



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

(21) PI 0715102-0 A2



* B R P I 0 7 1 5 1 0 2 A 2 *

(22) Data de Depósito: 24/07/2007

(43) Data da Publicação: 04/06/2013
(RPI 2213)

(51) Int.Cl.:

C21D 8/00
B21B 1/085
B21B 3/00
C21D 9/04
C22C 38/00
C22C 38/04
C22C 38/58

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

(30) Prioridade Unionista: 24/07/2006 JP 2006200860,
03/07/2007 JP 2007174800, 03/07/2007 JP 2007174800, 24/07/2006
JP 2006200860

(73) Titular(es): Nippon Stell Corporation

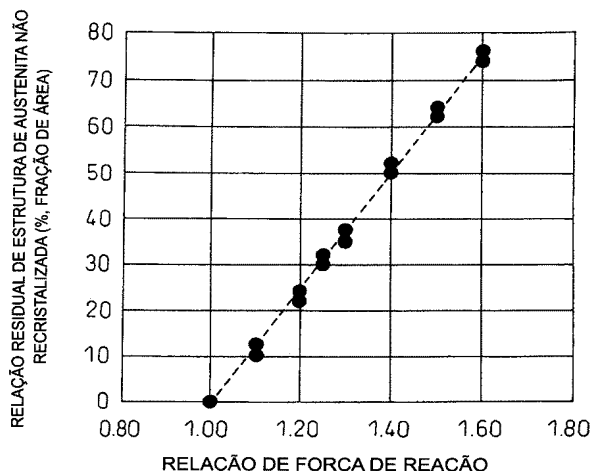
(72) Inventor(es): Kazunori Seki, Masaharu Ueda, Takeshi
Yamamoto, Takuya Satoh

(74) Procurador(es): Dannemann, Siemsen, Bigler &
Ipanema Moreira

(86) Pedido Internacional: PCT JP2007064839 de 24/07/2007

(87) Publicação Internacional: WO 2008/013300de
31/01/2008

(57) Resumo: MÉTODO PARA A PRODUÇÃO DE TRILHO PERLÍTICO EXCELENTE NA RESISTÊNCIA A DESGASTE E NA DUCTILIDADE. A invenção provê um método para a produção de um trilho perlítico pela submissão a pelo menos uma laminação a quente bruta e uma laminação a quente de acabamento de um tarugo compreendendo, em % massa, C: 0,65-1,20%, Si: 0,05-2,00%, Mn: 0,05-2,00%, e um resto de ferro de impurezas inevitáveis, onde a laminação a quente de acabamento é conduzida a uma temperatura de superfície de boleto de trilho em uma faixa não mais alta do que 900°C a não menos do que o ponto de transformação de Ar_3 ou o ponto de transformação de Ar_{cm} para a produção de uma redução cumulativa de área de boleto não menos do que 20% e uma relação de força de reação de não menos do que 1,25, e a superfície de boleto de trilho laminado a quente acabado é submetida a um resfriamento acelerado ou a um resfriamento espontâneo para pelo menos 550 °C a uma taxa de resfriamento de 2 a 30 °C/s, desse modo se refinando a estrutura de boleto de trilho para a obtenção de uma dureza em uma faixa predeterminada e melhorando-se a resistência a desgaste do trilho e a ductilidade.



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

5 A presente invenção se refere a um método para a produção de um trilho para uso em ferrovias de carga pesada, particularmente para um método de produção de trilho perlítico dirigido a simultaneamente melhorar a resistência a desgaste e a ductilidade do boleto de trilho.

DESCRIÇÃO DA TÉCNICA RELACIONADA

10 Embora o aço perlítico de alto carbono seja usado como um material de trilho de ferrovia por causa de sua excelente resistência a desgaste, ele é inferior na ductilidade e na tenacidade, devido ao seu teor de carbono muito alto.

15 Por exemplo, o trilho de aço-carbono comum de um teor de carbono de 0,6 a 0,7% em massa de acordo com a JIS E1101-1990 tem um valor de impacto à temperatura normal pela JIS N° 3 de ensaio de Charpy de entalhe em U de em torno de 12 a 18 J/cm². Quando um trilho como esse é usado a uma temperatura baixa, tal como em uma região de clima frio, ele experimenta uma fratura frágil começando a partir de defeitos iniciais pequenos e fissuras por fadiga.

20 Nos últimos anos, mais ainda, esforços para melhoria da resistência a desgaste de aço de trilho levaram a declínios adicionais na ductilidade e na tenacidade.

25 Como um método geral para melhoria da ductilidade e da tenacidade de um trilho perlítico, é dito como sendo efetivo refinar a estrutura de perlita (tamanho de bloco de perlita), especificamente para refinamento de grão da estrutura de austenita, antes da transformação de perlita e também refinar a estrutura de perlita.

30 Os métodos para refinamento de grão de estrutura de austenita incluem aquele de diminuição da temperatura de laminação a quente ou redução durante uma laminação a quente e aquele de tratamento térmico do trilho laminado a quente por um reaquecimento à baixa temperatura. Os métodos para refinamento da estrutura de perlita incluem aquele de promoção

da transformação de perlita a partir de dentro de grãos de austenita pelo uso de núcleos de transformação.

Contudo, o grau até o qual uma temperatura de laminação a quente pode ser diminuída e uma redução aumentada durante uma produção de trilho é limitado pela necessidade de manutenção da formabilidade durante uma laminação a quente. Um refinamento completo de grãos de austenita, portanto, é impossível. Ainda, um refinamento de estrutura de perlita completo não pode ser obtido pelo uso de núcleos de transformação para transformação de perlita de dentro dos grãos de austenita, porque é difícil controlar a abundância dos núcleos de transformação e a transformação de perlita a partir de dentro dos grãos não é estável.

