação final: 10% Temperatura final da laminação: 920°C Taxa de resfriamento acelerado: 8°C/s	Perla	325	478	0,36	10,0
	12	12	1,38	1,89	0,20	Al: 0,8	Temperatura de resquecimento: 900°C Taxa de resfriamento acelerado: 10°C/s	Perla	574	415	0,30	11,5

Nota: o equilíbrio da composição química é Fe e impurezas inevitáveis.

Tabela 2

Classif- cação do Tijolo	Símbolo	Aço	composição química (% em massa)				Condições de tratamento (temperatura de laminação a quente)	microes- tura da porção dianteria (5 mm de profundi- dade da superfície dianteria)	número dos blocos de perilla 1 a 15 -mm no lambebo do grão (por 0,2 mm ³ posi- ção de medição)	dureza da porção dianteria (5 mm de profundi- dade da superfície dianteria) (Hv-10 kg)	quantidade de desgaste da porção dianteria (g)	resultado do ensaio de tração da porção diante- ra
			C	Si	Mn	Ca/Mg/Vi/Ni/Sr/Bi Co/Cu/Ni/Ti Mg/Ca/Al/Zr						
Tijolo invertido	13	13	0,80	0,25	0,80	Ni 0,15	Razão de redução de área da laminação final: 13% Temperatura final da laminação: 940C Taxa de resfriamento acelerado: 30Cs	Perilla + tema pró- eulética	308 5 mm em profundi- dade da superfície dianteria	315	<u>Pequeno</u> <u>teor de</u> <u>carbono</u> <u>grande</u> <u>desgaste</u> 1,72	22,0
	14	14	1,45	1,75	0,20	Al 0,18	Razão de redução de área da laminação final: 9% Temperatura final da laminação: 970C Taxa de resfriamento acelerado: 50Cs	Perilla + tema pró- eulética	225 3 mm em profundi- dade da superfície dianteria	375	0,24	<u>Cementita pró- eulética</u> <u>formada ></u> <u>pequena dióxido</u> <u>óxido</u> 8,9
	15	15	0,87	2,15	1,16	Mg 0,0015 Ca 0,0012	Razão de redução de área da laminação final: 12% Temperatura final da laminação: 930C Taxa de resfriamento acelerado: 50Cs	Perilla	370 3 mm em profundi- dade da superfície dianteria	435	0,90	<u>Silicatos</u> <u>estrutural fraco</u> <u>pequena dióxido</u> <u>óxido</u> 12,0
	16	16	0,75	0,16	2,25	Cr: 0,16	Razão de redução de área da laminação final: 10% Temperatura final da laminação: 940C Taxa de resfriamento acelerado: 40C/s	Perilla	240 4 mm em profundi- dade da superfície dianteria	528	<u>Martensita</u> <u>formada</u> <u>grande</u> <u>desgaste</u> 2,45	<u>Martensita</u> <u>formada</u> <u>pequena dióxido</u> <u>óxido</u> 5,2

Classif- capítulo Título	Símbolo	Aço	composição química (% em massa)				Condições de tratamento térmico e laminação	microes- tura da porção diâmetro (5 mm de profund- idade da superfície diâmetro)	número dos blocos de perfil 1 a 15 mm no tamanho do grão (por 0,2 mm ² posição de medida)	dureza da porção diâmetro (5 mm de profundi- dade da superfície diâmetro) (HV-10 kg)	quantidade de desgaste da porção diâmetro (g)	resultado do ensaio de tracção da porção diâmet- ro
			C	Si	Mn	Ca/Mg/V/Ni/Si/B Co/Cu/Ni/Ti Mo/Cr/Al/Zr						
Título Invertido	21	21	1,20	1,15	0,80	Ti: 0,0125 Al: 0,0300	Razão da redução de área da laminação final: 5% Temperatura final da laminação: 920°C Taxa de resfriamento acelerado: 8°C/s	Perla	175	480	0,34	blocos finos de perfil <u>diminui-</u> ram -> <u>peque-</u> <u>na dimensão</u> 7,8
	22	22	1,38	1,75	0,25	Al: 0,15	Temperatura final da laminação: Taxa de resfriamento acelerado: 6°C/s	Perla	58	425	0,34	blocos finos de perfil <u>diminui-</u> ram -> <u>peque-</u> <u>na dimensão</u> 6,5

Nota: o equilíbrio da composição química é Fe e impurezas inevitáveis.

(Exemplo 2)

[00237] A Tabela 3 mostra, com relação a cada um dos trilhos de aço de acordo com a presente invenção, composição química, condições de tratamento térmico e laminação, a microestrutura da porção dianteira em uma profundidade de 5 mm da sua superfície, o número e a posição de medição dos blocos de perlita tendo tamanhos de grão na faixa de 1 a 15 μm , e a dureza da porção dianteira em uma profundidade de 5 mm da sua superfície. A Tabela 3 também mostra a quantidade do desgaste do material na porção dianteira depois que 700.000 ciclos de repetição do teste de desgaste Nishihara são impostos sob a condição de resfriamento forçado como mostrado na figura 4, e o resultado do ensaio de tração na porção dianteira.

[00238] A Tabela 4 mostra, com relação a cada um dos trilhos de aço comparativos, composição química, condições de tratamento térmico e laminação a quente, a microestrutura da porção dianteira em uma profundidade de 5 mm da sua superfície, o número e a posição de medição dos blocos de perlita tendo tamanhos de grão na faixa de 1 a 15 μm , e a dureza da porção dianteira em uma profundidade de 5 mm da sua superfície. A Tabela 4 também mostra a quantidade do desgaste do material na porção dianteira depois que 700.000 ciclos de repetição do teste de desgaste Nishihara são impostos sob a condição de resfriamento forçado como mostrado na figura 4, e o resultado do ensaio de tração na porção dianteira.

[00239] Observe que qualquer um dos trilhos de aço listados nas Tabelas 3 e 4 foi produzido sob a condição de razão de redução de área de 6% na passagem final da laminação a quente de acabamento.

[00240] Os trilhos listados nas tabelas são como segue:

∞ Trilhos de aço de acordo com a presente invenção (16 trilhos), Símbolos 23 a 38

[00241] Os trilhos de aço perlítico excelentes na resistência ao des-

gaste e ductilidade possuindo composição química nas faixas anteriormente mencionadas, caracterizados pelo fato de que o número dos blocos de perlita possuindo tamanhos de grão na faixa de 1 a 15 μm é 200 ou mais por 0,2 mm^2 do campo de observação pelo menos em uma parte da região até uma profundidade de 10 mm da superfície dos cantos e topo da porção dianteira.

∞ Trilhos de aço comparativos (16 trilhos), Símbolos 39 a 54.

[00242] Símbolos 39 a 42 (4 trilhos): os trilhos de aço comparativos, onde as quantidades de adição de C, Si, na formação de ligas estavam fora das faixas respectivas de acordo com as reivindicações da presente invenção.

[00243] Símbolo 43 (1 trilho): o trilho de aço comparativo possuindo o comprimento do trilho fora da faixa de acordo com as reivindicações da presente invenção.

[00244] Símbolos 44 e 47 (2 trilhos): os trilhos de aço comparativos, onde o período de tempo do fim da laminação ao começo do resfriamento acelerado está fora da faixa de acordo com as reivindicações da presente invenção.

[00245] Símbolos 45,46 e 48 (3 trilhos): os trilhos de aço comparativos, onde a taxa de resfriamento acelerado na porção dianteira está fora da faixa de acordo com as reivindicações da presente invenção.

[00246] Símbolos 49 a 54 (6 trilhos): os trilhos de aço comparativos possuindo a composição química nas faixas anteriormente mencionadas, onde o número dos blocos de perlita tendo tamanhos de grão na faixa de 1 a 15 μm é menor do que 200 por 0,2 mm^2 do campo de observação pelo menos em uma parte da região até uma profundidade de 10 mm da superfície dos cantos e topo da porção dianteira.

[00247] Os testes foram executados sob as mesmas condições como no Exemplo 1.

[00248] Como observado nas Tabelas 3 e 4, nos casos dos trilhos

de aço de acordo com a presente invenção em contraste com os casos dos trilhos de aço comparativos, estruturas de cementita pró-eutetóide, estruturas de ferrita pró-eutetóide, estruturas de martensita e assim por diante prejudiciais para a resistência ao desgaste e ductilidade do trilho não se formaram e a resistência ao desgaste e ductilidade foram boas como resultado do controle das quantidades de adição de C, Si, Mn na formação de ligas, os comprimentos do trilho na laminação e os períodos de tempo do fim da laminação ao começo do resfriamento acelerado dentro das faixas prescritas respectivas.

[00249] Além disso, como observado nas Tabelas 3 e 4, nos casos dos trilhos de aço de acordo com a presente invenção em contraste com os casos dos trilhos de aço comparativos, a ductilidade das porções dianteira do trilho aperfeiçoou como resultado do controle dos números dos blocos de perlita tendo tamanhos de grão na faixa de 1 a 15 μm . Dessa maneira, foi possível prevenir fraturas tal como a quebra do trilho em regiões frias.

Tabela 3

Classif- cação do tubo	Símbolo	Aço	Composição química (% em massa)				Comportamento do tubo na laminagem a quente (m)	Tempo do fim da laminação a quente ao começo do refinamento (s)	Condições do refinamento acelerado da porção dente- ria		Máximas- altura da porção dentária (5 mm de profun- didade da superfície dentária)	Número dos blocos de perita 1 a 15 mm no lami- nho do aço (por 0,2 mm ²) posição de medição	Dureza da porção dentária (5 mm de profundidade da superfície dentária) (HV 10 kgf)	Quantia- de de desgaste da porção dentária (g)	Resultado de ensaio de tração de porção dentária Average- mento (da (%)
			C	Si	Mn	Ca/Mg/V/Ni/Si/ Co/Cu/Ni/Ti Mg/Ca/Al/Zr			Temperatura de refinamento Base: tempo- rádua final do refinamento	Perda					
Tubo Invertido	23	23	0,65	-	-	198	198	970s	530 °C	Perda	223	305	1,46	22,5	
															3 mm em profundidade da superfície dentária
	24	24	0,68	0,25	0,80	Ni 0,15	188	185	570s	Perda	445	335	1,35	23,5	
															5 mm em profundidade da superfície dentária
	25	25	0,75	0,15	1,31	Cu 0,15	165	170	470s	Perda	231	358	1,24	18,6	
															4 mm em profundidade da superfície dentária
	26	26	0,80	0,30	0,98	-	175	185	770s	Perda	285	395	1,15	14,0	
															8 mm em profundidade da superfície dentária
	27	27	0,85	0,45	1,00	Mn 0,02 Co 0,21	150	180	670s	Perda	351	405	1,08	16,5	
															6 mm em profundidade da superfície dentária
	28	28	0,87	0,52	1,15	Mg 0,0021 Ca 0,0012	178	178	570s	Perda	405	415	0,91	18,2	
															3 mm em profundidade da superfície dentária
								475 °C							

Tabela 3 - Continuação...

Classifi- cação do título	Símbolo	Aço	Composição química (% em massa)			Comprimento do título na laminção a quente (m)	Tempo do fim da laminção ao começo do resfriamento acelerado (s)	Condições do resfriamento acelerado da porção diente- ra	Microes- trutura da porção diente (5 mm de profundidade da superfície dienteira)	Número dos blocos de perla 1 a 15 em norma rho do aço (por 0,2 mm ²) posição de medição	Dureza da porção dienteira (5 mm de profundidade da superfície dienteira) Hv 10 kgf	Quantia- de de desgaste da porção dienteira (g)	Resultado do ensaio de tração da porção dienteira	Alonga- mento total (%)
			C	Si	Mn									
Título Invertido	29	29	0,91	0,25	0,60	V: 0,02 N: 0,0080	155	158	670's	Perla	325	405	0,83	15,0
	30	30	0,91	0,25	0,60	V: 0,04	155	156	570's	Perla	242	385	0,65	14,8
									600 °C					
	31	31	0,94	0,75	0,80	Cr: 0,45	165	166	370's	Perla	268	389	0,75	13,0
									520 °C					
	32	32	1,01	-	-	-	165	135	1220's	Perla	225	398	0,65	10,8
									450 °C					
	33	33	1,01	0,40	1,05	Cr: 0,25	165	165	720's	Perla	305	448	0,60	11,8
									450 °C					
									1070's					
	34	34	1,04	0,41	0,75	Cr: 0,21	150	115	1070's	Perla	285	432	0,60	12,0
									485 °C					
35	35	1,10	0,45	1,65	Zr: 0,0015 Nb: 0,018	135	115	670's	Perla	376	462	0,50	10,5	
								485 °C						

Tabela 3 - Continuação...

Classif- cação do tubo	Símbolo	Aço	Composição química (% em massa)			Comprimento do tubo na laminção a quente (m)	Tempo do fim da laminção ao começo do resfriamento acelerado (s)	Condições do resfriamento acelerado da porção diante- ra		Microes- trutura da porção dianteira (5 mm de profundidade da superfície dianteira)	Número dos blocos de perla 1 a 15 em uma área de 100 mm ² (por 0,2 mm ²) posição de medição	Dureza da porção dianteira (5 mm de profundidade da superfície dianteira) Hv 10 kgf	Quantia- de de desgaste da porção dianteira (g)	Resultado de ensaio de tração da porção dianteira	Alonga- mento total (%)
			C	Si	Mn			Temperatura de resfriamento Base: tempo- natural final do resfriamento	Temperatura de resfriamento Base: tempo- natural final do resfriamento						
Tubo Invertido	36	36	1,20	1,21	0,65	120	58	120°Cs	Perla	345	488	0,38	10,2		
					Al: 0,0400			465 °C							
Tubo Invertido	37	37	1,38	1,89	0,20	110	25	180°Cs	Perla	407	489	0,31	10,2		
					Al: 0,18			465 °C							
Tubo Invertido	38	38	1,38	0,15	0,20	100	15	250°Cs	Perla	305	465	0,35	10,0		
					B: 0,012			465 °C							

Nota: o equilíbrio da composição química é Fe e impurezas inevitáveis.

Tabela 4

Classif- cação do tubo	Símbolo	Aço	Composição química (% em massa)		Comprimido do tubo na laminação a quente (m)	Tempo do fim da lamina- ção a quente ao começo do resfri- mento acelera- do (s)	Condições do resfriamento acelerado da porção dianteira T ₀₀₁ (taxa de resfriamento Base tempera- ra final do resfri- amento)	Microestrutura da porção dianteira (5 mm de pro- fundidade da superfície diantei- ra)	Número dos blocos de perfila 1 a 15 em no laminação do grão (por 0,2 mm ²) posição de medi- ção	Dureza da porção dianteira (5 mm de profundidade da superfície dianteira) (HV 10 kgf)	Quantidade de desgaste da porção dianteira (g)	Resultado do ensayo de tração da porção diantei- ra			
			C	Si									Mn	Al	
Tubo compara- tivo	39	39	0,60	0,25	0,80	Ni 0,12	150	198	30C/5	perfila + forma pré-estática	260	2 mm em profundi- dade da superfície dianteira	315	menor teor de carbono, grande desgaste 1,72	22,0
	40	40	1,45	1,75	0,20	Al 0,18	105	100	50C/5	perfila + cementi- ta pré-estática	320	3 mm em profundi- dade da superfície dianteira	435	0,30	Si excessivo, estrutura fragil, pequena ducti- lidade 9,0
	43	34	1,04	0,41	0,75	Cr 0,21	250	115	10C/5	perfila + cementi- ta pré-estática	225	3 mm em profundi- dade da superfície dianteira	402	cematita pró- estática forma- da, grande desgaste 1,95	materiais pró- estáticos forma- da, pequena ductilidade 7,8

Tabela 4 – Continuação...

Classif- cação do filho	Símbolo	Aço	Composição química (% em massa)		Comprimento do filho na laminação a quente (m)	Tempo do fim da lamina- ção no começo do resista- mento acelera- do (s)	Condições do resfriamento da porção dianteira	Microestrutura da porção dianteira (5 mm de pro- fundidade da superfície diânte- ra)	Número dos blocos de perfil 1 a 15 em no laminação do grão (por 0,2 mm ²) posição de medi- ção	Dureza da porção dianteira (5 mm de profundidade da superfície dianteira) (HV 10 kgf)	Quantidade de desgaste da porção dianteira (g)	Resultado do ensayo de tração da porção diânte- ra			
			C	Si									Mn	Al	
44	36	120	1,21	0,65	Ti: 0,0130 Al: 0,0400	120	265	1270's	perfil + traço de cimentila pró- elétrica nas extremidades do filho	215	2 mm em profundi- dade da superfície dianteira	478	cimentila pró- elétrica forma- da grande desgaste 1,30	manterida pró- elétrica forma- da pequena ductibilidade 6,9	
															45
Tilho compara- tivo	46	30	0,91	0,25	0,80	V: 0,04	155	156	3570's 500 °C	perfil + mantem- sita	286	1 mm em profundi- dade da superfície dianteira	548	manterida tor- mada grande desgaste 2,25	manterida forma- da pequena ductibilidade 5,0

Nota: o equilíbrio da composição química e Fe e impurezas inevitáveis.

Tabela 5

Classif- cação do tíbio	Símbolo	Aço	Composição química (% em massa)				Comprimen- to do tíbio na lamina- ção a quente (m)	Tempo do frit da lami- nação a quente ao começo do resfriamento acelerado (s)	Condições do resfriamento acelerado da porção dentária		Microestru- ra da porção dentária (5 mm de profundidade da superfície dentária)	Número dos blocos de perla 1 a 15 mm no banho do grão (por 0,2 mm ³ posição de medição)	Dureza da porção dentá- ria (5 mm de profundidade da superfície dentária) (HV 10 kgf)	Quantida- de de desgaste da porção dentária (g)	Resultado do ensayo de tração da porção dentária
			C	Si	Mn	Zr			Topo (taxa de resfriamento Base: temperatu- ra final do resfri- amento)	Base (temperatura de resfriamento dentária)					
Tíbio invertido	47	23	0,65	·	·	198	300	9°C/s	Perla	152	302	1,46	bloco de perla coalescido -> pe- quena ductilidade 18,5	bloco de perla coalescido -> pe- quena ductilidade 10,5	bloco de perla coalescido -> pe- quena ductilidade 13,5
	48	31	0,94	0,75	0,80	Cr-0,45	166	0,5°C/s	Perla	160	280	1,25	bloco de perla coalescido -> pe- quena ductilidade 10,5		
														520 C	Perla
	49	29	0,91	0,25	0,60	V-0,02 N-0,0080	155	215	6°C/s	Perla	235	405	0,83		
														515 C	Perla
50	32	1,01	·	·	166	205	12°C/s	Perla	205	398	0,66	bloco de perla coalescido -> pe- quena ductilidade 10,0			
													450C	Perla	205
51	33	1,01	0,40	1,05	Cr-0,25	166	235	7°C/s	Perla	210	448	0,60			
													450 C	Perla	210

Tabela 5. Continuação...

Classif- cação do título	Símbolo	Aço	Composição química (% em massa)				Comprimen- to do título na lamina- ção a quente (m)	Tempo do frit da lami- nação no começo do resfriamento (s)	Condições do resfriamento acelerado da porção diametra		Microstrutura da porção diametra (5 mm de profundidade da superfície diametra)	Número dos blocos de perita 1 a 15 mm no barrimento do grão (por 0,2 mm ² posição de medida)	Dureza da porção diametra (5 mm de profundidade da superfície diametra) (HV 10 kgf)	Quantidade de de desgaste da porção diametra (g)	Resultado do ensayo de tração da porção diametra
			C	Si	Mn	Outros			Topo (aba de resfriamento Base: tempera- ra final do resfri- amento)						
	52	35	1,10	0,45	1,65	Zr: 0,0015 Nb: 0,018	135	225	8°C/s	Perita	234	462	0,51	<u>blocos de perita</u> <u>finos diminuídos</u> → <u>pequena ductilidade</u> 9,8	
Título inventado	53	36	1,20	1,21	0,65	Ti: 0,0130 Al: 0,0000	120	221	120°C/s	Perita	215	460	0,39	<u>blocos de perita</u> <u>finos diminuídos</u> → <u>pequena ductilidade</u> 9,5	
									465 °C						
	54	37	1,38	1,99	0,20	Al: 0,18	110	201	18°C/s	Perita	251	480	0,34	<u>blocos de perita</u> <u>finos diminuídos</u> → <u>pequena ductilidade</u> 9,2	
								465 °C							

Nota: o equilíbrio da composição química é Fe e impurezas inevitáveis.

(Exemplo 3)

[00250] Os mesmos testes como nos Exemplos 1 e 2 foram executados usando os trilhos de aço do Exemplo 2 mostrados na Tabela 3 e mudando o período de tempo do fim da laminação ao começo do resfriamento acelerado e as condições da laminação a quente como mostrado na Tabela 6.

[00251] Como é evidente a partir da Tabela 6, o alongamento total foi adicionalmente aperfeiçoado nos casos onde os períodos de tempo do fim da laminação ao começo do resfriamento acelerado não foram maiores do que 200 s, 2 ou mais passagens da laminação a quente de acabamento foram aplicadas e os tempos entre as passagens da laminação não foram mais longos do que 10 s.

Tabela 7

Ordem de classificação do título	Símbolo	comprimento na laminação quente	Comprimento na laminação quente					temperatura de laminação C	condições do resfriamento acelerado da porção dentária	profundidade de dentaria em 5mm	Número das bocas de perfil 1 a 15 mm no tamanho do grão (por 0,2 mm) posição de medida	Dureza da dentaria (5 mm de profundidade da dentaria) (HV 0,1kgf)	Quarta de desgaste de dentaria	Resultado do ensaio de tração de dentaria	
			1	2	3	4	5								
64	35	135	115	18	7	3	1	7	920	80Cs 495 C	Perla	398	462	0,50	10,8
65	35	135	115	8	1	8	1	7	920	80Cs 495 C	Perla	435	462	0,50	11,5
66	35	120	53	-	-	-	-	10	900	120Cs 465 C	Perla	385	488	0,38	10,8
67	37	110	25	8	0,5	8	0,5	8	0,5	12	Perla	497	489	0,51	10,6
68	29	155	158	-	-	-	-	5	980	60Cs 515 C	Perla	245	385	0,88	13,1 (razão de redução de área pequena)

Tabela 7- Continuação...

Ordem de priorização	Símbolo	Comentário na aminação quente	Comentário na aminação quente						Temperatura de final de aminação (°C)	Temperatura de base para teste de endurecimento	Profundidade de dente (mm)	Número de blocos de pasta 1 a 15 mm (amplitude do grão por 0,2 mm) (posição de moagem)	Dureza da pasta (5 mm de profundidade de dente da superfície dentária) (HV 0,05)	Quantidade de desgaste de pasta (g)	Resultado do teste de tração da pasta dentária		
			1	2	3	4	5	6									
70	33	165	155	10	2	8	3	8	20	5	90	450 °C	Perda	235	448	0,64	10,5 (razão de redução de área pequena/longo tempo entre passagens)
69	33	165	155	20	15	2	15	7	90	450 °C	Perda	265	448	0,64	11,0 (longo tempo entre passagens)		
																70's	

(Exemplo 4)

[00252] A Tabela 8 mostra, com relação a cada um dos trilhos de aço de acordo com a presente invenção, a composição química, o valor de CE calculado a partir da equação (1) composta da composição química, as condições de produção do bloco (placa) antes da laminação, o método de resfriamento no tratamento térmico do trilho e a microestrutura e o estado da formação da estrutura de cementita pró-eutetóide na porção de alma.

[00253] As tabelas 9 e 10 mostram, com relação a cada um dos trilhos de aço comparativos, a composição química, o valor de CE calculado a partir da equação (1) composta da composição química, as condições de produção do bloco (placa) antes da laminação, o método de resfriamento no tratamento térmico do trilho e a microestrutura e o estado da formação da estrutura de cementita pró-eutetóide na porção de alma.

[00254] Observe que cada um dos trilhos de aço listados nas Tabelas 8, 9 e 10 foi produzido sob as condições de um período de tempo de 180 s da laminação a quente até o tratamento térmico na porção dianteira do trilho e uma razão de redução de área de 6% na passagem final da laminação a quente de acabamento.

[00255] Em cada um desses trilhos, o número dos blocos de perlita tendo tamanhos de grão na faixa de 1 a 15 μm em uma porção de 5 mm em profundidade da porção superior dianteira estava na faixa de 200 a 500 por 0,2 mm^2 do campo de observação.

[00256] Os trilhos listados nas tabelas são como segue:

∞ Trilhos de aço de acordo com a presente invenção (12 trilhos),
Símbolos 71 a 82

[00257] Os trilhos tendo a composição química nas faixas anteriormente mencionadas, onde a quantidade das estruturas de cementita pró-eutetóide formadas é reduzida na porção de alma do trilho, caracte-

terizados pelo fato de que o número das redes de cementita pró-eutetóide (NC) na porção de alma não excede o valor de CE calculado a partir dos teors da composição química anteriormente mencionados.

∞ Trilhos de aço comparativos (11 trilhos), Símbolos 83 a 93

[00258] Símbolos 83 a 88 (6 trilhos): os trilhos de aço comparativos, onde as quantidades de C, Si, Mn, P, S e Cr na formação de ligas estão fora das faixas respectivas de acordo com as reivindicações da presente invenção.

[00259] Símbolos 89 a 93 (5 trilhos): os trilhos de aço comparativos tendo a composição química nas faixas anteriormente mencionadas, onde o número das redes de cementita pró-eutetóide (NC) na porção de alma excede o valor de CE calculado a partir dos teors da composição química anteriormente mencionados.

[00260] Aqui, são fornecidas as explicações com relação aos desenhos anexos a ela. O numeral de referência 5 (a região sombreada com linhas oblíquas) na figura 1 indica a região na qual as estruturas de cementita pró-eutetóide se formam ao longo das faixas de segregação. A figura 2 é uma representação esquemática mostrando o método de avaliação da formação das redes de cementita pró-eutetóide.

[00261] Como observado nas Tabelas 8, 9 e 10, nos casos dos trilhos de aço de acordo com a presente invenção em contraste com os casos dos trilhos de aço comparativos, o número das redes de cementita pró-eutetóide (o número das redes de cementita que se cruzam, NC) que se formam na porção de alma foi reduzido para o valor de CE ou menos como resultado do controle das quantidades de adição de C, Si, Mn, P, S e Cr dentro das faixas prescritas respectivas.

[00262] Além disso, o número das redes de cementita pró-eutetóide (o número das redes de cementita que se cruzam, NC) que se formam na porção de alma foi reduzido para o valor de CE ou menos também como resultado da otimização da redução suave durante a fundição e

aplicação do resfriamento na porção de alma.

[00263] Como declarado acima, o número das redes de cementita pró-eutetóide (o número de grãos de cementita que se cruzam, NC) que se formam na porção de alma foi reduzido para o valor de CE ou menos como resultado do controle das quantidades de adição de C, Si, Mn, P, S e Cr dentro das faixas prescritas respectivas e, além disso, otimizando a redução suave durante a fundição e aplicação do resfriamento na porção de alma. Assim, foi possível prevenir a deterioração da dureza na porção da alma do trilho.

Tabela 8

Classif- cação do tubo	símbolo	composição química (% em massa)						Mo/V/Nb/Bi/Cu/ Ni/Ti/Mg/Ca/Zn	CE*1	condições de fundição e método de resfriamento no tratamento térmico do tubo	microestrutura da porção de alma*2	formação da estrutura de cemen- tite pró-eutética na porção de alma*3
		C	Si	Mn	P	S	Cr					
Tubo Invertido	71	0,86	0,25	1,02	0,015	0,010	0,21	N:0,0085	20	Otimização da redução da espessura leve durante a fusão	perla + traço de ce- mentite pró-eutética	16
	72	0,90	0,15	0,65	0,028	0,015	0,25		27	Otimização da redução da espessura leve durante a fusão	perla + traço de ce- mentite pró-eutética	25
	73	0,93	0,56	1,75	0,015	0,011	0,10	Ni:0,20	25	Otimização da redução da espessura leve durante a fusão	perla + traço de ce- mentite pró-eutética	20
	74	0,95	0,60	0,11	0,011	0,010	0,78		26	Otimização da redução da espessura leve durante a fusão	perla + traço de ce- mentite pró-eutética	21
	75	0,98	0,40	0,70	0,018	0,024	0,25		26	Otimização da redução da espessura leve durante a fusão	perla + traço de ce- mentite pró-eutética	22
	76	1,00	1,35	0,45	0,012	0,008	0,15	Co:0,15 Mo:0,03	8	Otimização da redução da espessura leve durante a fusão, resfriamento da porção de alma	perla + traço de ce- mentite pró-eutética	5
	77	1,05	0,50	1,00	0,008	0,010	0,35	Al:0,10 Cu:0,25	29	Resfriamento da porção de alma	perla + traço de ce- mentite pró-eutética	27
	78	1,10	1,25	0,65	0,010	0,015	0,12	Mg:0,0015 Ca:0,0015	15	Otimização da redução da espessura leve durante a fusão, resfriamento da porção de alma	perla + traço de ce- mentite pró-eutética	10
79	1,13	0,80	0,95	0,012	0,019	0,06	B:0,0012 Ti:0,0120	24	Resfriamento da porção de alma	perla + traço de ce- mentite pró-eutética	18	
80	1,15	0,70	0,45	0,012	0,009	0,15	Nb:0,011 V:0,02	23	Resfriamento da porção de alma	perla + traço de ce- mentite pró-eutética	18	
81	1,19	1,80	0,55	0,011	0,012	0,08	Zr:0,0015 Al:0,05	13	Otimização da redução da espessura leve durante a fusão, resfriamento da porção de alma	perla + traço de ce- mentite pró-eutética	7	

Tabela 6 – Continuação...

Classif- cação do filho	composição química (% em massa)							CE *1	condições de produção da lâmina e método de resfriamento no tratamento térmico do filho	microestrutura da porção de alma *2	formação da estrutura de cemen- ta pré-estrelada na porção de alma *3
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo/V/Nb/Bi/Cu/ Ni/Ti/Mg/Ca/W/Zr/N				
Tipo invertido	82	1,35	1,51	0,35	0,012	0,012	0,15	26	Otimização da redução da espessura leve durante a fusão, resfriamento da porção de alma	perlas + traço de ce- menta pré-estrelada	22

Notas: equilíbrio da composição química e Fe e impurezas negligíveis.

*1- CE = 60% em massa C + 10% em massa Si + 10% em massa Mn + 500% em massa P + 50% em massa S + 30% em massa Cr - 54

*2- Porção no centro da linha central da alma é observada com um microscópio ótico.

*3- Porção onde as estruturas de cementsita pré-estrelada são expostas no centro da linha central da alma é observada com um microscópio ótico e o número de interseções das redes de cementsita pré-estrelada com dois segmentos de linha cada um de 300 µm em comprimento se cruzando em ângulos retos é contado sob uma ampliação de 200 (ver Figura 2). O número das redes de cementsita pré-estrelada que se cruzam é definido como o total das interseções nos dois segmentos de linha.

Tabela 9

Classif- cação do tipo	símbolo	composição química (% em massa)							CE*1	condições de fundição e método de resfriamento no tratamento térmico do tipo	microestrutura da porção de alma 2	formação da estrutura de cemen- tite pró-eutética na porção de alma 3	
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo/V/Ni/Bi/Cu/ Ni/Ti/Mg/Ca/Zn				número das redes de cementita pró-eutética (NC)	
Tipo compara- tivo	83	1,45	1,70	0,45	0,015	0,012	0,08	Zr:0,0020 Al:0,04	31	Otimização da redução da espessura leve durante a fusão, resfriamento da porção de alma	perla + traço de ce- mentita pró-eutética	39	Segregação excessiva na porção de alma (formação excessiva de cementita)
		1,00	2,51	0,51	0,015	0,015	0,25	Co:0,25	2	Otimização da redução da espessura leve durante a fusão, resfriamento da porção de alma	perla + traço de ce- mentita pró-eutética	2	
		0,93	0,90	2,85	0,015	0,020	0,15		38	Otimização da redução da espessura leve durante a fusão	perla + traço de ce- mentita pró-eutética	45	Segregação excessiva na porção de alma (formação excessiva de cementita)
		0,90	0,25	0,68	0,035	0,015	0,25		30	Otimização da redução da espessura leve durante a fusão	perla + traço de ce- mentita pró-eutética	35	Segregação excessiva na porção de alma (formação excessiva de cementita)
	87	0,98	0,42	0,65	0,019	0,032	0,25		26	Otimização da redução da espessura leve durante a fusão	perla + traço de ce- mentita pró-eutética	35	Segregação excessiva na porção de alma (formação excessiva de cementita)
		0,95	0,75	0,15	0,012	0,015	1,25		41	Otimização da redução da espessura leve durante a fusão	perla + traço de ce- mentita pró-eutética	52	Segregação excessiva na porção de alma (formação excessiva de cementita)

Tabela 9 – Continuação...

Classif- cação do milo	símbolo	composição química (% em massa)							CE ^{*1}	condições de produção da lâmina e método de resfriamento no tratamento térmico do milo	microestrutura da porção de alma ²	formação da estrutura de cemen- ta pré-alcátala na porção de alma ³
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo/Ni/V/Bi/Cu/ Nb/Ti/Mg/Ca/Zn				
	89	0,98	0,40	0,70	0,018	0,024	0,25	26	Sem controle da redução da espessura leve durante a fusão Nenhum resfriamento da porção de alma no tratamento térmico	perla + traço de ce- mentita pré-alcátala	34 Formação excessiva de cemen- ta pré-alcátala	
	90	1,05	0,50	1,00	0,008	0,010	0,35	29	Sem controle da redução da espessura leve durante a fusão Nenhum resfriamento da porção de alma no tratamento térmico	perla + traço de ce- mentita pré-alcátala	32 Formação excessiva de cemen- ta pré-alcátala	

Notas: equilíbrio da composição química e Fe e impurezas inevitáveis.

*1: CE = 80% em massa C) - 10% em massa Si) + 10% em massa Mn) + 500% em massa P) + 50% em massa S) + 30% em massa Cr) - 54

2: Porção no centro da linha central da alma é observada com um microscópio ótico.

3: Porção onde as estruturas de cementita pré-alcátala são expostas no centro da linha central da alma é observada com um microscópio ótico, e o número de interseções das redes de cementita pré-alcátala com das segmentos de linha cada um de 300 nm em comprimento se cruzando em ângulos retos é contado sob uma ampliação de 200 (ver Figura 2). O número das redes de cementita pré-alcátala que se cruzam é definido como o total das interseções nas duas segmentos de linha.