Tendo em vista estas questões, o método usado para a obtenção do melhoramento fundamental da ductilidade e da tenacidade de trilho de estrutura de perlita é refinar a estrutura de perlita pelo reaquecimento à baixa temperatura do trilho laminado a quente e, após isso, a indução da transformação de perlita por um resfriamento acelerado.

Contudo, quando o referido tratamento térmico de reaquecimento à baixa temperatura é aplicado a aços de carbono ainda mais alto desenvolvidos nos últimos anos com vistas ao melhoramento da resistência a desgaste, carburetos grosseiros permanecem dentro dos grãos de austenita, dando origem a problemas de ductilidade e/ou tenacidade diminuídas da estrutura de perlita após uma laminação a quente. E, uma vez que o método usa reaquecimento, não é econômico nos pontos de custo de produção alto e baixa produtividade.

Devido às circunstâncias precedentes, foi sentida uma necessidade do desenvolvimento de um método para a produção de um trilho de aço de carbono alto capaz de garantir uma boa formabilidade durante uma laminação a quente e permitindo um refinamento da estrutura de perlita após uma laminação a quente, sem condução de um reaquecimento à baixa temperatura.

Os métodos de produção de trilho de aço de carbono alto discutidos a seguir foram desenvolvidos para adequação a esta necessidade. Es-

tes métodos são caracterizados principalmente pelo ponto de refinamento de estrutura de perlita ao tirar vantagem do fato de os grãos de austenita de um aço de carbono alto prontamente se recristalizarem a uma temperatura relativamente baixa e mesmo quando a redução é pequena. Eles melhoram a ductilidade e/ou a tenacidade do aço perlítico pelo uso de uma laminação a quente contínua de redução baixa para a obtenção de grãos de refinamento uniforme.

A Publicação de Patente Japonesa Não Examinada Nº H7-173530A ensina um trilho de ductilidade alta obtido, no decorrer de uma laminação a quente de acabamento de um trilho de aço contendo aço de carbono alto, pela condução de três ou mais passes de laminação a quente contínua a um tempo entre passes predeterminado.

A Publicação de Patente Japonesa Não Examinada Nº 2001-234238A ensina que um trilho de resistência a desgaste alta e tenacidade alta é obtido, no decorrer de uma laminação a quente de acabamento de um trilho de aço contendo aço de carbono alto, pela condução de dois ou mais passes de laminação a quente contínua a um tempo entre passes predeterminado e após a condução da laminação a quente contínua, conduzindo-se um resfriamento acelerado seguindo-se à laminação a quente.

A Publicação de Patente Japonesa Não Examinada Nº 2002-226915A ensina que um trilho de resistência a desgaste alta e tenacidade alta é obtido, no decorrer de uma laminação a quente de acabamento de um trilho de aço contendo aço de carbono alto, pela condução de um resfriamento entre passes e após a condução da laminação a quente contínua, conduzindo-se um resfriamento acelerado seguindo-se à laminação a quente.

Contudo, dependendo do teor de carbono do aço, a temperatura no momento da laminação a quente durante uma laminação a quente contínua e a combinação de número de passe de laminação a quente e tempo entre passes, a técnica ensinada por estas referências de patente não pode obter um refinamento da estrutura de austenita, de modo que a estrutura de perlita aumenta de tamanho de grão para evitar o melhoramento da ductili-

dade e da tenacidade.

Uma outra referência de patente, Publicação de Patente Japonesa Não Examinada Nº S62-127453A, ensina a produção de um trilho excelente na ductilidade e na tenacidade pela laminação a quente à baixa temperatura de um trilho de aço tendo um teor de carbono de 0,90% em massa ou menos a 800 °C ou menos.

Contudo, uma vez que a única exigência especificada pela técnica ensinada por esta referência de patente é uma redução de área de 10% ou mais, uma redução às vezes é insuficiente, em cujo caso é difícil obter a tenacidade e a ductilidade requeridas, particularmente para um trilho de aço de carbono alto ($C > 0,90\%$), cujas ductilidade e tenacidade são facilmente diminuídas e o qual tende a experimentar um crescimento de grão durante uma laminação a quente.

SUMÁRIO DA INVENÇÃO

Contra este pano de fundo, é desejável prover um trilho perlítico tendo uma ductilidade melhorada e excelente resistência a desgaste pela obtenção de um refinamento estável de estrutura de perlita.

A presente invenção foi realizada à luz das questões precedentes e tem como seu objetivo melhorar a resistência a desgaste de boleto e a ductilidade requeridas por um trilho para uso em uma ferrovia de carga pesada, de forma simultânea e consistente.

A essência do método para a produção de um trilho perlítico de acordo com esta invenção está no controle da temperatura de laminação superficial de boleto, na redução cumulativa de boleto e na relação de força de reação durante uma laminação a quente de acabamento e, após isso, a condução de um tratamento térmico apropriado para a melhoria de forma estável da ductilidade e da resistência a desgaste do boleto de trilho.

Especificamente, o melhoramento estável da ductilidade de boleto de trilho é obtido pelo controle da quantidade de austenita não recristalizada da superfície de boleto imediatamente após uma laminação a quente, desse modo se obtendo um refinamento de estrutura de perlita, após o que uma boa resistência a desgaste é obtida pela condução de um resfriamento

acelerado.