Clasificación do tipo	símbolo	composição química (% em massa)							CE*1	condições de fundição e método de resfriamento no tratamento térmico do tipo	microestrutura da porção de alma*2	formação da estrutura de cementita pró-eutética na porção de alma*3
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo/V/Nb/Bi/Cu/ Ni/Ti/Mg/Ca/Zn				
Tipo comparativo	91	1.10	1.25	0.65	0.010	0.015	0.12	15	<u>Sem controle da redução da espessura leve durante a fusão</u> Nenhum resfriamento da porção de alma no tratamento térmico	perla + traço de cementita pró-eutética	Z2 Formação excessiva de cementita pró-eutética	
	92	1.15	0.70	0.45	0.012	0.009	0.15	23	<u>Sem controle da redução da espessura leve durante a fusão</u> Nenhum resfriamento da porção de alma no tratamento térmico	perla + traço de cementita pró-eutética	Z3 Formação excessiva de cementita pró-eutética	
	93	1.35	1.51	0.35	0.012	0.012	0.15	26	<u>Sem controle da redução da espessura leve durante a fusão</u> Nenhum resfriamento da porção de alma no tratamento térmico	perla + traço de cementita pró-eutética	Z2 Formação excessiva de cementita pró-eutética	

Notas: equilíbrio da composição química é Fe e impurezas inevitáveis.

*1: CE = 50% em massa C) - 10% em massa Si) + 10% em massa Mn) + 500% em massa P) + 50% em massa S) + 30% em massa Cr) - 54

*2: Porção no centro da linha central da alma é observada com um microscópio ótico.

*3: Porção onde as estruturas de cementita pró-eutética são expostas no centro da linha central da alma é observada com um microscópio ótico, e o número de interseções das redes de cementita pró-eutética com dois segmentos de linha cada um de 500 μ m em comprimento se cruzando em ângulos retos é contado sob uma ampliação de 200 (ver Figure 2). O número das redes de cementita pró-eutética que se cruzam é definido como o total das interseções nos dois segmentos de linha.

(Exemplo 5)

[00264] A Tabela 11 mostra a composição química dos trilhos de aço submetidos aos testes abaixo. Observe que o equilíbrio da composição química especificados na tabela é Fe e impurezas inevitáveis.

[00265] As Tabelas 12 e 13 mostram, com relação a cada um dos trilhos produzidos pelo método de produção de acordo com a presente invenção usando os aços listados na Tabela 11, a temperatura de laminação final, o comprimento da laminação, o período de tempo do fim da laminação ao começo do resfriamento acelerado, as condições do resfriamento acelerado nas porções dianteira, de alma e base do trilho, a microestrutura, o número e a posição de medição dos blocos de perlita possuindo tamanhos de grão na faixa de 1 a 15 μm , o resultado do ensaio de massa cadente, a dureza na porção dianteira e o valor do alongamento total no ensaio de tração da porção dianteira.

[00266] As Tabelas 14 e 15 mostram, com relação a cada um dos trilhos produzidos pelos métodos de produção comparativos usando os aços listados na Tabela 11, a temperatura de laminação final, o comprimento da laminação, o período de tempo do fim da laminação ao começo do resfriamento acelerado, as condições do resfriamento acelerado nas porções dianteira, de alma e base do trilho, a microestrutura, o número e a posição de medição dos blocos de perlita possuindo tamanhos de grão na faixa de 1 a 15 μm , o resultado do ensaio de massa cadente, a dureza na porção dianteira e o valor do alongamento total no ensaio de tração da porção dianteira.

[00267] Os trilhos listados nas tabelas são como segue:

∞ Trilhos tratados com calor de acordo com a presente invenção (11 trilhos), símbolos 94 a 104

[00268] Os trilhos produzidos sob as condições de produção nas faixas anteriormente mencionadas usando os aços possuindo a composição química nas faixas anteriormente mencionadas.

∞ Trilhos tratados com calor comparativos (8 trilhos), símbolos 105 a 112

[00269] Os trilhos produzidos sob as condições de produção fora das faixas anteriormente mencionadas usando os aços possuindo a composição química nas faixas anteriormente mencionadas.

[00270] Observe que cada um dos trilhos de aço listados nas Tabelas 12 a 15 foram produzidos sob a condição da razão de redução de área de 6% na passagem final da laminação a quente de acabamento.

[00271] Os testes foram executados sob as seguintes condições:

∞ Ensaio de massa cadente

[00272] Massa do peso em queda: 907 kg

[00273] Distância entre os suportes: 0,914 m

[00274] Altura de queda: 10,6 m

[00275] Temperatura de teste: temperatura ambiente (20°C)

[00276] Posição do espécime de teste: HT, tensão de tração na porção dianteira do trilho; BT, tensão de tração na porção da base do trilho

∞ Ensaio de tração da porção dianteira

[00277] Equipamento de teste: equipamento de ensaio de tração universal compacto

[00278] Forma da peça de teste: peça de teste JIS N° 4 equivalente;

[00279] comprimento da porção paralela, 25 mm;

[00280] diâmetro da porção paralela, 6 mm;

[00281] comprimento do calibre para medição do alongamento, 21 mm

[00282] Posição de usinagem da peça de teste: 5 mm em profundidade da superfície da porção superior dianteira do trilho no centro da largura

[00283] Velocidade de deformação: 10 mm/min

[00284] Temperatura de teste: temperatura ambiente (20°C)

[00285] Como observado nas Tabelas 12 a 15, nos trilhos de aço tendo altos teores de carbono como listado na Tabela 11, nos casos dos trilhos de aço produzidos pelo método de produção de acordo com a presente invenção onde resfriamento acelerado foi aplicado nas porções dianteira, de alma e base do trilho dentro de um período de tempo prescrito depois do fim da laminação a quente, em contraste com os casos dos trilhos de aço produzidos pelos métodos de produção comparativos, foi possível suprimir a formação das estruturas de cementita pró-eutetóide e assim prevenir a deterioração da resistência por fadiga e dureza.

[00286] Além disso, como observado nas Tabelas 12 a 15, foi possível garantir uma boa resistência ao desgaste na porção dianteira do trilho, a uniformidade da qualidade do material do trilho na direção longitudinal e uma boa ductilidade na porção dianteira do trilho como resultado do controle da taxa de resfriamento acelerado na porção dianteira do trilho, otimizando o comprimento de laminação e controlando a temperatura de laminação final.

[00287] Como declarado acima, no trilho de aço tendo um alto teor de carbono, foi possível: suprimir a formação das estruturas de cementita pró-eutetóide prejudiciais para a ocorrência dos trincamentos por fadiga e trincamentos frágeis pela aplicação do resfriamento acelerado nas porções dianteira, de alma e base do trilho dentro de um período de tempo prescrito depois do fim da laminação a quente na tentativa para suprimir a formação das estruturas de cementita pró-eutetóide nas porções dianteira, de alma e base do trilho; e também garantir uma boa resistência ao desgaste na porção dianteira do trilho, a uniformidade da qualidade do material do trilho na direção longitudinal e uma boa ductilidade na porção dianteira do trilho selecionando otimamente a taxa de resfriamento acelerado na porção dianteira do trilho, o

comprimento do trilho na laminação e a temperatura de laminação final.

Tabela 11

Aço	Composição química (% em massa)	
	C	Si/Mn/Cr/Mo/V/Nb/B/Co/Cu/Ni/Ti/Mg/Ca/Al/Zr/N
43	0,86	Si: 0,35 Mn: 1,00
44	0,90	Si: 0,25 Mn: 0,80 Mo: 0,02
45	0,95	Si: 0,81 Mn: 0,42 Cr: 0,54
46	1,00	
47	1,00	Si: 0,55 Mn: 0,69 Cr: 0,21 Cu: 0,35
48	1,01	Si: 0,75 Mn: 0,45 Cr: 0,45 V: 0,35 N: 0,010
49	1,11	Si: 1,35 Mn: 0,31 Cr: 0,34 Zr: 0,0017
50	1,19	Si: 0,58 Mn: 0,58 Cr: 0,20 Al: 0,08
51	1,35	Si: 0,45 Mn: 0,35 Cr: 0,15 N: 0,0080

Tabela 12

Símbolo	Aço	Temperatura final da laminação da porção dentária *1 (°C)	Comprimento da laminação (m)	Tempo do fim da laminação a quente ao começo do resfriamento acelerado (s)	Condições do resfriamento acelerado		Marshalliza- ra 3	Número dos blocos de perfil de 1 a 15 mm em laminação de aço (por 0,2 mm ²) posição de medição	Ensaio de massa crítica 4 HT: tensão dentária BT: tensão na base	Dureza da porção dentária S (HV)	Alongamento total no ensaio de tração da porção dentária %			
					taxa de resfriamento acelerado (°C/s)	temperatura final do resfriamento acelerado (°C)								
Moldado de aço produzido invertido	94	43	1000	200	porção dentária	200	1.0	640	Perla	215 (2 mm em profundidade da superfície dentária)	HT: sem fratura BT: sem fratura	300	14,0	
						porção de alma	200	1.5	645	Perla	-			
						porção de base	200	1.2	642	Perla	-			
						porção dentária	190	1.2	648	Perla	220 (2 mm em profundidade da superfície dentária)	HT: sem fratura BT: sem fratura	300	13,0
						porção de alma	190	1,8	645	Perla	-			
						porção de base	190	1,8	632	Perla	-			
	96	45	960	150	porção dentária	185	2,0	630	Perla	225 (2 mm em profundidade da superfície dentária)	HT: sem fratura BT: sem fratura	366	12,5	
						porção de alma	165	2,5	605	Perla	-			
						porção de base	165	2,5	600	Perla	-			
						porção dentária	165	6,0	450	Perla	255 (2 mm em profundidade da superfície dentária)	HT: sem fratura BT: sem fratura	455	13,4
						porção de alma	165	3,0	570	Perla	-			
						porção de base	165	4,5	580	Perla	-			
98	46	960	150	porção dentária	145	8,0	450	Perla	215 (2 mm em profundidade da superfície dentária)	HT: sem fratura BT: sem fratura	405	10,2		
					porção de alma	145	3,0	560	Perla	-				
					porção de base	148	4,5	530	Perla	-				

Tabela 12. Continuação.

Símbolo de produto-ção invertido	Esp. do aço	Temperatura final da laminação da porção dentária *1 (°C)	Comprimento da laminação (m)	Tempo de imersão na solução com o resfriamento acelerado (s)	Condições do resfriamento acelerado		Microestrutura na 3	Número dos blocos de perfil de 1 a 15 mm em laminação de grão (por 0,2 mm ²) posição de medição	Ensaio de massa quente 4 HT: tensão dentária na BT: tensão na base	Dureza da porção dentária 5 (HV)	Alongamento total na ensaio de tração da porção dentária 6 (%)					
					Taxa de resfriamento acelerado (°C/s)	Temperatura final do resfriamento acelerado (°C)										
99	47	950	150	porção dentária	150	7,5	465	Perla	226 (2 mm em profundidade da superfície dentária)	HT: sem tritura BT: sem tritura	440	10,5				
					porção de alma	150							3,5	540	Perla	.
					porção de base	150							5,0	530	Perla	.

*1: Temperatura final da laminação da porção dentária e a temperatura de superfície imediatamente depois da laminação. *2: Taxa de resfriamento das porções dentária, de alma e base são observadas em uma profundidade de 2 mm nas mesmas posições como especificado na medição da taxa de resfriamento acima. *4: Método do ensaio de massa quente é especificado na DESCRIÇÃO. *5: A dureza da porção dentária é medida na mesma posição da porção dentária como especificado na observação da microestrutura acima. *6: O método do ensaio de tração é especificado na DESCRIÇÃO.

Tabela 14

Símbolo	Aço	Temperatura final da laminação da porção dianteira °C	Comprimento da laminação (m)	Tempo do imersão na água quente ao completar o resfriamento acelerado (s)	Condições do resfriamento acelerado		Mantença nº 3	Número dos blocos da perla de 1 a 15 em tamanho de grão (por 0,2 mm ²) posição de medição	Ensaio de massa cálcica 4	Dureza da porção dianteira °S (HV)	Alongamento total no ensaio de tração da porção dianteira % (A)				
					taxa de resfriamento acelerado (°C/s)	temperatura final do resfriamento acento acelerado (°C)									
Machado de produção ainvendido	105	44	980	200	porção dianteira	190	4,5	648	Perla	235 (2 mm em profundidade da superfície dianteira)	HT: sem trituração BT: sem trituração	375	14,0		
						porção de alma	190	13,0						645	mantença + perla
						porção de base	190	11,5						632	
	106	45	980	150	porção dianteira	185	0,5	630	camentita pré-aquecida + perla	-	HT: sem trituração (camentita pré-aquecida formada)	315	12,5		
						porção de alma	165	0,4						605	camentita pré-aquecida + perla
						porção de base	165	0,5						600	
	107	45	980	125	porção dianteira	165	18,0	450	mantença + perla	-	HT: sem trituração (mantença formada)	545	6,4		
						porção de alma	165	3,0						570	Perla
						porção de base	165	4,5						560	

Tabela 14. Continuação...

Método de produção	Símbolo	Aço	Temperatura final da laminação da laminação de porção da laminação *1 (°C)	Comprimento da laminação (m)	Tempo do fim da laminação ao começo do resfriamento acelerado (s)	Condições do resfriamento acelerado		Microestrutura na *3	Número dos blocos de perla de 1 a 15 em laminação de grão (por 0,2 mm ²) posição de medição	Ensaio de massa cáterica *4 HT (ensaio de laminação na base BT (ensaio na base	Dureza da porção da laminação *5 (HV)	Alongamento total no ensaio de tração da porção da laminação *6 (%)	
						Taxa de resfriamento acelerado (°C/s)	temperatura final do resfriamento acelerado (°C)						
	108	47	830	150	porção da laminação	150	7,5	465	camentita pró-eutética + perla	-	HT: sem trituração (camentita pró-eutética formada)	560	5,5 (intensidade formada da pequena ductilidade)
						porção de alma	3,5	540					
					porção de base	5,0	530	camentita pró-eutética + perla	-				

*1: temperatura final da laminação da porção da laminação é a temperatura de superfície imediatamente depois da laminação. *2: Taxa de resfriamento das porções da laminação de alma e base são números médios na região de 0 a 3 mm em profundidade nas posições especificadas na DESCRIÇÃO. *3: Microestruturas das porções da laminação de alma e base são observadas em uma profundidade de 2 mm nas mesmas posições como especificado na medição da taxa de resfriamento acima. *4: Método do ensaio de massa cáterica é especificado na DESCRIÇÃO. *5: A dureza da porção da laminação é medida na mesma posição da porção da laminação como especificado na observação da microestrutura acima. *6: O método do ensaio de tração é especificado na DESCRIÇÃO.

Tabela 15

Símbolo	Aço	Temperatura final da laminação da porção dentária *1 (°C)	Comprimimento da laminação (m)	Tempo do fim da laminação a quente ao começo do resfriamento acelerado (s)	Condições do resfriamento acelerado		Microestrutura *3	Número dos blocos de perfila de 1 a 15 mm em laminação de grão (por 0,2 mm ²) posição da medição	Ensaio de massa constante *4 HT: ensaio dentária BT: ensaio na base	Dureza da porção dentária *5 (HV)	Alongamento total no ensaio de tração da porção dentária *5 (%)		
					Taxa de resfriamento acelerado (°C/s)	temperatura final do resfriamento acelerado (°C)							
Mercado de produção invertido	109	47	920	115	porção dentária	150	7,5	445	Perfila	305 (2 mm em profundidade da superfície dentária)	HT: sem fratura BT: sem fratura	445	11,8
						porção de alma	150	3,5	685	ceramita pró-aleação + perfila	.		
						porção de base	150	5,0	700	ceramita pró-aleação + perfila	.		
						porção de alma	150	3,5	685	ceramita pró-aleação + perfila	.		
111	49	1080	100	porção dentária	125	3,0	530	Perfila	215 (2 mm em profundidade da superfície dentária)	HT: sem fratura BT: sem fratura	395	10,8	
					porção de alma	125	3,5	520	Perfila	.	HT: sem fratura BT: sem fratura (ceramita pró-aleação formada)		
					porção de base	125	4,0	520	traço de ceramita pró-aleação nos extremi- dades do bilo + perfila	.			
					porção de alma	125	3,5	520	Perfila	.			
				porção de base	60	4,5	510	Perfila	.				
				porção de alma	70	4,5	510	Perfila	.				
				porção de base	60	4,5	510	Perfila	.				
				porção de alma	70	4,5	510	Perfila	.				
				porção de base	60	4,5	510	Perfila	.				
				porção de alma	70	4,5	510	Perfila	.				
				porção de base	60	4,5	510	Perfila	.				
				porção de alma	70	4,5	510	Perfila	.				

Tabela 15- Continuação...