A invenção é constituída conforme se segue:

(A) Um método para a produção de um trilho perlítico excelente na resistência a desgaste e na ductilidade pela submissão a pelo menos uma laminação a quente bruta e uma laminação a quente de acabamento de um tarugo compreendendo, em % massa, C: 0,65-1,20%, Si: 0,05-2,00%, Mn: 0,05-2,00%, e um resto de ferro de impurezas inevitáveis, cujo método compreende:

a condução da laminação a quente de acabamento a uma temperatura de superfície de boleto de trilho em uma faixa não mais alta do que 900 °C a não menos do que o ponto de transformação de Ar_3 ou o ponto de transformação de Ar_{cm} para a produção de uma redução cumulativa de área de boleto de não menos do que 20% e uma relação de força de reação, definida como um valor obtido pela divisão da força de reação de trem de laminação por uma força de reação de laminação à mesma redução cumulativa de área e uma temperatura de laminação de 950 °C, não é menor do que 1,25; e

a submissão da superfície de boleto de trilho laminada a quente acabada a um resfriamento acelerado ou a um resfriamento espontâneo para pelo menos 550 °C a uma taxa de resfriamento de 2 a 30 °C/s.

(B) Um método para a produção de um trilho perlítico excelente na resistência a desgaste e na ductilidade, de acordo com (A), onde o resfriamento acelerado é começado em 150 s após a conclusão da laminação a quente de acabamento.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

A FIG. 1 é um diagrama de equilíbrio de Fe-Fe₃C para determinação de Ar_3 e Ar_{cm} (a partir de *Tekko Zairyo* (Iron and Steel Materials), Japan Institute of Metals).

A FIG. 2 é um gráfico baseado nos resultados de um ensaio de laminação a quente conduzido usando-se aços tendo teores de carbono de 0,65 a 1,20%, o que mostra como a relação residual de estrutura de austenita não recristalizada imediatamente após uma laminação a quente variou

como uma função da relação de força de reação (valor obtido pela divisão da força de reação de trem de laminação pela força de reação de laminação na mesma redução cumulativa de área e uma temperatura de laminação a quente de 950 °C).

5 A FIG. 3 mostra as designações atribuídas às regiões de superfície de seção transversal de boleto de um trilho produzido pelo método de produção de trilho da presente invenção.

A FIG. 4 mostra a localização a partir da qual amostras de ensaio foram tomadas na condução dos ensaios de tração mostrados nas Tabelas 3 e 5.

A FIG. 5 mostra a localização a partir da qual amostras de ensaio foram tomadas na condução de ensaios de desgaste mostrados nas Tabelas 3 e 5.

A FIG. 6 é uma visão geral do ensaio de desgaste.

15 A FIG. 7 é um gráfico que mostra como um alongamento total variou como uma função de teor de carbono nos ensaios de tração de boleto conduzidos nos trilhos mostrados nas Tabelas 2 e 3 produzidos pelo método de produção de trilho da presente invenção e nos trilhos mostrados nas Tabelas 4 e 5 produzidos pelos métodos de produção comparativos.

20 A FIG. 8 é um gráfico que mostra como o desgaste variou como uma função de teor de carbono nos ensaios de desgaste de boleto conduzidos nos trilhos mostrados nas Tabelas 2 e 3 produzidos pelo método de produção de trilho da presente invenção e nos trilhos mostrados nas Tabelas 4 e 5 produzidos pelos métodos de produção comparativos.

25 DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO

Um método para produção de um trilho perlítico excelente na resistência a desgaste e na ductilidade é explicado em detalhes abaixo como uma modalidade da presente invenção. A menos que indicado de outra forma, % indica % em massa.

30 Os inventores conduziram uma laminação a quente simulada de aços de alto carbono de vários teores de carbono (de 0,50 a 1,35%) para observarem como o compartimento de grão de austenita está relacionado à

temperatura e à redução de área durante uma laminação a quente.

5 Eles descobriram que quando um aço tendo um teor de carbono na faixa de 0,65% a 1,20% é laminado a quente a uma temperatura na faixa de não mais do que 900 °C e não menos do que o ponto de transformação de Ar_3 ou o ponto de resfriamento de Ar_{cm} , os grãos de austenita iniciais não se recristalizam além dos grãos recristalizados finos de grãos de austenita iniciais recristalizados, de modo que uma grande quantidade de grãos de austenita não rescritalizados (grãos grosseiros planos) é observada.

10 Os inventores também conduziram um experimento para determinação do compartimento de grãos de austenita não rescritalizados após uma laminação a quente. Eles descobriram que quando a temperatura e a redução de área excederam a certos valores, a estrutura de austenita não recristalizada recristaliza grãos de austenita finos durante um resfriamento espontâneo após uma laminação a quente.

15 Os inventores ainda estudaram os grãos de austenita finos obtidos a partir da estrutura de austenita não recristalizada para encontrarem um método para a provisão de forma estável de ductilidade. Eles conduziram experimentos em laboratório de laminação a quente e tratamento térmico e avaliaram a ductilidade por um ensaio de tração. Eles descobriram que um
20 refinamento de estrutura de perlita e um melhoramento de ductilidade estável podem ser efetivamente obtidos ao se manter a quente a quantidade de estrutura de austenita não recristalizada produzida imediatamente após uma laminação a quente em uma certa faixa.

Além dos estudos precedentes, os inventores conduziram uma
25 investigação para a determinação de um método de pós-tratamento térmico imediato para melhoria da ductilidade. Para isto, eles conduziram experimentos em laboratório de laminação a quente e tratamento térmico. Os resultados foram ensaiados à tração para avaliação da ductilidade. Através deste processo, foi aprendido que um aumento de tamanho de grão de grãos de
30 austenita recristalizados pode ser inibido para se melhorar notadamente a ductilidade pela condução não apenas de um resfriamento espontâneo comum após a conclusão da laminação a quente, mas, também, ainda se con-

duzindo um resfriamento acelerado em um certo período de tempo após a conclusão da laminação a quente.