Método de produção invertido	Símbolo	Aço	Temperatura final da laminação diamétrica *1	Comprimento da laminação (m)	Tempo do fim da laminação ao começo do refinamento acelerado (s)	Condições do refinamento acelerado		Mostrueta n° 3	Número dos blocos da perfilta de 1 a 15 em laminação de grão (por 0,2 mm ²) posição de medição	Ensaio de massa cedente *4 HT: tensão diamétrica BT: tensão na base	Dureza da perfilta *5 (HV)	Alongamento total no ensaio de tração da perfilta diamétrica *6 (%)								
						Taxa de refinamento acelerado (C/s)	temperatura final do refinamento acelerado (°C)													
	112	50	860	110	porção diamétrica	350	13,0	415	cementeira	-	HT: sem fractura (cementeira pró-eutética formada)	435	7,8							
														porção de alma	8,0	305	cementeira pró-eutética + perfilta	-	BT: sem fractura (cementeira pró-eutética formada)	(cementeira formada -> pequena ductilidade)
														porção de base	9,5	500	cementeira pró-eutética + perfilta			

*1: Temperatura final da laminação da perfilta é a temperatura de superfície imediatamente depois da laminação. *2: Taxas de refinamento das perfiltas diamétrica de alma e base são observadas em uma profundidade de 2 mm nas mesmas posições como especificado na medição da taxa de refinamento acima. *4: Método do ensaio de massa cedente é especificado na DESCRIÇÃO. *5: A dureza da perfilta diamétrica é medida na mesma posição da perfilta diamétrica como especificado na observação da microestrutura acima. *6: O método do ensaio de tração é especificado na DESCRIÇÃO.

(Exemplo 6)

[00288] A Tabela 16 mostra a composição química dos trilhos de aço submetidos aos testes abaixo. Observe que o equilíbrio da composição química especificados na tabela é Fe e impurezas inevitáveis.

[00289] A Tabela 17 mostra as condições do reaquecimento do bloco (placa) (os valores de CT e CM, as máximas temperaturas de aquecimento do bloco (placa) (Tmax) e os tempos de retenção durante os quais os blocos (placas) são aquecidos para 1.100°C ou mais alta (Mmax)) quando os trilhos são produzidos pelo método de produção de acordo com a presente invenção usando os aços listados na Tabela 11, e as propriedades durante a laminação a quente e depois da laminação a quente (as propriedades de superfície dos trilhos assim produzidos durante a laminação a quente e depois da laminação a quente, e as estruturas e a dureza das camadas de superfície das porções dianteiras). A tabela também mostra os resultados do teste de desgaste dos trilhos produzidos pelo método de produção de acordo com a presente invenção.

[00290] A Tabela 18 mostra as condições de reaquecimento do bloco (placa) (os valores de CT e CM, as máximas temperaturas de aquecimento dos blocos (placas) (Tmax) e os tempos de retenção durante os quais os blocos (placas) são aquecidos para 1.100°C ou mais alta (Mmax)) quando os trilhos são produzidos pelo método de produção comparativos usando os aços listados na Tabela 16, e as propriedades durante a laminação a quente e depois da laminação (as propriedades de superfície dos trilhos assim produzidos durante a laminação a quente e depois da laminação a quente, e as estruturas e a dureza das camadas de superfície das porções dianteiras). A tabela também mostra os resultados do teste de desgaste dos trilhos produzidos pelos métodos de produção comparativos.

[00291] Observe que cada um dos trilhos de aço listados nas Tabe-

las 17 e 18 foi produzido sob as condições de um período de tempo de 180 s da laminação a quente ao tratamento térmico na porção dianteira do trilho e a razão de redução de área de 6% na passagem final da laminação a quente de acabamento.

[00292] Aqui, são fornecidas as explicações quanto aos desenhos anexos a ele. A figura 9 é uma ilustração mostrando um esboço de um aparelho de teste de desgaste de laminação para um trilho e uma roda.

[00293] Na figura 9, o numeral de referência 11 indica um cursor para mover o trilho, no qual o trilho 12 é colocado. O numeral de referência 15 indica um aparelho de carregamento para controlar o movimento lateral de e a carga na roda 13 acionada por um motor 14. Durante o teste, a roda 13 rola sobre o trilho 2 e se move de um lado para outro na direção longitudinal.

[00294] Os trilhos listados nas tabelas são como segue:

∞ Trilhos tratados com calor de acordo com a presente invenção (11 trilhos), Símbolos 113 a 123

[00295] Os blocos (placas) e os trilhos produzidos pelo método de produção nas faixas anteriormente mencionadas usando os aços tendo a composição química nas faixas anteriormente mencionadas.

∞ Trilhos tratados com calor comparativos (8 trilhos), Símbolos 124 a 131

[00296] Os blocos (placas) e os trilhos produzidos pelos métodos de produção fora das faixas anteriormente mencionadas usando os aços possuindo a composição química nas faixas anteriormente mencionadas.

[00297] Os testes foram executados sob as seguintes condições:

∞ Teste de desgaste por laminação

[00298] Equipamento de teste: equipamento de teste de desgaste por laminação (ver figura 9)

- [00299] Forma da peça de teste
- [00300] Trilho: trilho de 136 lb., 2 m de comprimento
- [00301] Roda: tipo AAR (920 mm de diâmetro)
- [00302] Carga de teste (simulando ferrovias de carga pesada)
- [00303] Carga radial: 147.000 N (15 toneladas)
- [00304] Carga de empuxo: 9.800 N (1 tonelada)
- [00305] Ciclo de repetição: 10.000 ciclos
- [00306] Condição de lubrificação: seca.
- [00307] Como observado nas Tabelas 17 e 18, nos casos dos trilhos produzidos sob as condições de reaquecimento nas faixas anteriormente mencionadas em contraste com os casos dos trilhos produzidos sob condições de reaquecimento comparativos: os trincamentos e rupturas do bloco (placa) durante a laminação foram prevenidos como resultado da otimização da máxima temperatura de aquecimento do bloco (placa) e do período de tempo durante o qual o bloco (placa) foi aquecido para uma certa temperatura ou mais alta no processo de reaquecimento para laminação a quente do bloco (placa) tendo um alto teor de carbono como listado na Tabela 11 em trilhos; e a deterioração da resistência ao desgaste foi evitada como resultado da supressão da descarburização na camada de superfície externa do trilho e prevenção da formação das estruturas de ferrita pró-eutetóide. Dessa maneira, foi possível produzir trilhos de alta qualidade eficientemente.

Tabela 16

Aço	Composição química (% em massa)	
	C	Si/Mn/Cr/Mo/V/Nb/B/Co/Cu/Ni/Ti/Mg/Ca/Al/Zr/N
52	0,86	Si: 0,50 Mn: 1,05
53	0,90	Si: 0,50 Mn: 1,05 Cr: 0,25 Mo: 0,02
54	0,90	Si: 0,25 Mn: 0,65

		Cr: 0,22
55	1,00	Si: 0,41 Mn: 0,70 Cr: 0,25
56	1,01	-
57	1,01	Si: 0,81 Mn: 0,65 Cr: 0,55 V: 0,03 N: 0,0080
58	1,11	Si: 0,45 Mn: 0,51 Cr: 0,34 Cu: 0,25
59	1,21	Si: 1,35 Mn: 0,15 Cr: 0,15 Zr: 0,0015 Ca: 0,0020
60	1,38	Si: 0,35 Mn: 0,12 Al: 0,07

Tabela 17

Símbolo	Aço	Valor de CT ¹	Valor de CT ²	Condições de resqueamento do bloco (placa) para laminação em frio		Propriedades do bilho durante e depois da laminação a quente				Resultado do teste de desgaste
				Máxima temperatura de aquecimento do bloco (placa) T _{max} (°C)	Tempo de retenção em 1.100°C ou mais alta M _{max} (min)	Condição da superfície durante e depois da laminação a quente	Estrutura da camada de superfície dentária ³	Dureza da camada de superfície dentária ⁴ (HV)	Quantidade de desgaste (mm)	
113	S2	1362	487	1325	415	Sem quebra do bloco (placa) ou vincamento do bilho	Perfita	324	1,95	
114	S3	1337	465	1305	402	Sem quebra do bloco (placa) ou vincamento do bilho	Perfita	334	1,89	
115	S4	1309	443	1280	385	Sem quebra do bloco (placa) ou vincamento do bilho	Perfita	385	1,85	
Molado de produção invertido	116	S5	1280	420	1270	375	Sem quebra do bloco (placa) ou vincamento do bilho	Perfita	415	1,45
	117	S5	1280	420	1250	345	Sem quebra do bloco (placa) ou vincamento do bilho	Perfita	424	1,38
	118	S6	1277	418	1245	365	Sem quebra do bloco (placa) ou vincamento do bilho	Perfita	385	1,58
	119	S7	1277	415	1275	365	Sem quebra do bloco (placa) ou vincamento do bilho	Perfita	451	1,21
	120	S7	1277	415	1245	325	Sem quebra do bloco (placa) ou vincamento do bilho	Perfita	465	1,15
	121	S8	1246	383	1240	350	Sem quebra do bloco (placa) ou vincamento do bilho	Perfita	435	1,20
	122	S9	1213	366	1200	315	Sem quebra do bloco (placa) ou vincamento do bilho	Perfita	465	0,65
	123	S0	1154	320	1140	300	Sem quebra do bloco (placa) ou vincamento do bilho	Perfita	475	0,75

¹ CT = 1500 - 140 [(% em massa C)] - 80 [(% em massa C)]²

² CM = 600 - 120 [(% em massa C)] - 60 [(% em massa C)]²

³ Posição de observação da estrutura da camada de superfície dentária 2 mm em profundidade da superfície superior dentária no centro da largura do bilho.

⁴ Posição de medição da dureza da camada de superfície dentária 2 mm em profundidade da superfície superior dentária no centro da largura do bilho.

⁵ Molado de teste do desgaste: Ver Figura 9 e DESCRICÃO. Quantidade do desgaste: profundidade do desgaste na direção da altura no centro da largura do bilho depois do teste.

Tabela 18

Símbolo	Aço	Valor de CT ¹	Valor de CT ²	Condições de resqueamento do bloco (placa) para laminação em frio		Propriedades do bilho durante e depois da laminação a quente	Estrutura da camada de superfície da dentaria ³	Dureza da camada de superfície da dentaria ⁴ (HV)	Resultado do teste de desgaste	
				Máxima temperatura de aquecimento do bloco (placa) T _{max} (°C)	Tempo de resqueamento em 1.100°C ou mais alta T _{max} (min)					
Método de produção inventado	124	S3	1337	465	1305	600	Sem quebra do bloco (placa) ou trincamento do bilho	perla + lamina por-aletividade (muita descandurugão)	324	3,05
	125	S4	1309	443	1220	385	bilho fendido	Perla	365	1,75
	126	S5	1280	420	1300	485	bilho fendido	perla + lamina por-aletividade (muita descandurugão)	365	2,85
	127	S6	1280	420	1365	345	peça fundida completa	laminação a quente do bilho não visível		
	128	S7	1277	415	1275	550	Sem quebra do bloco (placa) ou trincamento do bilho	perla + lamina por-aletividade (muita descandurugão)	390	2,64
	129	S8	1246	393	1220	500	Sem quebra do bloco (placa) ou trincamento do bilho	perla + lamina por-aletividade (muita descandurugão)	398	2,45
	130	S9	1213	366	1240	320	bilho fendido	Perla	475	0,91
	131	S0	1154	320	1250	300	peça fundida completa	laminação a quente do bilho não visível		

¹ CT = 1500 - 140 [(% em massa C)] - 80 [(% em massa C)]²

² CM = 600 - 120 [(% em massa C)] - 60 [(% em massa C)]²

³ Posição de observação da estrutura da camada de superfície da dentaria 2 mm em profundidade da superfície superior da dentaria no centro da largura do bilho.

⁴ Posição de medição da dureza da camada de superfície da dentaria 2 mm em profundidade da superfície superior da dentaria no centro da largura do bilho.

⁵ Método de teste do desgaste: Ver Figura 9 e DESCRICÃO. Quantidade do desgaste: profundidade do desgaste na direção da altura no centro da largura do bilho depois do teste.

(Exemplo 7)

[00308] A Tabela 19 mostra a composição química dos trilhos de aço submetidos aos testes abaixo. Observe que o equilíbrio da composição química especificados na tabela é Fe e impurezas inevitáveis.

[00309] As Tabelas 20 e 21 mostram, com relação a cada um dos trilhos produzidos pelo método de tratamento térmico de acordo com a presente invenção usando os aços listados na Tabela 19, o comprimento da laminação, o período de tempo do fim da laminação ao começo do tratamento térmico da porção de ponta da base, as condições do resfriamento acelerado nas porções dianteira, de alma e base do trilho, a microestrutura, o resultado do ensaio de massa cadente e a dureza na porção dianteira.

[00310] As tabelas 22 e 23 mostram, com relação a cada um dos trilhos produzidos pelo método de tratamento térmico comparativo usando os aços listados na Tabela 19, o comprimento da laminação, o período de tempo do fim da laminação ao começo do tratamento térmico da porção de ponta da base, as condições do resfriamento acelerado nas porções dianteira, de alma e base do trilho, a microestrutura, o resultado do ensaio de massa cadente e a dureza na porção dianteira.

[00311] Os trilhos listados nas tabelas são como segue:

∞ Trilhos tratados com calor de acordo com a presente invenção (11 trilhos), Símbolos 132 a 142

[00312] Os trilhos produzidos sob as condições de tratamento térmico nas faixas anteriormente mencionadas usando os aços tendo a composição química nas faixas anteriormente mencionadas.

∞ Trilhos tratados com calor comparativos (9 trilhos), Símbolos 143 a 151

[00313] Os trilhos produzidos sob as condições de tratamento térmico fora das faixas anteriormente mencionadas usando os aços ten-

do a composição química nas faixas anteriormente mencionadas.

[00314] Observe que cada um dos trilhos de aço listados nas Tabelas 20 e 21 foi produzido sob as condições do período de tempo de 180 s da laminação a quente ao tratamento térmico na porção dianteira do trilho e a razão de redução de área de 6% na passagem final da laminação a quente de acabamento.

[00315] Em cada um desses trilhos, o número dos blocos de perlita tendo tamanhos de grão na faixa de 1 a 15 μm em uma porção de 5 mm em profundidade da porção superior dianteira estava na faixa de 200 a 500 por $0,2 \text{ mm}^2$ do campo de observação.

[00316] Os testes foram executados sob as seguintes condições:

∞ Ensaio de massa cadente

[00317] Massa do peso em queda: 907 kg

[00318] Distância entre os suportes: 0,914 m

[00319] Altura da queda: 10,6 m

[00320] Temperatura de teste: temperatura ambiente (20°C)

[00321] Posição do espécime de teste: HT, tensão de tração na porção dianteira do trilho; BT, tensão de tração na porção de base do trilho

[00322] Como observado nas Tabelas 20 e 21, e 22 e 23, nos trilhos de aço tendo altos teors de carbono como listado na Tabela 19, nos casos dos trilhos de aço produzidos pelo método de tratamento térmico de acordo com a presente invenção onde o tratamento térmico preliminar foi aplicado na porção de ponta de base do trilho dentro do período de tempo prescrito depois do fim da laminação a quente e a seguir resfriamento acelerado foi aplicado nas porções dianteira, de alma e base, em contraste com os casos dos trilhos produzidos pelos métodos de produção comparativos, a formação das estruturas de cementita pró-eutetóide foi suprimida e assim a deterioração da resistência por fadiga e dureza foi prevenida.

[00323] Além disso, como mostrado nas Tabelas 20 e 21, e 22 e 23, foi possível garantir uma boa resistência ao desgaste nas porções dianteiras do trilho como resultado do controle das taxas de resfriamento acelerado nas porções dianteiras do trilho.

[00324] Como declarado acima, nos trilhos de aço tendo altos teores de carbono, foi possível: suprimir a formação das estruturas de cementita pró-eutetóide prejudiciais para a ocorrência dos trincamentos por fadiga e trincamentos frágeis como resultado da aplicação do resfriamento acelerado ou aquecimento nas porções de ponta de base do trilho dentro do período de tempo prescrito depois do fim da laminação a quente e a seguir aplicando resfriamento acelerado nas porções dianteira, de alma e base do trilho; e também garantir uma boa resistência ao desgaste na porção dianteira do trilho como resultado da otimização da taxa de resfriamento acelerado na porção dianteira do trilho.

Tabela 19

Aço	Composição química (% em massa)	
	C	Si/Mn/Cr/Mo/V/Nb/B/Co/Cu/Ni/Ti/Mg/Ca/Al/Zr/N
61	0,86	Si: 0,50 Mn: 0,80
62	0,90	Si: 0,35 Mn: 0,80 Mo: 0,03
63	0,95	Si: 0,80 Mn: 0,50 Cr: 0,45
64	1,00	
65	1,00	Si: 0,55 Mn: 0,70 Cr: 0,25

66	1,01	Si: 0,80 Mn: 0,45 Cr: 0,40	V: 0,020 N: 0,010
67	1,11	Si: 1,45 Mn: 0,35 Cr: 0,34	Zr: 0,0020 V: 0,050
68	1,19	Si: 0,45 Mn: 0,65 Cr: 0,15	Al: 0,07
69	1,35	Si: 0,45 Mn: 0,45	Cr: 0,15

Tabela 20)

Sim- bolo	Aço	Com- pimento de lamina- ção (m)	Tempo até o início do trata- mento térmico da porção de ponta de base (s)	Condições preliminares do tratamento térmico e microestrutura da porção de ponta de base ¹	Porção		Condições do refinamento acelerado do ²		M- con- trolura ³	Ensaio de massa catenite ⁴	Dureza da porção da dentaria ⁵ (HV)
					Taxa de resfi- namento acelerado (C/s)	Temperatura final do refinamento acelerado (C)	Taxa de resfi- namento acelerado (C/s)	Temperatura final do refinamento acelerado (C)			
132	61	198	58	Taxa de refinamento acelerado: 5C/s. Temperatura final do refinamento acelerado: 645C Microestrutura: perlitá	Porção dentaria	12	640	Perlitá	HT: Sem fractura BT: Sem fractura	329	
					Porção de alma	15	642	Perlitá			
					Porção de base	16	635	Perlitá			
					Porção dentaria	14	645	Perlitá			
					Porção de alma	18	640	Perlitá			
					Porção de base	18	630	Perlitá			
133	62	190	52	Taxa de refinamento acelerado: 6C/s. Temperatura final do refinamento acelerado: 633C Microestrutura: perlitá	Porção dentaria	24	625	Perlitá	HT: Sem fractura BT: Sem fractura	385	
					Porção de alma	26	615	Perlitá			
					Porção de base	20	615	Perlitá			
					Porção dentaria	6,5	460	Perlitá			
					Porção de alma	3,5	580	Perlitá			
					Porção de base	4,0	550	Perlitá			
134	63	165	48	Taxa de refinamento acelerado: 7C/s, Temperatura final do refinamento acelerado: 625C Microestrutura: perlitá	Porção dentaria	6,0	465	Perlitá	HT: Sem fractura BT: Sem fractura	420	
					Porção de alma	3,0	530	Perlitá			
					Porção de base	5,5	535	Perlitá			
					Porção dentaria	3,0	485	Perlitá			
					Porção de alma	3,0	530	Perlitá			
					Porção de base	5,5	535	Perlitá			
135	63	158	45	Aquecimento por 55C Microestrutura: perlitá	Porção dentaria	6,0	465	Perlitá	HT: Sem fractura BT: Sem fractura	455	
					Porção de alma	3,5	580	Perlitá			
					Porção de base	4,0	550	Perlitá			
					Porção dentaria	3,0	485	Perlitá			
					Porção de alma	3,0	530	Perlitá			
					Porção de base	5,5	535	Perlitá			
136	64	168	40	Taxa de refinamento acelerado: 10C/s, Temperatura final do refinamento acelerado: 615C Microestrutura: perlitá	Porção dentaria	6,0	465	Perlitá	HT: Sem fractura BT: Sem fractura	420	
					Porção de alma	3,0	530	Perlitá			
					Porção de base	5,5	535	Perlitá			
					Porção dentaria	3,0	485	Perlitá			
					Porção de alma	3,0	530	Perlitá			
					Porção de base	5,5	535	Perlitá			
137	65	178	40	Aquecimento por 70C Microestrutura: perlitá	Porção dentaria	6,0	465	Perlitá	HT: Sem fractura BT: Sem fractura	350	
					Porção de alma	3,0	530	Perlitá			

¹: Taxa de refinamento da porção de ponta de base é número médio na região de 0 a 3 mm em profundidade na posição especificada na DESCRIÇÃO.

²: Taxas de refinamento das porções dentaria, de alma e base são números médios na região de 0 a 3 mm em profundidade nas posições especificadas na DESCRIÇÃO.

³: Microestruturas das porções de ponta de base, dentaria de alma e base são observadas em uma profundidade de 2 mm nas mesmas posições como especificado na medição da taxa de refinamento acima.

⁴: Método do teste do peso de queda é especificado na DESCRIÇÃO.

⁵: A dureza da porção dentaria é medida na mesma posição da porção dentaria como especificado na observação da microestrutura acima.

Tabela 21

Sim- bolo	Aço	Com- pimento de lamina- ção (m)	Tempo até o início do trata- mento térmico da porção de ponta de base (s)	Condições preliminares do tratamento térmico e microestrutura da porção de ponta de base ¹	Porção		M- cones- tura ³	Ensaio de massa catódica ⁴	Dureza da porção dentaria ⁵ (HV)	
					Condições do refinamento acelerado do ²					
					Taxa de refina- mento acelerado (C/s)	Temperatura final do refinamento acelerado (C)				
138	65	160	40	Aquecimento por 85°C Microestrutura: perlitá	Porção dentaria	7,0	440	Perlitá	HT: Sem fratura BT: Sem fratura	435
					Porção de alma	3,5	545	Perlitá		
					Porção de base	5,5	525	Perlitá		
					Porção dentaria	3,5	530	Perlitá		
					Porção de alma	3,5	520	Perlitá		
					Porção de base	4,5	520	Perlitá		
139	66	155	35	Taxa de refinamento acelerado: 12°C/s Temperatura final do refinamento acelerado: 545°C Microestrutura: perlitá	Porção dentaria	8,5	445	Perlitá	HT: Sem fratura BT: Sem fratura	425
					Porção de alma	4,0	530	Perlitá		
					Porção de base	4,0	525	Perlitá		
					Porção dentaria	12,0	425	Perlitá		
					Porção de alma	7,0	515	Perlitá		
					Porção de base	9,0	505	Perlitá		
141	68	125	10	Taxa de refinamento acelerado: 17°C/s Temperatura final do refinamento acelerado: 545°C Microestrutura: perlitá	Porção dentaria	20,0	430	Perlitá	HT: Sem fratura BT: Sem fratura	475
					Porção de alma	7,0	505	Perlitá		
					Porção de base	9,0	505	Perlitá		
					Porção dentaria	20,0	430	Perlitá		
					Porção de alma	7,0	505	Perlitá		
					Porção de base	9,0	510	Perlitá		
142	69	105	10	Taxa de refinamento acelerado: 20°C/s Temperatura final do refinamento acelerado: 525°C Microestrutura: perlitá	Porção dentaria	20,0	430	Perlitá	HT: Sem fratura BT: Sem fratura	465
					Porção de alma	7,0	505	Perlitá		
					Porção de base	9,0	510	Perlitá		
					Porção dentaria	20,0	430	Perlitá		
					Porção de alma	7,0	505	Perlitá		
					Porção de base	9,0	510	Perlitá		

¹: Taxa de refinamento da porção de ponta de base é número médio na região de 0 a 3 mm em profundidade na posição especificada na DESCRICÃO.

²: Taxas de refinamento das porções dentaria, de alma e base são números médios na região de 0 a 3 mm em profundidade nas posições especificadas na DESCRICÃO.

³: Microestruturas das porções de ponta de base, dentaria, de alma e base são observadas em uma profundidade de 2 mm nas mesmas posições como especificado na medição da taxa de refinamento acima.

⁴: Método do teste do peso de queda é especificado na DESCRICÃO.

⁵: A dureza da porção dentaria é medida na mesma posição da porção dentaria como especificado na observação da microestrutura acima.

Tabela 22

Sim- bolo	Aço	Com- pon- mento de lami- nação (m)	Tempo até início do tratamento térmico da porção de alma da base (s)	Condições preliminares do tratamento térmico e microestrutura da porção de alma da base ¹	Porção	Condições do resfriamento acce- lado ²		Microestrutura ³	Ensaio de massa e densidade ⁴	Dureza da porção dianteira ⁵ (HV)
						Taxa de resfria- mento accele- rado (C/s)	Tempe- ratura final do resfria- mento accele- rado (C)			
143	62	180	52	Taxa de resfriamento acelerado: 5°C/s Temperatura final do resfriamento acelerado: 700°C Microestrutura: cementsita pró-eutóide + perlitita	Porção dianteira	1,4	645	Perlitita	HT: semi fratura BT: Fraturado (Cementsita pró-eutóide (tomada))	329
					Porção de alma	1,8	640	Perlitita		
					Porção de base	1,8	630	Perlitita		
144	63	185	48	Taxa de resfriamento acelerado: 25°C/s Temperatura final do resfriamento acelerado: 625°C Microestrutura: martensita + perlitita	Porção dianteira	2,4	625	Perlitita	HT: semi fratura BT: Fraturado (Martensita (tomada))	375
					Porção de alma	2,6	615	Perlitita		
					Porção de base	2,0	615	Perlitita		
145	63	158	45	Aquecimento por 50°C Microestrutura: martensita + perlitita	Porção dianteira	6,5	450	Perlitita	HT: semi fratura BT: Fraturado (Martensita (tomada))	445
					Porção de alma	12,5	580	Martensita + Perlitita		
					Porção de base	13,0	550	Martensita + Perlitita		
146	65	178	40	Aquecimento por 15°C Microestrutura: cementsita pró-eutóide + perlitita	Porção dianteira	17,0	485	Martensita + Perlitita	HT: Fraturado (Martensita (tomada)) BT: Fraturado (Cementsita pró-eutóide (tomada))	514
					Porção de alma	3,0	530	Perlitita		
					Porção de base	5,5	535	Perlitita		
147	65	180	40	Aquecimento por 85°C Microestrutura: perlitita	Porção dianteira	0,5	550	Cementsita pró-eutóide + Perlitita	HT: Fraturado (Cementsita pró-eutóide (tomada)) BT: Fraturado (Cementsita pró-eutóide (tomada))	425
					Porção de alma	0,5	545	Cementsita pró-eutóide + Perlitita		
					Porção de base	0,5	525	Cementsita pró-eutóide + Perlitita		

¹: Taxa de resfriamento da porção de alma da base é número médio na região de 0 a 3 mm em profundidade na posição especificada na DESCRICÃO.

²: Taxas de resfriamento das porções dianteira, de alma e base são números médios na região de 0 a 3 mm em profundidade nas posições especificadas na DESCRICÃO.

³: Microestruturas das porções de porta de base, dianteira, de alma e base são observadas em uma profundidade de 2 mm nas mesmas posições como especificado na medição da taxa de resfriamento.

⁴: Método do teste do peso de queda é especificado na DESCRICÃO.

⁵: A dureza da porção dianteira é medida na mesma posição da porção dianteira como especificado na observação da microestrutura acima.

Tabela 23

Sim- brio	Aço	Com- pimento de lamina- ção (m)	Tempo até o início do teste- mento (tempos da porção de base) (s)	Condições preliminares do tratamento térmico e microestrutura da porção de porta de base ¹	Porção		Condições do resfriamento		Microes- trutura	Ensaio de massa residual ⁴	Dureza da porção dentária ⁵ (HV)
					Taxa de resfriamento acelerado (C/s)	Temperatura final do resfri- amento acelerado (C)	Taxa de resfriamento acelerado ²	Temperatura final do resfri- amento acelerado (C)			
Moldado de teste- mento (tempos compar- ativo)	148	06	155	35	Taxa de resfriamento acelerado: 12C/s Temperatura final do resfriamento acelerado: 545C Microestrutura: cementita pró-eutóide + perlita	Porção dentária	3,5	530	Perlita	HT: sem fratura BT: Fraturado (Cementita pró-eutóide (tomada))	365
						Porção de alma	3,5	520	Perlita		
						Porção de base	4,5	520	Perlita		
		245	(com- pimento excessi- vo do (filho))	35	Taxa de resfriamento acelerado: 12C/s Temperatura final do resfriamento acelerado: 545C Microestrutura: cementita pró-eutóide + perlita	Porção dentária	6,5	530	Perlita	HT: sem fratura BT: Fraturado (Faço de cementita pró-eutóide (tomada))	425
						Porção de alma	3,5	520	Perlita		
						Porção de base	5,5	520	Perlita		
151	09	155	30	Taxa de resfriamento acelerado: 20C/s Temperatura final do resfriamento acelerado: 525C Microestrutura: cementita pró-eutóide	Porção dentária	8,5	445	Perlita	HT: sem fratura BT: Fraturado (Cementita pró-eutóide (tomada))	495	
					Porção de alma	4,0	530	Perlita			
					Porção de base	4,0	525	Perlita			

¹: Taxa de resfriamento da porção de porta de base é número médio na região de 0 a 3 mm em profundidade na posição especificada na DESCRIÇÃO.

²: Taxas de resfriamento das porções dentária, de alma e base são números médios na região de 0 a 3 mm em profundidade nas posições especificadas na DESCRIÇÃO.

³: Microestruturas das porções de porta de base, dentária de alma e base são observadas em uma profundidade de 2 mm nas mesmas posições como especificado na medição da taxa de resfriamento acima.

⁴: Método do teste do peso de queda é especificado na DESCRIÇÃO.

⁵: A dureza da porção dentária é medida na mesma posição da porção dentária como especificado na observação da microestrutura acima.

(Exemplo 8)

[00325] A Tabela 24 mostra a composição química dos trilhos de aço submetidos aos testes abaixo. Observe que o equilíbrio da composição química especificados na tabela é Fe e impurezas inevitáveis. As Tabelas 25 e 26 mostram, com relação a cada um dos trilhos produzidos pelo método de tratamento térmico de acordo com a presente invenção usando os aços listados na Tabela 24, o comprimento da laminação, o período de tempo do fim da laminação ao começo do tratamento térmico da porção de alma, as condições do tratamento térmico e a microestrutura da porção de alma, as condições do resfriamento acelerado e as microestruturas das porções dianteira e de base do trilho, o número de grãos de cementita pró-eutetóide que se cruzam (N) na porção de alma e a dureza na porção dianteira.

[00326] As tabelas 27, 28 e 29 mostram, com relação a cada um dos trilhos produzidos pelo método de tratamento térmico comparativo usando os aços listados na Tabela 24, o comprimento da laminação, o período de tempo do fim da laminação ao começo do tratamento térmico da porção de alma, as condições do tratamento térmico e a microestrutura da porção de alma, as condições do resfriamento acelerado e as microestruturas das porções dianteira e de base do trilho, o número de grãos de cementita pró-eutetóide que se cruzam (N) na porção de alma e a dureza na porção dianteira.

[00327] Os trilhos listados nas tabelas são como segue:

∞ Trilhos tratados com calor de acordo com a presente invenção (11 trilhos), Símbolos 152 a 162

[00328] Os trilhos produzidos sob as condições de tratamento térmico nas faixas anteriormente mencionadas usando os aços tendo a composição química nas faixas anteriormente mencionadas.

∞ Trilhos tratados com calor comparativos (11 trilhos), Símbolos 163 a 173

[00329] Os trilhos produzidos sob as condições de tratamento térmico fora das faixas anteriormente mencionadas usando os aços tendo a composição química nas faixas anteriormente mencionadas.

[00330] Observe que cada um dos trilhos de aço listados nas Tabelas 25 e 26, e 27, 28 e 29 foram produzidos sob as condições do período de tempo de 180 s da laminação a quente ao tratamento térmico na porção dianteira do trilho e a razão de redução de área de 6% na passagem final da laminação a quente de acabamento.

[00331] Em cada um desses trilhos, o número dos blocos de perlita tendo tamanhos de grão na faixa de 1 a 15 μm em uma porção de 5 mm em profundidade da porção superior dianteira estava na faixa de 200 a 500 por $0,2 \text{ mm}^2$ do campo de observação.

[00332] Aqui, são proporcionadas as explicações quanto ao número das redes de cementita pró-eutetóide que se cruzam (N) mencionados nesse exemplo e o método para expor as estruturas de cementita pró-eutetóide para sua medição.

[00333] Em primeiro lugar, o método para expor as estruturas de cementita pró-eutetóide é explicado. Primeiro, uma superfície transversal da porção de alma do trilho é polida com esmeril de diamante. Depois, a superfície polida é imersa em uma solução de ácido pícrico e soda cáustica e as estruturas de cementita pró-eutetóide são expostas. Alguns ajustes podem ser necessários das condições de exposição de acordo com a condição de uma superfície polida, porém, basicamente, as condições desejáveis da exposição são: a temperatura da solução de imersão é 80°C e o tempo de imersão é aproximadamente 120 minutos.

[00334] Em segundo lugar, o método para medir o número das redes de cementita pró-eutetóide que se cruzam (N) é explicado.

[00335] O ponto arbitrário onde as estruturas de cementita pró-eutetóide são expostas em uma superfície seccional da porção de al-

ma do trilho é observado com um microscópio ótico. O número das interseções das redes de cementita pró-eutetóide com dois segmentos de linha cada um a 300 μm em comprimento se cruzando em ângulos retos é contado sob uma ampliação de 200. A figura 2 esquematicamente mostra o método de medição.

[00336] O número das redes de cementita pró-eutetóide que se cruzam é definido como o total das interseções nos dois segmentos de linha cada um a 300 μm em comprimento se cruzando em ângulos retos. Observe que, considerando a distribuição desigual das estruturas de cementita pró-eutetóide, é desejável executar a contagem pelo menos em 5 campos de observação e usar a média das contagens como o número representativo do espécime.

[00337] Os resultados são mostrados nas Tabelas 25 e 26, e 28 e 29. Nos trilhos de aço de elevado teor de carbono tendo a composição química listados na Tabela 24, nos casos dos trilhos de aço produzidos pelo método de tratamento térmico de acordo com a presente invenção onde o tratamento térmico nas faixas anteriormente mencionadas foi aplicado na porção de alma do trilho dentro do período de tempo prescrito depois do fim da laminação a quente e adicionalmente o resfriamento acelerado nas faixas anteriormente mencionadas foi aplicado nas porções dianteira e de base do trilho, em contraste com os casos dos trilhos produzidos pelos métodos de tratamento térmico comparativos, os números das redes de cementita pró-eutetóide que se cruzam (N) foram significativamente reduzidos.