Os inventores então buscaram um método de melhoria adicional da ductilidade pela utilização direta da estrutura de austenita não recristalizada. Para isto, eles conduziram experimentos em laboratório de laminação a quente e tratamento térmico. A ductilidade foi avaliada pelo ensaio de tração. Por meio disto, foi avaliado que quando o tempo de resfriamento espontâneo após a conclusão da laminação a quente é encurtado, de modo que a estrutura de austenita não recristalizada não se recristalize, e um resfriamento acelerado após isso é conduzido neste estado, uma estrutura de perlita muito mais fina ocorre a partir de dentro da estrutura de austenita não recristalizada para elevação da ductilidade para um nível ainda mais alto.

Os inventores em seguida olharam para uma forma de controle da estrutura de austenita não recristalizada que gera a estrutura de perlita fina. Pela condução de experimentos de laminação a quente e avaliação em aços de teor de carbono na faixa de 0,65 a 1,20%, eles descobriram que há uma correlação direta entre o valor obtido pela divisão da força de reação de trem de laminação a quente pela força de reação de laminação na mesma redução cumulativa de área e uma temperatura de laminação a quente de 950 °C (aqui, às vezes denominada a "relação de força de reação"), e a quantidade de estrutura de austenita não recristalizada ocorrendo imediatamente após uma laminação a quente. Eles avaliaram que a quantidade de estrutura de austenita não recristalizada gerada pode ser controlada pelo controle da relação de força de reação.

As descobertas precedentes levaram os inventores à descoberta que no processo de produção de um trilho por laminação a quente de um bloco de carbono alto, uma excelente ductilidade e resistência a desgaste do boleto de trilho podem ser simultaneamente obtidas pelo controle da temperatura de laminação a quente e da relação de força de reação durante uma laminação a quente para não menos do que certos valores, desse modo se fazendo com que uma certa quantidade de estrutura de austenita não recristalizada predeterminada permaneça e, após isso, conduzindo-se um tratamento térmico.

co em um certo período de tempo para refinamento da estrutura de perlita.

As razões para as faixas definidas pela invenção são explicadas conforme se segue:

(1) Razões para as faixas de teor definidas para os componentes químicos do tarugo de aço para laminação de trilho

C: de 0,65 a 1,20%

O C promove uma transformação de perlita e é um elemento que efetivamente trabalha para o estabelecimento de resistência a desgaste. Quando o teor de C está abaixo de 0,65%, a resistência mínima e a resistência a desgaste requeridas pelo trilho não podem ser mantidas. Quando o teor de C excede a 1,20%, a resistência a desgaste e a ductilidade declinam no caso do método de produção da invenção, devido à ocorrência abundante de estrutura de cementita pró-eutectóide grosseira após um tratamento térmico e após um resfriamento espontâneo. O teor de C, portanto, é definido como de 0,65 a 1,20%.

Quando o teor de C é de 0,95% ou maior, a resistência a desgaste melhora notadamente de modo que o efeito de prolongamento da vida em serviço do trilho é pronunciado. Nos métodos de produção convencionais, um teor de carbono alto tende a promover um crescimento de grão e, assim, inibir a ductilidade. Em contraste, a presente invenção pode explorar os méritos de alto teor de carbono. Uma vez que o método de produção da invenção, portanto, melhora a ductilidade em aços de trilho tendo um teor de carbono de 0,95% ou maior, é particularmente efetivo como um método para a provisão de um trilho de carbono alto excelente na resistência a desgaste e na ductilidade.

Si: de 0,05 a 2%

Si é requerido como um desoxidante. O Si também aumenta a dureza (resistência) do boleto de trilho pelo aumento da resistência de solução sólida de fase de ferrita na estrutura de perlita. Mais ainda, em um aço hipereutectóide, o Si inibe a geração de estrutura de cementita pró-eutectóide, desse modo inibindo um declínio na ductilidade. Quando o teor de Si é menor do que 0,05%, estes efeitos não são completamente manifes-

tados. Quando o teor de Si excede a 2,00%, muitos defeitos de superfície ocorrem durante uma laminação a quente e a soldabilidade declina, devido à geração de óxidos. Além disso, a endurecibilidade aumenta notadamente e uma estrutura de martensita prejudicial à resistência a desgaste do trilho e à ductilidade ocorre. O teor de Si, portanto, é definido como de 0,05 a 2,00%.

Mn: de 0,05 a 2,00%

O Mn assegura uma dureza de estrutura de perlita e melhora a resistência a desgaste pelo aumento da endurecibilidade e pela redução do espaçamento lamelar de perlita. Quando o teor de Mn é menor do que 0,05%, seu efeito é ligeiro, de modo que a resistência a desgaste requerida pelo trilho não pode ser obtida facilmente. Quando o teor de Mn excede a 2,00%, a endurecibilidade aumenta notadamente e uma estrutura de martensita prejudicial à resistência a desgaste e à ductilidade prontamente ocorre. O teor de Mn, portanto, é definido como de 0,05 a 2,00%.