[00338] Além disso, nos casos dos trilhos de aço produzidos pelo método de tratamento térmico de acordo com a presente invenção onde o resfriamento acelerado nas faixas anteriormente mencionadas foi aplicado, em contraste com os trilhos produzidos pelos métodos de tratamento térmico comparativos, foi possível prevenir a formação das estruturas de martensita e estruturas de perlita grosseiras, que causa-

ram a deterioração da dureza e da resistência à fadiga na porção de alma do trilho, como resultado do controle adequado das taxas de resfriamento durante o tratamento térmico.

[00339] Além disso, como mostrado nas Tabelas 25 e 26, e 28 e 29, uma boa resistência ao desgaste foi garantida nas porções dianteiras do trilho, como evidenciado pelos trilhos produzidos pelo método de tratamento térmico de acordo com a presente invenção (Símbolos 155 e 158 a 162), como resultado do controle das taxas de resfriamento acelerado nas porções dianteiras do trilho.

[00340] Como declarado acima, nos trilhos de aço tendo altos teores de carbono, foi possível: suprimir a formação das estruturas de cementsita pró-eutetóide, que agiam como as origens da fratura frágil e resistência à fadiga e dureza deterioradas, como resultado da aplicação do resfriamento acelerado ou aquecimento da porção de alma do trilho dentro do período de tempo prescrito depois do fim da laminação a quente e também aplicação do resfriamento acelerado nas porções dianteira e de base do trilho e, depois do aquecimento da porção de alma também; e, ademais, garantir uma boa resistência ao desgaste na porção dianteira do trilho como resultado da otimização da taxa de resfriamento acelerado na porção dianteira do trilho.

Tabela 24

Aço	Composição química (% em massa)	
	C	Si/Mn/Cr/Mo/V/Nb/B/Co/Cu/Ni/Ti/Mg/Ca/Al/Zr /N
70	0,86	Si: 0,25 Mn: 0,80
71	0,90	Si: 0,25 Cu: 0,25 Mn: 0,80 Cr: 0,20

72	0,95	Si: 0,80 Mn: 0,50 Cr: 0,25	Mo: 0,03
73	1,00		
74	1,00	Si: 0,55 Mn: 0,65 Cr: 0,25	
75	1,01	Si: 0,80 Mn: 0,45 Cr: 0,40	V: 0,02 N: 0,0080
76	1,11	Si: 1,45 Mn: 0,25 Cr: 0,35	Zr: 0,0015
77	1,19	Si: 0,85 Mn: 0,15	Al: 0,08
78	1,34	Si: 0,85 Mn: 0,15	

Tabela 25

Sim- bolo	Aço	Com- pimento de lamina- ção (m)	Tempo até início do tratamento da porção de alma (s)	Condições do tratamento térmico e microestrutura da porção de alma ¹	Porção		Condições de resfriamento acelerado e microestrutura das porções diâmetro e de base ^{2,3}			Formação da estrutura de cimentita pro-eutética na porção de alma ⁴		Direção da porção diâmetro (⁵ Hv)		
					diâmetro	base	Taxa de resfriamento acelerado (C/s)	Temperatura final do resfriamento acelerado (°C)	Mi- croes- trutura	Número das redes de cimentita pro-eutética que se cruzam (N)				
Másculo de traba- lho térmico inver- são	152	70	200	Resfriamen- to acelerado	Taxa de resfriamento: 2,0°C/s; Temperatura final do resfriamento: 635°C Microestrutura: perlitá	Porção diâmetro	1,4	640	Perlitá	Porção segregada	1	305		
						Porção de base	1,3	640	Perlitá	Camada de superfície	0			
	153	71	199	90	Resfriamen- to acelerado	Taxa de resfriamento: 2,5°C/s; Temperatura final do resfriamento: 646°C Microestrutura: perlitá	Porção diâmetro	1,5	645	Perlitá	Porção segregada		2	315
							Porção de base	1,6	640	Perlitá	Camada de superfície		0	
	154	72	195	88	Resfriamen- to acelerado	Taxa de resfriamento: 3,8°C/s; Temperatura final do resfriamento: 630°C Microestrutura: perlitá	Porção diâmetro	2,9	632	Perlitá	Porção segregada		5	322
							Porção de base	2,8	625	Perlitá	Camada de superfície		0	
155	72	195	82	Aquecimento to 25°C	Taxa de resfriamento: 1,5°C/s; Temperatura final do resfriamento: 642°C Microestrutura: perlitá	Porção diâmetro	4,9	475	Perlitá	Porção segregada	4	405		
						Porção de base	4,5	635	Perlitá	Camada de superfície	1			
156	73	180	80	Aquecimento to 40°C	Taxa de resfriamento: 3,5°C/s; Temperatura final do resfriamento: 620°C Microestrutura: perlitá	Porção diâmetro	3,2	605	Perlitá	Porção segregada	6	380		
						Porção de base	2,8	620	Perlitá	Camada de superfície	0			

¹: a temperatura de aquecimento, a taxa de resfriamento acelerado e a temperatura final do resfriamento acelerado da porção de alma são números médios na região de 0 a 3 mm em profundidade nas posições especificadas na DESCRIÇÃO.

²: Taxas de resfriamento acelerado das porções diâmetro e de base são números médios na região de 0 a 3 mm em profundidade nas posições especificadas na DESCRIÇÃO.

³: Microestruturas das porções diâmetro e de alma e base são observadas em uma profundidade de 2 mm nas mesmas posições como especificado na medição da taxa de resfriamento acima.

⁴: Ver DESCRIÇÃO e figura 2 para os métodos de exposição das estruturas de cimentita pro-eutética e medição do número das redes de cimentita pro-eutética que se cruzam (N). Na porção segregada da alma é medido no centro da largura da linha central do filão na superfície transversal da porção de alma. Na camada de superfície da porção de alma é medido em uma profundidade de 2 mm na mesma posição como especificado na observação da microestrutura acima.

⁵: A dureza da porção diâmetro é medida na mesma posição da porção diâmetro como especificado na observação da microestrutura acima.

Tabela 26

Sim- bolo	Com- pre- mento de lani- mção (m)	Tempo até o início do tratamento técnico da porção de alma (s)	Condições do tratamento térmico e microestrutura da porção de alma ¹	Porção		Condições de refinamento acelerado e microestrutura das porções dentária e de base ^{2,3}			Formação da estrutura de cimentita pró-eutética na porção de alma ⁴		Direza da porção dentária (Hv) ⁵
				Porção de base	Porção de alma	Taxa de resif- amento de- célulo (C/s)	Temperatura final do refinamento acelerado (°C)	Mf. con- tura	Numero das redes de cimentita pró-eutética que se criam (N)		
157	74	170	75	Aquecimen- to 55°C Microestrutura: perlita	Porção dentária	2,8	565	Perlita	Porção segregada	8	374
					Porção de base	2,4	610	Perlita	Camada de superfície	0	
158	74	170	52	Aquecimen- to 74°C Microestrutura: perlita	Porção dentária	7,0	480	Perlita	Porção segregada	6	442
					Porção de base	4,5	545	Perlita	Camada de superfície	0	
Medido de trab- mento tem- per- inver- lado	159	75	180	Refinamen- to acelerado Temperatura final do refinamento 54,5°C Microestrutura: perlita	Porção dentária	5,5	530	Perlita	Porção segregada	7	378
					Porção de base	4,6	520	Perlita	Camada de superfície	0	
	180	76	145	Aquecimen- to 98°C Temperatura final do refinamento 52°C Microestrutura: perlita	Porção dentária	11,0	445	Perlita	Porção segregada	9	405
					Porção de base	6,0	535	Perlita	Camada de superfície	1	
	161	77	120	Refinamen- to acelerado Temperatura final do refinamento 51,5°C Microestrutura: perlita	Porção dentária	15,0	425	Perlita	Porção segregada	8	455
					Porção de base	7,0	505	Perlita	Camada de superfície	1	
152	78	105	10	Refinamen- to acelerado Temperatura final do refinamento 55,5°C Microestrutura: perlita	Porção dentária	18,0	435	Perlita	Porção segregada	9	476
					Porção de base	10,0	521	Perlita	Camada de superfície	1	

¹: a temperatura de aquecimento, a taxa de refinamento acelerado e a temperatura final do refinamento acelerado da porção de alma são números medidos na região de 0 a 3 mm em profundidade nas posições especificadas na DESCRIÇÃO.

²: Taxas de refinamento acelerado das porções dentária e de base são números medidos na região de 0 a 3 mm em profundidade nas posições especificadas na DESCRIÇÃO.

³: Microestruturas das porções dentária e de base são observadas em uma profundidade de 2 mm nas mesmas posições como especificado na medição da taxa de refinamento acima.

⁴: Ver DESCRIÇÃO e figura 2 para os métodos de exposição das estruturas de cimentita pró-eutética e medição do número das redes de cimentita pró-eutética que se criam (N). Na porção segregada da alma é medido no centro da largura da linha central do núcleo na superfície transversal da porção de alma. Na camada de superfície da porção de alma é medido em uma profundidade de 2 mm na mesma posição como especificado na observação da microestrutura acima.

⁵: A dureza da porção dentária é medida na mesma posição da porção dentária como especificado na observação da microestrutura acima.

Tabela 27

Sim- bolo	Aço	Com- pti- mento de leni- meção (m)	Tempo até o início do tratamento térmico da porção de alma (s)	Condições do tratamento térmico e microestrutura da porção de alma ¹	Porção		Condições de refinamento acelerado e microestrutura das porções dianteira e de base ^{2,3}			Formação da estrutura de cementita pro-eutética na porção de alma ⁴		Dure- za da porção
					Porção dianteira	Porção de base	Taxa de resfrie- mento do acelera- mento	Tempe- ratura final do refi- namento	Microestrutura	Numero das redes de cementita pro-eutética que se cruzam (N)	diar- ta ⁵	
153	71	198	90	Resfriamen- to acelerado	Taxa de refinamento 240°C/s Temperatura final do refinamento 720°C Microestrutura cementita pro-eutética + perlita	Porção dianteira	1,4	640	Perlita	Porção segregada	21	320
						Porção de base	1,5	645	Perlita	Camada de superfície	8	
154	72	185	88	Resfriamen- to acelerado	Taxa de refinamento 240°C/s Temperatura final do refinamento 630°C Microestrutura martensita + perlita	Porção dianteira	2,7	630	Perlita	Porção segregada	3	335
						Porção de base	2,5	620	Perlita	Camada de superfície	0	
155	72	185	82	Aquecimen- to 25°C	Taxa de refinamento 130°C/s Temperatura final do refinamento 555°C Microestrutura martensita + perlita	Porção dianteira	4,7	470	Perlita	Porção segregada	2	402
						Porção de base	4,6	630	Perlita	Camada de superfície	0	
156	74	170	75	Aquecimen- to 55°C	Taxa de refinamento 0,5°C/s Temperatura final do refinamento 610°C Microestrutura cementita pro-eutética + perlita	Porção dianteira	0,7	590	cementita pro- eutética + perlita	Porção segregada	29	334
						Porção de base	0,8	620	cementita pro- eutética + perlita	Camada de superfície	8	

¹: a temperatura de aquecimento, a taxa de refinamento acelerado e a temperatura final do refinamento acelerado da porção de alma são números medidos na região de 0 a 3 mm em profundidade nas posições especificadas na DESCRIÇÃO.

²: Taxas de refinamento acelerado das porções dianteira e de base são números medidos na região de 0 a 3 mm em profundidade nas posições especificadas na DESCRIÇÃO.

³: Microestruturas das porções dianteira, de alma e base são observadas em uma profundidade de 2 mm nas mesmas posições como especificado na medição da taxa de refinamento acima.

⁴: Ver DESCRIÇÃO e figura 2 para os métodos de exposição das estruturas de cementita pro-eutética e medição do número das redes de cementita pro-eutética que se cruzam (N). Na porção segregada da alma é medido no centro da largura da linha central do filão na superfície transversal da porção de alma. Na camada de superfície da porção de alma é medido em uma profundidade de 2 mm na mesma posi- ção como especificado na observação da microestrutura acima.

⁵: A dureza da porção dianteira é medida na mesma posição da porção dianteira como especificado na observação da microestrutura acima.

Tabela 28

Sim- bolo	Aço	Composi- mento de laminação (n)	Tempo até o início do tratamento térmico da porção de aço (s)	Condições do tratamento térmico e microestrutura da porção de aço ¹	Porção		Condições de resfriamento acelerado e microestrutura das porções diâmetro e de base ^{2,3}		Formação da estrutura de camentila pró-eutética na porção de aço ⁴		Dure- za da porção diâ- metro ⁵ (HV)	
					Porção diâmetro	Porção de base	Taxa de resfri- mento acelerado (°C/s)	Temperatura final do resfriamento acelerado (°C)	Microestrutura	Número das vezes de com- tala pró-eutética que se cozura (N)		
167	74	170	52	Aque- cimento 12°C	Taxa de resfriamento 4,2°C/s Temperatura final do resfriamento 555°C Microestrutura camentila pró-eutética + perla	Porção diâmetro	Porção de base	Taxa de resfri- mento acelerado (°C/s)	Temperatura final do resfriamento acelerado (°C)	Microestrutura	Número das vezes de com- tala pró-eutética que se cozura (N)	Dure- za da porção diâ- metro ⁵ (HV)
						Porção diâmetro	Porção de base					
168	74	170	-	Aque- cimento 54°C	Resfriamento natural no ar Microestrutura camentila pró-eutética + perla	Porção diâmetro	Porção de base	Resfriamento natural no ar	Temperatura final do resfriamento acelerado (°C)	Microestrutura	Número das vezes de com- tala pró-eutética que se cozura (N)	Dure- za da porção diâ- metro ⁵ (HV)
						Porção diâmetro	Porção de base					
169	75	160	65	Resfri- amento acelerado	Taxa de resfriamento 1,0°C/s Temperatura final do resfriamento 550°C Microestrutura camentila pró-eutética + perla	Porção diâmetro	Porção de base	Resfriamento natural no ar	Temperatura final do resfriamento acelerado (°C)	Microestrutura	Número das vezes de com- tala pró-eutética que se cozura (N)	Dure- za da porção diâ- metro ⁵ (HV)
						Porção diâmetro	Porção de base					
170	75	225 (cont- eúdo excessivo do lítio)	35	Resfri- amento acelerado	Taxa de resfriamento 3,5°C/s Temperatura final do resfriamento 540°C Microestrutura: taxa de camentila pró- eutética nos eutéticos do lítio + perla	Porção diâmetro	Porção de base	Resfriamento natural no ar	Temperatura final do resfriamento acelerado (°C)	Microestrutura	Número das vezes de com- tala pró-eutética que se cozura (N)	Dure- za da porção diâ- metro ⁵ (HV)
						Porção diâmetro	Porção de base					

¹: a temperatura de aquecimento, a taxa de resfriamento acelerado e a temperatura final do resfriamento acelerado da porção de aço são números medidos na região de 0 a 3 mm em profundidade nas posições especificadas na DESCRIÇÃO.

²: Taxas de resfriamento acelerado das porções diâmetro e de base são números medidos na região de 0 a 3 mm em profundidade nas posições especificadas na DESCRIÇÃO.

³: Microestruturas das porções diâmetro, de aço e base são observadas em uma profundidade de 2 mm nas mesmas posições como especificado na medição da taxa de resfriamento de aço.

⁴: Ver DESCRIÇÃO e figura 2 para os métodos de exposição, das estruturas de camentila pró-eutética e medição do número das vezes de camentila pró-eutética que se cozura (N). Na porção segregada da aço e metal no centro da largura da linha central do lítio na superfície transversal da porção de aço e metal em uma profundidade de 2 mm na mesma posição como especificado na observação da microestrutura de aço.

⁵: A dureza da porção diâmetro e medida na mesma posição da porção diâmetro como especificado na observação da microestrutura de aço.

Tabela 29

Sim- bolo	Aço	Com- pri- mento de lami- nação (m)	Tempo até o início do tratamento térmico da porção de alma (s)	Condições do tratamento térmico e microestrutura da porção de alma ¹	Porção		Condições de resfriamento acelerado e microestrutura das porções dianteira e de base ^{2,3}			Formação da estrutura de cimentita pro-eutética na porção de alma ⁴		Dure- za da porção di- reta ⁵ (HV)
					Porção de base	Porção dianteira	Taxa de resfrie- mento do acelera- do (C/s)	Tempe- ra- tura final do resfrie- mento do acelera- do (C)	Microestrutura	Número das redes de cementita pro-eutética que se cruzam (N)		
171	76	145	25	Aquecimento 165°C Taxa de resfriamento 9,0°C/s Temperatura final do resfriamento 525°C Microestrutura <u>perla grossa</u>	Porção de base	12,5	445	Perla	Porção segregada	9	485	
					Porção dianteira	5,0	535	Perla	Camada de superfície	1		
172	77	120	125	Resfriamento acelerado Taxa de resfriamento 16,0°C/s Temperatura final do resfriamento 515°C Microestrutura <u>cementita pro-eutética + perla</u>	Porção de base	6,0	505	Perla	Camada de superfície	14	485	
					Porção dianteira	18,0	455	Perla	Porção segregada	38		
173	78	105	-	Resfriamento acelerado Resfriamento natural no ar Microestrutura <u>cementita pro-eutética + perla</u>	Porção de base	Resfriamento natural no ar	Cametilla pro-eutética + perla	Porção segregada	40	345		
					Porção dianteira	Resfriamento natural no ar	Cametilla pro-eutética + perla	Camada de superfície	24			

¹: a temperatura de aquecimento, a taxa de resfriamento acelerado e a temperatura final do resfriamento acelerado da porção de alma são números médios na região de 0 a 3 mm em profundidade nas posições especificadas na DESCRIÇÃO.