Embora esta invenção não estipule particularmente os outros componentes químicos do bloco de aço para laminação a quente de trilho além de C, Si e Mn, o bloco de aço preferencialmente ainda contém, conforme requerido, um ou mais dentre: Cr: 0,05 a 2,00%, Mo: 0,01 a 0,50%, V: 0,005 a 0,5000%, Nb: 0,002 a 0,050, B: 0,0001 a 0,0050%, Co: 0,003 a 2,00%, Cu: 0,01 a 1,00%, Ni: 0,01 - 1,00%, Ti: 0,0050 - 0,0500%, Mg: 0,0005 a 0,0200%, Ca: 0,0005 a 0,0150 a Al: 0,010 a 1,00%, Zr: 0,0001 - 0,2000%, e N: 0,0060 a 0,0200%

Cr: 0,05 a 2,00%

O Cr refina a estrutura de perlita. Portanto, ele contribui para um melhoramento na resistência a desgaste ao ajudar a obter uma dureza alta (resistência). Quando o teor de Cr é menor do que 0,05%, seu efeito é ligeiro. Quando o teor de Cr excede a 2,00%, muita estrutura de martensita prejudicial à resistência a desgaste e à ductilidade ocorre. O teor de Cr, portanto, é preferencialmente de 0,05 a 2,00%.

Mo: de 0,01 a 0,50%

O Mo melhora a dureza de estrutura de perlita (resistência). Especificamente, ele ajuda a obter uma alta dureza (alta resistência) pelo refi-

ramento da estrutura de perlita. Quando o teor de Mo é menor do que 0,01%, seu efeito é ligeiro. Quando o teor de Mo excede a 0,50%, muita estrutura de martensita prejudicial à ductilidade ocorre. O teor de Mo, portanto, é preferencialmente de 0,01 a 0,50%.

5 V: de 0,005 a 0,500%

V forma nitretos e carburetos, desse modo melhorando a ductilidade e também efetivamente melhora a dureza (resistência). Quando o V está presente em um teor de menos de 0,005%, não se pode esperar que exiba um efeito suficiente. Quando o teor de V excede a 0,500%, a ocorrência de precipitantes grosseiros que atuam como pontos de partida de danos por fadiga é observada. O teor de V, portanto, preferencialmente é de 0,005 a 0,500%.

Nb: de 0,002 a 0,050%

O Nb forma nitretos e carbonitretos, desse modo melhorando a ductilidade, e também efetivamente melhora a dureza (resistência). Além disso, ele estabiliza a estrutura de austenita não recristalizada ao elevar a faixa de temperatura de não recristalização de austenita. O Nb não é efetivo a um teor de menos de 0,002%. Quando o teor de Nb excede a 0,050%, a ocorrência de precipitantes grosseiros que atuam como pontos de partida de danos por fadiga é observada. O teor de V, portanto, preferencialmente é de 0,002 a 0,050%.

B: de 0,0001 a 0,0050%

O B uniformiza a distribuição de dureza de boleto de trilho pelo refinamento da cementita pró-eutectóide gerada. Portanto, ele impede o declínio na ductilidade e prolonga a vida em serviço do trilho. Quando o teor de B é menor do que 0,0001%, seu efeito é inadequado. Quando o teor de B excede a 0,0050%, precipitados grosseiros ocorrem. O teor de B, portanto, preferencialmente é de 0,0001 a 0,0050%.

Co: de 0,003 a 2,00%

30 O Co melhora a dureza (resistência) de estrutura de perlita. Ele também ainda refina as lamelas finas da estrutura de perlita formadas imediatamente sob a superfície de laminação pelo contato de rodas com a super-

fície de desgaste de boleto de trilho, desse modo melhorando a resistência a desgaste. O Co não é efetivo a um teor de menos de 0,003%. Quando o teor de Co excede a 2,00%, a superfície de laminação sustenta uma fragmentação. O teor de C, portanto, é preferencialmente de 0,003 a 2,00%.

5 Cu: de 0,01 a 1,00%

O Cu melhora a dureza (resistência) de estrutura de perlita. O Cu não é efetivo a teor de menos de 0,01%. Quando o teor de Cu excede a 1,00%, uma estrutura de martensita prejudicial à resistência a desgaste ocorre. O teor de Cu, portanto, preferencialmente é de 0,01 a 1,00%.

10 Ni: de 0,01 a 1,00%

O Ni assegura uma dureza alta (alta resistência) de aço perlítico. Quando o teor de Ni é menor do que 0,01%, seu efeito é diminuto. Quando o teor de Ni excede a 1,00%, a superfície de laminação sustenta uma fragmentação. O teor de Ni, portanto, preferencialmente é de 0,01 a 1,00%.

15 Ti: de 0,0050 a 0,0500%

O Ti forma nitretos e carbonitretos, desse modo melhorando a ductilidade, e também efetivamente melhora a dureza (resistência). Além disso, ele estabiliza a estrutura de austenita não recristalizada ao elevar a faixa de temperatura de não recristalização de austenita. O efeito do Ti é ligeira a um teor de menos de 0,0050%. Quando o teor de Ti excede a 0,0500%, a ductilidade de trilho notadamente diminui, devido à ocorrência de precipitantes grosseiros. O teor de Ti, portanto, é preferencialmente de 0,0050 a 0,0500%.

Mg: de 0,0005 a 0,0200%

25 O Mg efetivamente melhora a ductilidade da estrutura de perlita ao refinar os grãos de austenita e a estrutura de perlita. O efeito de Mg é fraco a um teor de menos de 0,0005%. Quando o teor de Mg excede a 0,0200%, a ductilidade de trilho é reduzida, devido à ocorrência de óxidos de Mg grosseiros. O teor de Mg, portanto, é preferencialmente de 0,0005 a 30 0,0200%.

Ca: de 0,0005 a 0,0150%

O Ca promove uma transformação de perlita e, portanto, é efeti-

vo na melhoria da ductilidade da estrutura de perlita. O efeito de Ca é fraco a um teor de menos de 0,0005%. Quando o teor de Ca excede a 0,0150%, a ductilidade de trilha é reduzida, devido à ocorrência de óxidos de Ca grosseiros. O teor de Ca, portanto, é preferencialmente de 0,0005 a 0,0150%.

5 Al: de 0,010 a 1,00%

O Al é efetivo para a obtenção de uma estrutura de perlita de reservatório alta e inibição da geração de uma estrutura de cementita pró-eutectóide. O efeito de Al é fraco a um teor de menos de 0,010%. Quando o teor de Al excede a 1,00%, a ductilidade de trilha é reduzida, devido à ocorrência de inclusões grosseiras de alumina. O teor de Al, portanto, é preferencialmente de 0,010 a 1,00%.

Zr: de 0,0001 a 0,2000%

O Zr suprime a geração de estrutura de cementita pró-eutectóide em regiões de segregação. Quando o teor de Zr é menor do que 0,0001%, uma estrutura de cementita pró-eutectóide ocorre para diminuir a ductilidade de trilha. Quando o teor de Zr excede a 0,2000%, a ductilidade de trilha é reduzida pela ocorrência abundante de inclusões do tipo de Zr grosseiras. O teor de Zr, portanto, preferencialmente é de 0,0001 a 0,2000%.

N: de 0,0060 a 0,200%

20 O N aumenta a ductilidade de estrutura de perlita, enquanto também efetivamente melhora a dureza (resistência). O efeito do N é fraco a um teor de menos de 0,0060%. Quando o teor de N excede a 0,0200%, é difícil colocá-lo em solução sólida no aço e ele forma bolhas que atuam como pontos de partida de danos por fadiga. O teor de N, portanto, preferencialmente é de 0,0060 a 0,02000%. O trilha de aço contém N como uma impureza em um teor máximo de em torno de 0,0050%. A adição intencional de N é requerida, portanto, para se levar o teor de N para a faixa precedente.

Na presente invenção, o bloco de aço para laminação de trilha tendo a composição precedente é produzido com um forno de fundição usado comumente, tal como um conversor ou um forno elétrico e o aço fundido é fundido como um lingote ou em uma fundição contínua.

(2) Razão para a definição de uma faixa de temperatura de lami-

nação a quente

A razão para limitação da temperatura de laminação a quente da superfície de boleto de trilho na laminação a quente de acabamento para dentro da faixa regulada nas reivindicações será explicada em detalhes. Deve ser notado que o bloco de aço para laminação de trilho é submetido a uma laminação a quente grosseira e a uma laminação a quente intermediária, antes da condução da laminação a quente de acabamento.

Quando uma laminação a quente é conduzida com a superfície de boleto de trilho a uma temperatura mais alta do que 900°C , a relação de força de reação requerida durante uma laminação a quente não pode ser obtida sob a redução cumulativa de área do boleto de acordo com a presente invenção. Isto torna impossível obter uma quantidade adequada de estrutura de austenita não recristalizada, de modo que a estrutura de perlita após uma laminação a quente e um tratamento térmico não é refinada e a ductilidade, portanto, não melhora. Mais ainda, quando uma laminação a quente é realizada na faixa de temperatura mais baixa do que o ponto de transformação de Ar_3 ou do que o ponto de transformação de Ar_{cm} , uma estrutura de ferrita e/ou uma estrutura de cementita grosseira se formam em torno da estrutura de austenita não recristalizada, de modo que a resistência a desgaste e a ductilidade do trilho são notadamente reduzidas. A faixa da temperatura de laminação a quente da superfície de boleto de trilho, portanto, é definida como não tão alta quanto 900°C , nem mais baixa do que o ponto de transformação de Ar_3 ou do que o ponto de transformação de Ar_{cm} .

Em uma temperatura de laminação a quente de acabamento abaixo de 850°C , a relação de força de reação requerida pode ser obtida de modo particularmente fácil para a obtenção de uma quantidade adequada de estrutura de austenita não recristalizada, o refinamento da estrutura de perlita pós-laminação e tratamento térmico e, ainda, melhora a ductilidade do trilho. A temperatura de laminação a quente de acabamento, portanto, preferencialmente, é controlada para mais baixa do que 850°C , mas não mais baixa do que o ponto de transformação de Ar_3 ou do que o ponto de transformação de Ar_{cm} .

O ponto de transformação de Ar_3 e o ponto de transformação de Ar_{cm} variam com o teor de carbono de aço e com a composição de liga. A melhor forma para a determinação do ponto de transformação de Ar_3 e do ponto de transformação de Ar_{cm} é por medição direta em um ensaio de reaquecimento e resfriamento ou similar. Contudo, essa medição direta não é fácil e é suficiente adotar o método mais simples de leitura dos pontos de transição a partir de um diagrama de equilíbrio de Fe-Fe₃C tal como mostrado em *Tekko Zairo* (Iron and Steel Materials), publicado pelo Japan Institute of Metals, baseado unicamente no teor de carbono. A FIG. 1 mostra um exemplo de um diagrama de equilíbrio de Fe-Fe₃C.

O ponto de transformação de Ar_3 e o ponto de transformação de Ar_{cm} no sistema de composição desta invenção são preferencialmente tornados valores de 20 a 30 °C abaixo da linha de A_3 e da linha de Ar_{cm} do diagrama de equilíbrio. Na faixa de teor de carbono desta invenção, o Ar_3 está na faixa de em torno de 700 °C a 740 °C e o Ar_{cm} está na faixa de em torno de 700 °C a 860 °C.

(3) Razão para a definição de uma redução cumulativa de área de boleto de trilho

A razão para limitação d redução cumulativa de área do boleto de trilho laminado a quente acabado para dentro das faixas reguladas nas reivindicações será explicada em detalhes.