²: Taxas de resfriamento acelerado das porções dianteira e de base são números médios na região de 0 a 3 mm em profundidade nas posições especificadas na DESCRIÇÃO.

³: Microestruturas das porções dianteira de alma e base são desenhadas em um profundidade de 2 mm nas mesmas posições como especificado na medição da taxa de resfriamento acima.

⁴: Ver DESCRIÇÃO e figura 2 para os métodos de exposição das estruturas de cementita pro-eutética e medição do número das redes de cementita pro-eutética que se cruzam (N). Na porção segregada da alma é medido no centro da largura da linha central do fio na superfície transversal da porção de alma. Na camada de superfície da porção de alma é medido em uma profundidade de 2 mm na mesma posição como especificado na observação da microestrutura acima.

⁵: A dureza da porção dianteira é medida na mesma posição da porção dianteira como especificado na observação da microestrutura acima.

(Exemplo 9)

[00341] A Tabela 30 mostra a composição química dos trilhos de aço submetidos aos testes abaixo. Observe que o equilíbrio da composição química especificados na tabela é Fe e impurezas inevitáveis.

[00342] As Tabelas 31 e 32 mostram os valores de CCR dos aços listados na Tabela 30, e, com relação a cada um dos trilhos produzidos através do tratamento térmico de acordo com a presente invenção usando os aços listados na Tabela 30, o comprimento de laminação, o período de tempo até o começo do tratamento térmico, as condições do tratamento térmico (taxas de resfriamento e os valores de TCR) no interior e na superfície da porção dianteira do trilho e a microestrutura da porção dianteira do trilho.

[00343] As Tabelas 33 e 34 mostram os valores de CCR dos aços listados na Tabela 30, e, com relação a cada um dos trilhos produzidos através do tratamento térmico comparativo usando os aços listados na Tabela 30, o comprimento de laminação, o período de tempo até o começo do tratamento térmico, as condições do tratamento térmico (taxas de resfriamento e os valores de TCR) no interior e na superfície da porção dianteira do trilho e a microestrutura da porção dianteira do trilho.

[00344] Aqui, são proporcionadas as explicações com relação aos desenhos anexos a ela. A figura 1 é uma ilustração mostrando as denominações de porções diferentes do trilho.

[00345] Na figura 10, o numeral de referência 1 indica a porção superior dianteira, o numeral de referência 2 as porções laterais dianteiras nos lados direito e esquerdo do trilho, o numeral de referência 3 as porções de queixo inferiores nos lados direito e esquerdo do trilho e o numeral de referência 4 a porção interna dianteira, que está localizada na proximidade da posição em uma profundidade de 30 mm da superfície da porção superior dianteira no centro da largura do trilho.

[00346] Os trilhos listados nas tabelas são como segue:

∞ Trilhos tratados com calor de acordo com a presente invenção (11 trilhos), Símbolos 174 a 184

[00347] Os trilhos produzidos pela aplicação de tratamento térmico nas porções dianteiras do trilho sob as condições nas faixas anteriormente mencionadas usando os aços tendo a composição química nas faixas anteriormente mencionadas.

∞ Trilhos tratados com calor comparativos (10 trilhos), Símbolos 185 a 194

[00348] Os trilhos produzidos pela aplicação de tratamento térmico nas porções dianteiras do trilho sob as condições fora das faixas anteriormente mencionadas usando os aços tendo a composição química nas faixas anteriormente mencionadas.

[00349] Observe que qualquer um dos trilhos de aço listados nas Tabelas 31 e 32, e 33 e 34 foram produzidos sob as condições de um período de tempo de 180 s da laminação a quente ao tratamento térmico na porção dianteira do trilho e a razão de redução de área de 6% na passagem final da laminação a quente de acabamento.

[00350] Em cada um desses trilhos, o número dos blocos de perlita tendo tamanhos de grão na faixa de 1 a 15 μm em uma porção de 5 mm em profundidade da porção superior dianteira estava dentro da faixa de 200 a 500 por $0,2 \text{ mm}^2$ do campo de observação.

[00351] Como observado nas Tabelas 31 e 32, e 33 e 34, nos trilhos de aço tendo altos teors de carbono como listado na Tabela 30, nos casos dos trilhos de aço produzidos pelo método de tratamento térmico de acordo com a presente invenção onde a taxa de resfriamento na porção interna dianteira (ICR) foi controlada de modo a não ser menor do que o valor de CCR calculado a partir da composição química do trilho de aço, em contraste com os casos dos trilhos produzidos pelos métodos de tratamento térmico comparativos, a formação

das estruturas de cementita pró-eutetóide na porção interna dianteira foi prevenida e a resistência ao dano por fadiga interna foi aperfeiçoada.

[00352] Além disso, como observado também nas Tabelas 31 e 32, e 33 e 34, foi possível prevenir as estruturas de cementita pró-eutetóide prejudiciais para a ocorrência de dano por fadiga na porção interna dianteira e, ao mesmo tempo, prevenir a formação das estruturas de bainita e martensita prejudiciais para a resistência ao desgaste na camada de superfície da porção dianteira do trilho como resultado do controle do valor de TCR calculado a partir das taxas de resfriamento nas posições diferentes na superfície da porção dianteira do trilho dentro da faixa definida pelo valor de CCR com a intenção de prevenir a formação das estruturas de cementita pró-eutetóide na porção interna dianteira do trilho, ou garantir a taxa de resfriamento na porção interna dianteira (ICR), e estabilizar as estruturas de perlita na camada de superfície da porção dianteira do trilho.

[00353] Como descrito acima, nos trilhos de aço tendo altos teores de carbono, foi possível prevenir a formação das estruturas de cementita pró-eutetóide prejudiciais para a ocorrência do dano por fadiga na porção interna dianteira do trilho e, ao mesmo tempo, obter estruturas de perlita altamente resistentes ao desgaste na camada de superfície da porção dianteira do trilho como resultado do controle da taxa de resfriamento na porção interna dianteira do trilho (ICR) dentro da faixa prescrita e as taxas de resfriamento nas posições diferentes na superfície da porção dianteira do trilho dentro da faixa prescrita.

Tabela 30

Aço	composição química (% em massa)				
	C	Si	Mn	Cr	Mo/V/Nb/B/Co/Cu Ni/Ti/Mg/Ca/Al/Zr
79	0,86	0,25	1,15	0,12	
80	0,90	0,25	1,21	0,05	Mo: 0,02
81	0,95	0,51	0,78	0,22	
82	1,00	0,42	0,68	0,25	
83	1,01	0,75	0,35	0,75	Ti: 0,0150 B: 0,0008
84	1,11	0,11	0,31	0,31	Zr: 0,0017 Ca: 0,0021
85	1,19	1,25	0,15	0,15	V: 0,02 Al: 0,08
86	1,35	1,05	0,25	0,25	

Tabela 51

Sim- bolo	valor de CCR ¹	2CCR	4CCR	Comprimento de laminação (m)	Tempo até o início do tratamento térmico da porção dentária (s)	Condições do tratamento térmico da por- ção interna dentária		Condições do tratamento térmico da superfície dentária				Microestrutura ⁵	
						Taxa de resfriamento (valor de CCR) (°C/s) ²	Taxa de resfriamento na porção superior dentária T (°C/s) ³	Taxa de resfriamento na porção lateral dentária S (°C/s) ³	Taxa de resfriamento na porção de queixo inferior A (°C/s) ³	Valor de TCR ⁴			
Método de resfriamento	81	1,62	3,24	185	178	0,41	4,0	3,0	3,0	1,0	2,00	Porção superior dentária	Perla
												Porção superior dentária	Perla
												Porção interna dentária	Perla
Inerte	81	1,62	3,24	175	150	1,05	6,0	4,0	4,0	2,70	Porção superior dentária	Perla	
											Porção superior dentária	Perla	
											Porção interna dentária	Perla	
178	1,24	2,48	4,96	160	135	1,45	5,0	6,0	5,0	3,35	Porção superior dentária	Perla	
											Porção interna dentária	Perla	
179	82	1,24	2,48	160	120	1,74	5,0	5,0	6,0	3,75	Porção superior dentária	Perla	
											Porção interna dentária	Perla	

¹- CCR (°C/s) = $0,6 + 10 \times (\%C) - 0,9 - 5 \times (\%Si) - 0,9 \times (\%S) - 0,17 \times (\text{Mn}) - 0,13 \times (\text{Cr})$

²- taxa de resfriamento (°C/s) na porção interna dentária: taxa de resfriamento em uma profundidade de 30 mm da superfície superior dentária na taxa de temperatura de 750°C a 650°C.

³- Taxas de resfriamento na superfície dentária (porção superior dentária, porção lateral dentária e porção de queixo inferior), taxa de resfriamento na região da superfície para 5 mm em profundidade na taxa de temperatura de 750°C a 500°C. Taxas de resfriamento na porção lateral dentária e porção de queixo inferior são números médios dos lados direito e esquerdo do tubo.

⁴- TCR = $0,05 \times T$ (Taxa de resfriamento na porção superior dentária, °C/s) + $0,10 \times S$ (taxa de resfriamento na porção lateral dentária, °C/s) + $0,50 \times J$ (taxa de resfriamento na porção de queixo inferior, °C/s).

⁵- Microestruturas são observadas em uma profundidade de 2 mm (porção superior dentária) e em uma profundidade de 30 mm (porção interna dentária) da superfície superior dentária.

Tabela 32

Sim- bolo	Apo- valor de CCR ¹	2 CCR	4 CCR	Compri- mento de laminação (m)	Tempo até o início do tratamento térmico da porção dentária (s)	Condições do tratamento térmico da por- ção interna dentária		Condições do tratamento térmico da superfície dentária				Microestrutura ⁵	
						Taxa de resfis- amento (valor de CCR) (°C/s) ²	Taxa de resfis- amento na porção superior dentária T (°C/s) ³	Taxa de resfis- amento na porção lateral dentária S (°C/s) ³	Taxa de resfis- amento na porção de queixo inferior A (°C/s) ³	Valor de TCR ⁴			
180	83	1,13	2,26	4,52	155	110	1,25	6,0	2,0	5,0	3,00	Porção superior dentária	Perfila
												Porção interna dentária	Perfila
181	63	1,13	2,26	4,52	145	80	1,50	8,0	4,0	5,0	3,30	Porção superior dentária	Perfila
												Porção interna dentária	Perfila
182	84	2,49	4,98	9,97	130	65	3,54	6,0	8,0	12,0	7,10	Porção superior dentária	Perfila
												Porção interna dentária	Perfila
183	85	1,54	3,28	6,56	105	35	2,25	4,0	6,0	8,0	4,80	Porção superior dentária	Perfila
												Porção interna dentária	Perfila
184	86	2,86	5,32	10,64	120	15	2,25	12,0	8,0	14,0	8,40	Porção superior dentária	Perfila
												Porção interna dentária	Perfila

¹: CCR (°C/s) = $0,6 + 10 \times (\%C) - 0,9) - 5 \times (\%AC) - 0,9) \times (SS) - 0,17(\%AM) - 0,13(\%CF)$

²: taxa de resfriamento (°C/s) na porção interna dentária: taxa de resfriamento em uma profundidade de 30 mm da superfície superior dentária na lâmina de temperatura de 750°C a 650°C.

³: Taxas de resfriamento na superfície dentária (porção superior dentária, porção lateral dentária e porção de queixo inferior), taxa de resfriamento na região da superfície para 5 mm em profundidade na taxa de temperatura de 750°C a 500°C. Taxas de resfriamento na porção lateral dentária e porção de queixo inferior são números médios dos lados direito e esquerdo do dente.

⁴: TCR = $0,05 \times T$ (Taxa de resfriamento na porção superior dentária, C/s) + $0,10 \times S$ (taxa de resfriamento na porção lateral dentária, C/s) + $0,50 \times I$ (taxa de resfriamento na porção de queixo inferior, C/s).

⁵: Microestruturas são observadas em uma profundidade de 2 mm (porção superior dentária) e em uma profundidade de 30 mm (porção interna dentária) da superfície superior dentária.

Tabela 33

Sim- bdo	Apo- de CCR ¹	2 CCR	4 CCR	Com- pr- men- to de tra- za- men- to pr- prio (m)	Tempo alé o início da tra- za- men- to da dian- teira (s)	Condições do tratamento térmico da por- ção interna dian- teira		Condições do tratamento térmico da superfície dian- teira			Microestrutura ⁵			
						Taxa de resista- mento (valor de ICR) ² (°C/s) ²	Taxa de resista- men- to na porção superior dian- teira T (°C/s) ³	Taxa de resista- men- to na porção lateral dian- teira S (°C/s) ³	Taxa de resista- men- to na porção de queixo inferior A (°C/s) ³	Valor de TCR ⁴		Porção superior dian- teira	Porção interna dian- teira	Porção superior dian- teira
195	80	0,39	0,78	1,56	198	198	$\frac{0,39}{\text{insuficiente}}$	2,0	1,0	1,0	$\frac{0,70}{\text{insuficiente}}$	Porção superior dian- teira	Porção interna dian- teira	Perla + cementita pro-eutética
196	80	0,39	0,78	1,56	195	178	1,25	6,0	5,0	4,0	$\frac{2,90}{\text{resistimen-to excessivo}}$	Porção superior dian- teira	Porção interna dian- teira	Perla + cementita pro-eutética Perla
Módulo de tra- za- men- to	187	81	0,81	1,62	3,24	165	$\frac{0,55}{\text{insuficiente}}$	4,0	1,0	2,0	$\frac{1,20}{\text{insuficiente}}$	Porção superior dian- teira	Porção interna dian- teira	Perla + cementita pro-eutética Perla
	tem- peratura compara- do	199	81	0,81	1,62	3,24	175	1,75	5,0	5,0	6,0	$\frac{3,75}{\text{resistimen-to excessivo}}$	Porção superior dian- teira	Porção interna dian- teira
199		82	1,24	2,48	4,96	160	$\frac{1,05}{\text{insuficiente}}$	4,0	4,0	3,0	$\frac{2,10}{\text{resistimen-to excessivo}}$	Porção superior dian- teira	Porção interna dian- teira	Perla
190	82	1,24	2,48	4,96	160	120	2,35	10,0	10,0	7,0	$\frac{5,00}{\text{resistimen-to excessivo}}$	Porção interna dian- teira	Perla + cementita pro-eutética	

¹- CCR (°C/s) = $0,6 + 10 \times (\%C) - 0,9 \times (\%Si) - 0,9 \times (\%Mn) - 0,13\%Cr$

²- taxa de resfriamento (°C/s) na porção interna dian-
teira: taxa de resfriamento em uma profundidade de 30 mm da superfície superior dian-
teira na taxa de temperatura de 750°C a 650°C.

³- Taxas de resfriamento na superfície dian-
teira (porção superior dian-
teira, porção lateral dian-
teira e porção de queixo inferior), taxa de resfriamento na região da superfície para 5 mm em profundidade na taxa de temperatura de 750°C a 650°C. Taxas de resfriamento na porção lateral dian-
teira e porção de queixo inferior são maiores, médias dos lados direito e esquerdo do linha.

⁴- TCR = $0,05 \times T$ (taxa de resfriamento na porção superior dian-
teira, °C/s) + $0,10 \times S$ (taxa de resfriamento na porção lateral dian-
teira, °C/s) + $0,50 \times J$ (taxa de resfriamento na porção de queixo inferior, °C/s).

⁵- Microestruturas são observadas em uma profundidade de 2 mm (porção superior dian-
teira) e em uma profundidade de 30 mm (porção interna dian-
teira) da superfície superior dian-
teira.

Tabela 34

Sina- lão	Apo- io	valor de CCR *1	2 CCR	4 CCR	Comprimento de laminado (m)	Tempo até o início do tratamento térmico da porção da diantera (s)	Condições do tratamento térmico da porção interna diantera		Condições do tratamento térmico da superfície diantera				Microestrutura *5
							Taxa de resfri- amento (valor de (CR) (Cs) *2	Taxa de resfri- amento na porção superior diantera T (Cs) *3	Taxa de resfriamento na porção lateral da diantera S (Cs) *3	Taxa de resfriamento na porção de quero inferior A (Cs) *3	Valor de TCR *4		
191	82	1,24	2,48	4,96	160	250 (tempo muito longo, caminha fornada)	0,95 (resfri- amento insufi- ciente)	6,0	2,0	3,0	2,00 (resfri- amento insufi- ciente)	Porção superi- or diantera	Perla
												Porção interna diantera	Perla + traço de ce- mentita pré-oxidada
192	83	1,13	2,26	4,52	145	80	0,95 (resfri- amento insufi- ciente)	6,0	2,0	3,0	2,00 (resfri- amento insufi- ciente)	Porção superi- or diantera	Perla
												Porção interna diantera	Perla + cementita pré- oxidada
193	84	2,49	4,98	9,97	130	65	1,00 (resfri- amento insufi- ciente)	4,0	4,0	3,0	2,10 (resfri- amento insufi- ciente)	Porção superi- or diantera	Perla
												Porção interna diantera	Perla + cementita pré- oxidada
194	86	2,66	5,32	10,64	215 (comprimento excessivo do filão, extremidades do filão superesfriadas)	15	2,25	12,0	8,0	14,0	6,40	Porção superi- or diantera	Perla
												Porção interna diantera	Perla + traço de ce- mentita pré-oxidada

*1- CCR (Cs) = $0,6 + 10 \times (\%Si - 0,9) - 5 \times (\%C) - 0,9 \times (\%S) - 0,17 \times (Mn) - 0,13 \times (Cr)$

*2- taxa de resfriamento (Cs) na porção interna diantera, taxa de resfriamento em uma profundidade de 30 mm da superfície superior diantera na taxa de temperatura de 750°C a 650°C.