Quando a redução cumulativa de área do boleto de trilho é menor do que 20%, a quantidade de deformação na estrutura de austenita não recristalizada declina, de modo que a estrutura de austenita após uma recristalização não é refinada na faixa de temperatura de laminação a quente da invenção. A estrutura de austenita, portanto, é grosseira. Mais ainda, a estrutura de perlita não se forma a partir da banda de deformação da estrutura de austenita não recristalizada processada. Como resultado, a estrutura de perlita é grosseira e a ductilidade de trilho não melhora. A redução cumulativa de área do boleto de trilho, portanto, é definida como de 20% ou maior.

A redução cumulativa de área do boleto de trilho será explicada.

A redução cumulativa de área é a relação pela qual a área da

seção transversal de boleto de trilho após o passe de laminação final é reduzida em relação àquela antes do primeiro passe de laminação na laminação a quente de acabamento. Assim, independentemente de qual passe ou quais passes de laminação estão sendo conduzidos no decorrer da laminação a quente de acabamento, a redução cumulativa de área é a mesma para a mesma combinação de formatos de seção transversal de boleto no primeiro passe e no passe final da laminação a quente.

Embora nenhum limite superior em particular seja regulado na redução cumulativa de área do boleto de trilho laminado a quente acabado, o limite superior prático do ponto de vista de garantir uma formabilidade de boleto de trilho e uma acurácia dimensional é de em torno de 50%.

Embora a invenção não imponha nenhum limite em particular quanto ao número de passes de laminação ou o intervalo entre passes durante uma laminação a quente de acabamento, do ponto de vista de controle da recuperação de deformação dos grãos de austenita não rescritalizados no decorrer da laminação a quente e de obtenção de uma estrutura de perlita fina após um resfriamento espontâneo e um tratamento térmico, o número de passes de laminação preferencialmente é de 4 ou menos, e o intervalo máximo entre os passes de laminação é preferencialmente de 6 s ou menos.

(4) Razão para a definição de uma relação de força de reação durante uma laminação a quente de acabamento

A razão para limitação da relação de força de reação durante uma laminação a quente de acabamento para dentro da faixa regulada nas reivindicações será explicada em detalhes.

Quando a relação de força de reação durante uma laminação a quente de acabamento é menor do que 1,25, uma quantidade adequada de estrutura de austenita não recristalizada não é obtida, a estrutura de perlita após o tratamento térmico não é refinada, e a ductilidade não melhora. A relação de força de reação durante uma laminação a quente de acabamento, portanto, é definida como não menor do que 1,25.

A FIG. 2 resume os resultados de um ensaio de laminação a quente usando aços contendo de 0,65 a 1,20% de carbono. Conforme mos-

trado na FIG. 2, a relação entre o valor obtido pela divisão da força de reação de trem de laminação pela força de reação de laminação na mesma redução cumulativa de área e uma temperatura de laminação de 950 °C, isto é, a relação de força de reação, e a relação residual de estrutura de austenita não recristalizada imediatamente após uma laminação é linear, e quando a relação de força de reação excede a 1,25, a relação residual de estrutura de austenita não recristalizada imediatamente após uma laminação a quente excede a 30%. Como resultado, a estrutura de perlita após o tratamento térmico é refinada e a ductilidade melhora.

A relação de força de reação, portanto, pode ser usada como um novo parâmetro para controle da relação residual de estrutura de austenita não recristalizada, de modo a refinar a estrutura de perlita, após um tratamento térmico. É valioso notar que a relação residual de estrutura de austenita não recristalizada pode ser levada para 50% e mais alto pela elevação da relação de força de reação para 1,40 e acima. Este efeito é particularmente pronunciado em aços de carbono alto, especificamente, aços tendo um teor de carbono de 0,95% ou mais alto, em que a ductilidade é dura de se obter porque um crescimento de grão ocorre prontamente em um teor de carbono alto.

O controle de relação de força de reação nesta invenção preferencialmente é realizado usando-se um detector de carga (célula de carga) ou similar instalado no trem de laminação. Em um processo de produção real, o valor médio da relação de força de reação preferencialmente é controlado como um valor representativo, porque a força de reação varia na direção longitudinal do trilho durante uma laminação de trilho.

Embora nenhum limite superior seja regulado para a relação de força de reação, o limite superior prático na temperatura de laminação a quente da invenção e a redução cumulativa de faixas de área de boleto de trilho é de em torno de 1,60.

Embora nenhum limite inferior em particular seja regulado na relação residual de austenita não recristalizada, uma relação residual de boleto de trilho de 30% ou maior é estabelecida preferencialmente, de modo a

se melhorar a ductilidade do boleto de trilho pelo controle da relação de força de reação. Uma ductilidade excelente pode ser assegurada pelo estabelecimento de uma relação residual de estrutura de austenita não recristalizada de 50% ou maior. Portanto, no caso de um aço de carbono alto de teor de carbono de 0,95% ou maior, em que uma boa ductilidade é dura de se obter, é preferível estabelecer uma relação residual de estrutura de austenita não recristalizada de 50% ou mais. Embora nenhum limite superior em particular seja regulado para a relação residual de estrutura de austenita não recristalizada, o limite superior prático nas faixas de temperatura e de redução de área da invenção é de em torno de 70%.

A quantidade de estrutura de austenita não recristalizada gerada imediatamente após uma laminação a quente pode ser avaliada pelo resfriamento brusco de um trilho curto cortado a partir do trilho longo imediatamente após uma laminação de trilho. É possível checar a estrutura de austenita, por exemplo, pelo corte de uma amostra a partir do boleto de trilho resfriado bruscamente, polindo-se a amostra, e, então, atacando-a quimicamente com uma mistura de ácido sulfônico e ácido pícrico. A estrutura de austenita não recristalizada pode ser distinguida com um microscópio ótico, porque é mais grosseira e mais plana na direção de laminação do que a estrutura de austenita não recristalizada.