*3- Taxas de resfriamento na superfície diantera (porção superior diantera, porção lateral diantera e porção de quero inferior), taxa de resfriamento na região da superfície para 5 mm em profundidade na taxa de temperatura de 750°C a 650°C. Taxas de resfriamento na porção lateral diantera e porção de quero inferior são números médios dos lados direito e esquerdo do filão.

*4- TCR = $0,05 \times T$ (Taxa de resfriamento na porção superior diantera Cs) + $0,10 \times S$ (taxa de resfriamento na porção lateral diantera Cs) + $0,50 \times I$ (taxa de resfriamento na porção de quero inferior Cs).

*5- Microestruturas são observadas em uma profundidade de 2 mm (porção superior diantera) e em uma profundidade de 30 mm (porção interna diantera) na superfície superior diantera.

Aplicabilidade Industrial

[00354] A presente invenção torna possível proporcionar: um trilho de aço perlítico onde a resistência ao desgaste exigida da porção dianteira do trilho para uma ferrovia de carga pesada é aperfeiçoada, a quebra do trilho é impedido pelo controle do número das redes finos do bloco de perlita na porção dianteira do trilho e assim aperfeiçoando a ductilidade e, ao mesmo tempo, a dureza das porções de alma e base do trilho é impedida de deteriorar pela redução da quantidade das estruturas de cementita pró-eutetóide que se formam nas porções de alma e base; e um método para eficientemente produzir um trilho de aço perlítico de alta qualidade pela otimização das condições de aquecimento do bloco (placa) para o trilho e, ao fazer isso, prevenindo a geração de trincamentos e rupturas durante a laminação a quente, e suprimindo a descarburização na superfície externa do bloco (placa).

REIVINDICAÇÕES

1. Método para a produção de um trilho de aço perlítico contendo 0,65 a 1,40 % em massa de C, **caracterizado**, na laminação a quente do trilho, pelas etapas de:

- aplicar laminação a quente de acabamento de modo que a temperatura da superfície do trilho fica na faixa de 850°C a 1000°C e a razão de redução da área seccional na passagem final pode ser 6% ou mais;

- aplicar resfriamento acelerado na porção de alma do dito trilho de aço em uma taxa de resfriamento na faixa de 2 a 20°C/s e nas porções dianteira e de base do dito trilho em uma taxa de resfriamento na faixa de 1 a 10°C/s a partir da faixa de temperatura da austenita para uma temperatura não maior do que 650°C, dentro de 100 s depois da laminação a quente de acabamento;

- controlar o número dos blocos de perlita tendo tamanhos de grão na faixa de 1 a 15 μm de modo a ser 200 ou mais por 0,2 mm² do campo de observação pelo menos em uma parte da região até uma profundidade de 10 mm da superfície dos cantos e topo da porção dianteira; e

- reduzir a quantidade das estruturas de cementita pró-eutetóide que se formam na porção de alma do trilho de modo que o número das redes de cementita pró-eutetóide dividindo ao meio dois segmentos de linha, cada um com 300 μm de comprimento, que se cruzam em ângulos retos (o número das redes de cementita pró-eutetóide que se cruzam, NC) no centro da linha central na porção de alma do trilho satisfaz a expressão $NC \leq CE$, em que CE é definido pela seguinte equação:

$$CE = 60 ([\% \text{ em massa C}]) - 10 ([\% \text{ em massa Si}]) + 10 ([\% \text{ em massa Mn}]) + 500 ([\% \text{ em massa P}]) + 50 ([\% \text{ em massa S}]) + 30 ([\% \text{ em massa Cr}]) - 54.$$

2. Método para a produção de um trilho de aço perlítico de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que o trilho de aço contém ainda, em massa, 0,05 a 2,00% de Si e 0,05 a 2,00% de Mn.

3. Método para a produção de um trilho de aço perlítico de acordo com a reivindicação 2, **caracterizado** pelo fato de que o trilho de aço contém ainda, em massa, 0,05 a 2,00% de Cr.

4. Método para a produção de um trilho de aço perlítico de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, **caracterizado** pelo fato de que, na laminação de acabamento na laminação a quente do dito trilho de aço, laminação de acabamento contínua é aplicada de modo que duas ou mais passagens de laminação possam ser aplicadas em uma razão de redução da área seccional de 1 a 30% por passagem e o período de tempo entre as passagens possa ser 10 s ou menos.

Fig.1

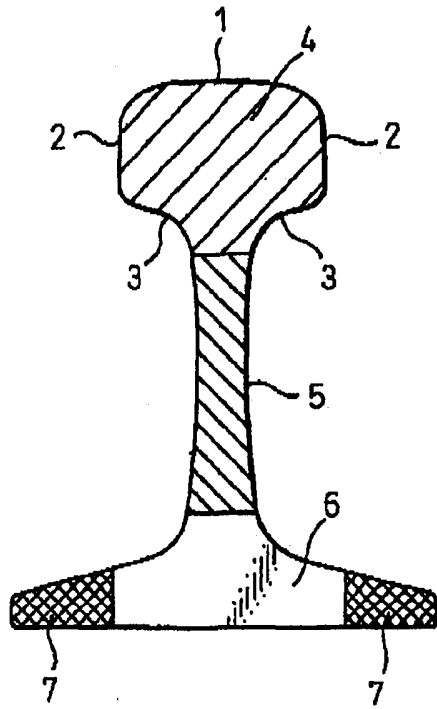


Fig.2

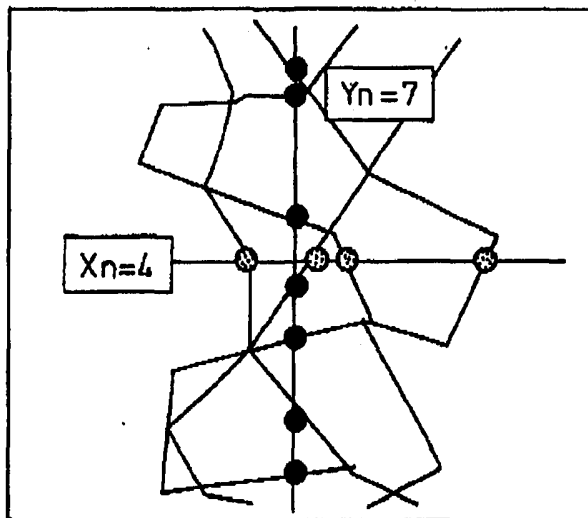


Fig.3

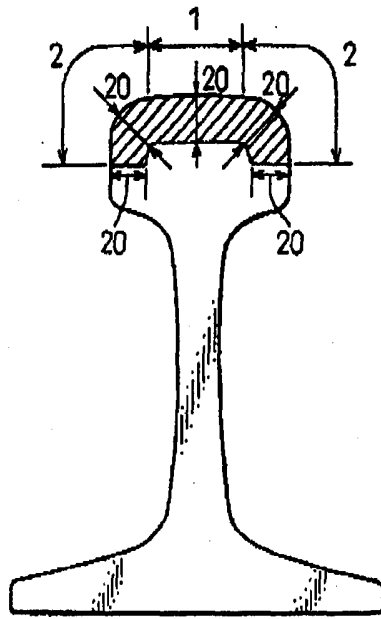


Fig.4

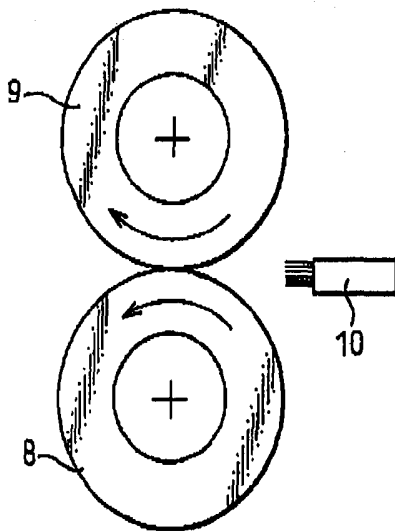


Fig.5

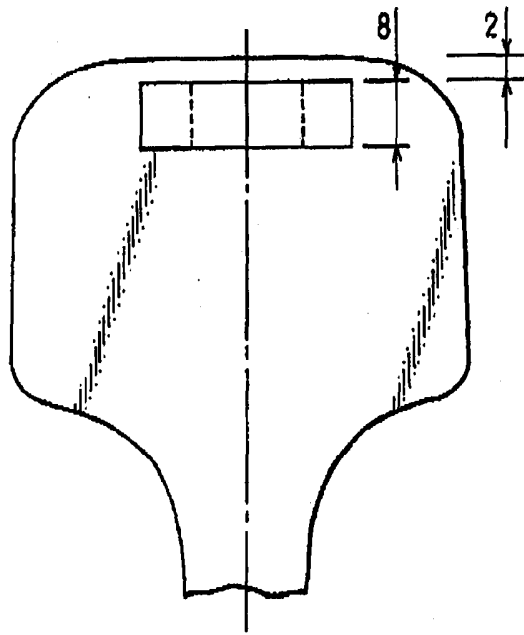


Fig.6

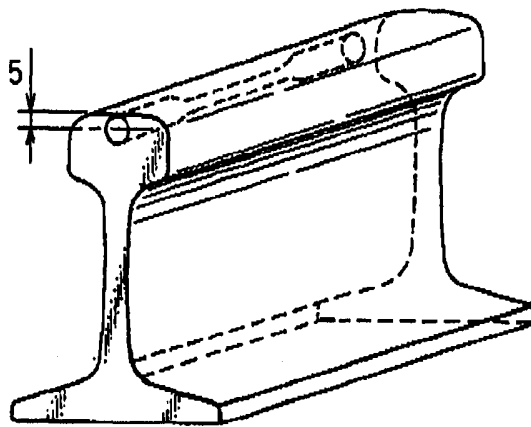


Fig. 7

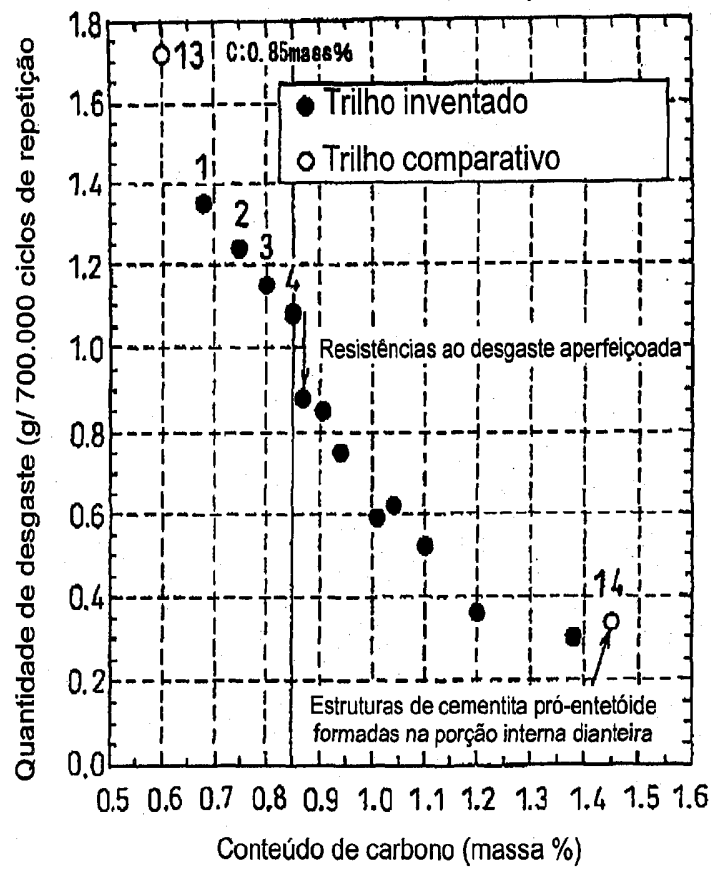


Fig.8

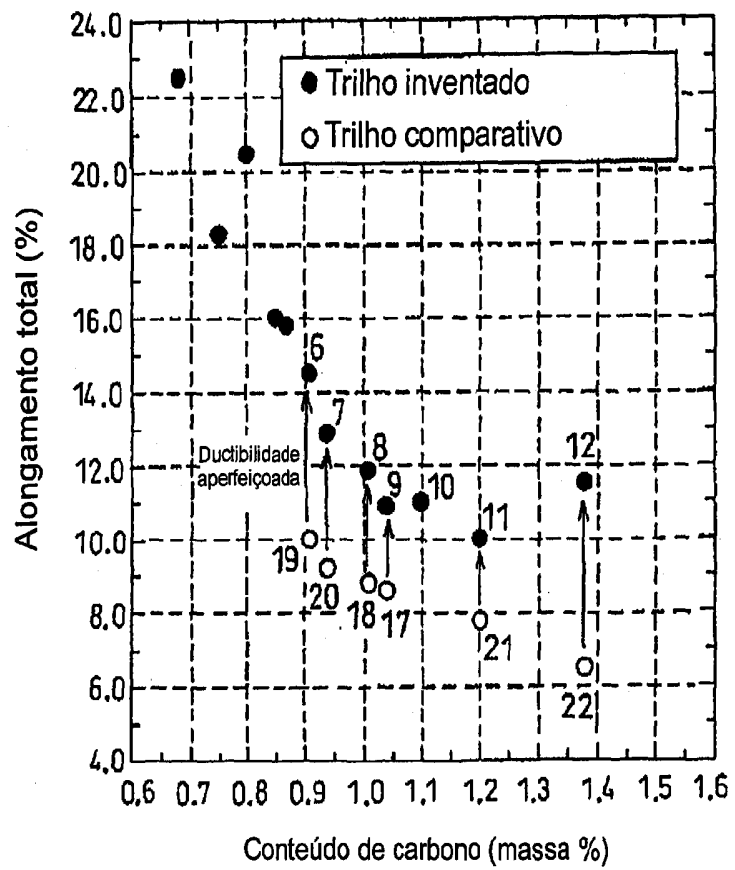


Fig.9

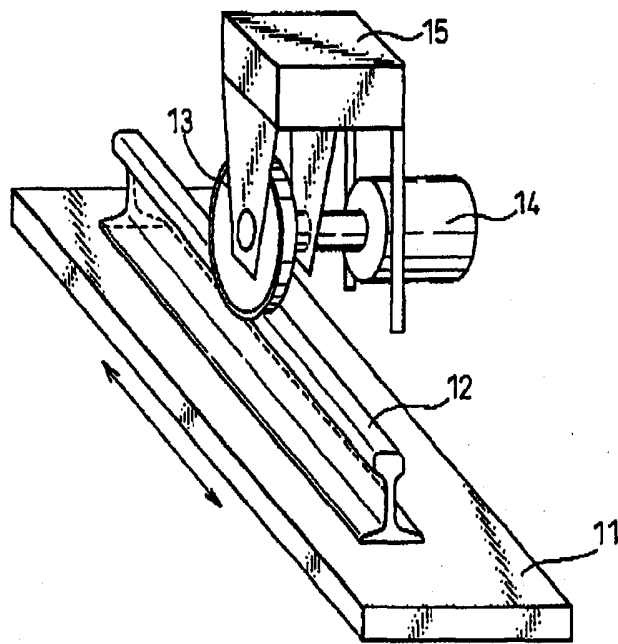
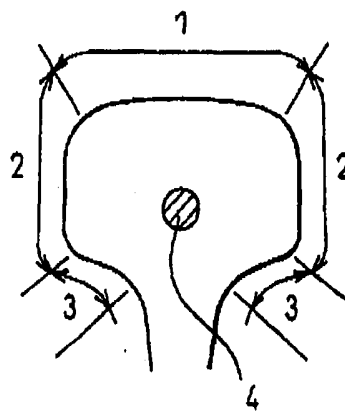


Fig.10



RESUMO

Patente de Invenção: **"MÉTODO PARA A PRODUÇÃO DE UM TRILHO DE AÇO PERLÍTICO EXCELENTE NA RESISTÊNCIA AO DESGASTE E DUCTILIDADE"**.

A presente invenção trata de um método de produzir um trilho de aço perlítico excelente na resistência ao desgaste e ductilidade, possuindo a estrutura de perlita contendo, em massa, 0,65 a 1,40% de C, o número dos blocos de perlita possuindo tamanhos de grão na faixa de 1 a 15 μm é 200 ou mais por 0,2 mm² do campo de observação pelo menos em uma parte da região até uma profundidade de 10 mm da superfície dos cantos e topo da porção dianteira; e um método para a produção de um trilho de aço perlítico excelente na resistência ao desgaste e ductilidade. No método da invenção, na laminação a quente do dito trilho de aço, aplica-se laminação de acabamento de modo que a temperatura da superfície do trilho possa ficar na faixa de 850°C a 1000°C e a razão de redução da área seccional na passagem final possa ser 6% ou mais; e depois aplica-se resfriamento acelerado na porção dianteira do dito trilho em uma taxa de resfriamento na faixa de 1 a 30°C/s a partir da faixa de temperatura da austenita para pelo menos 550°C.