A relação residual de estrutura de austenita não recristalizada pode ser calculada pela adaptação da estrutura de austenita não recristalizada a uma elipse, determinando-se a área, e calculando-se a relação a partir de sua proporção da área de campo. Embora os detalhes do método de medição não sejam particularmente especificados, 5 ou mais campos são observados preferencialmente a uma magnificação de 100x ou maior.

Se, por exemplo, a relação residual de estrutura de austenita não recristalizada no boleto de trilho imediatamente após uma conclusão de laminação a quente for medida a uma profundidade de 6 mm a partir da superfície do boleto de trilho 1 (veja a FIG. 3), o resultado poderá ser adotado como típico da superfície de boleto de trilho geral.

(5) Razão para a definição de condições de tratamento térmico

pós-laminação a quente de acabamento

Uma explanação detalhada da razão para a especificação de condições de tratamento térmico da superfície de boleto de trilho pós-laminado a quente acabado será dada primeiramente.

5 Embora o método de resfriamento até o começo do resfriamento acelerado não seja especificado, um resfriamento espontâneo ou um resfriamento gradual é preferível. Isto é porque um resfriamento espontâneo ou um resfriamento gradual conduzido após uma laminação a quente refina a estrutura de austenita não recristalizada imediatamente após uma laminação a quente, desse modo se promovendo um refinamento do grão de austenita. O resfriamento espontâneo após uma laminação a quente referido aqui significa um resfriamento com permissão para prosseguir espontaneamente em ar ambiente, sem qualquer aquecimento ou tratamento de resfriamento que seja. Um resfriamento gradual significa um resfriamento a uma taxa de resfriamento de 2 °C/s ou mais lento.

15 Uma explanação será feita em seguida com respeito a por que as condições de tratamento térmico estabelecidas nas reivindicações permitem um melhoramento consistente de ductilidade pelo uso de grãos de austenita finos obtidos a partir de uma estrutura de austenita não recristalizada remanescente após uma laminação a quente.

20 O tempo da conclusão da laminação a quente de acabamento até o começo de resfriamento acelerado preferencialmente não é mais longo do que 150 s. Quando um resfriamento acelerado é começado após mais de 150 s, o crescimento de grão não é pronunciado. A estrutura de austenita recristalizada a partir da estrutura de austenita não recristalizada, portanto, sofre um aumento de tamanho de grão, tornando impossível obter uma estrutura de austenita fina. A ductilidade pode declinar, como resultado. O tempo para começo do resfriamento acelerado, portanto, preferencialmente é definido como caindo em 150 s após a laminação a quente de acabamento.

30 Embora nenhum limite inferior seja regulado quanto ao intervalo de tempo entre a conclusão de laminação a quente de acabamento e o co-

meço de resfriamento acelerado, é preferível que para geração completa de estrutura de perlita fina a partir do interior da estrutura de austenita não recristalizada conduzir um resfriamento acelerado imediatamente após a laminação, de modo a se evitar uma recuperação de deformação de laminação.

- 5 O limite inferior prático, portanto, é de em torno de 0 a 10 s após a conclusão da laminação a quente.

A faixa da taxa de resfriamento acelerado da superfície de boleto de trilho será explicada em seguida. Sob as condições de produção da presente invenção, nenhum melhoramento de ductilidade é obtido a uma taxa de resfriamento acelerado de menos de 2 °C/s, porque a estrutura de austenita não recristalizada aumenta de tamanho de grão durante o resfriamento. Além disso, uma dureza alta do boleto de trilho não pode ser obtida, de modo que é difícil assegurar uma boa resistência a desgaste do boleto de trilho. Mais ainda, dependendo da composição de aço, uma estrutura de cementita pró-eutectóide e/ou uma estrutura de ferrita pró-eutectóide podem ocorrer para diminuição da resistência a desgaste e da ductilidade do boleto de trilho. Quando a taxa de resfriamento acelerado excede a 30 °C/s, a ductilidade e a tenacidade do boleto de trilho diminuem notadamente sob as condições de produção da invenção, devido à ocorrência de estrutura de martensita. A faixa da taxa de resfriamento acelerado da superfície de boleto de trilho, portanto, é definida como de 2 a 30 °C/s.

Finalmente, a faixa da temperatura de resfriamento acelerado da superfície de boleto de trilho será explicada. Quando o resfriamento acelerado do boleto de trilho é terminado a uma temperatura acima de 550 °C, uma grande quantidade de calor recuperativo do interior do trilho eleva a temperatura após uma terminação de resfriamento acelerado, desse modo aumentando a temperatura de transformação de perlita. Como resultado, a resistência a desgaste requerida não pode ser obtida, porque a estrutura de perlita não pode ser endurecida até um grau auto. Além disso, a estrutura de perlita tem o tamanho de grão aumentado, de modo que a ductilidade do boleto de trilho também declina. O resfriamento acelerado, portanto, é definido como sendo conduzido a pelo menos 550 °C.

Embora a temperatura a partir da qual o resfriamento acelerado da superfície de boleto de trilho é iniciado não seja particularmente especificada, o limite inferior prático da temperatura de começo é o ponto de transformação de Ar_3 ou o ponto de transformação de Ar_{cm} , por causa da desejabilidade de inibição da ocorrência de uma estrutura de ferrita prejudicial para a resistência a desgaste e a estrutura de cementita grosseira prejudicial para a tenacidade.

Embora o limite inferior não seja particularmente especificado para a temperatura na qual o resfriamento acelerado do boleto de trilho é terminado, o limite inferior prático é de 400 °C do ponto de vista de garantir uma dureza de boleto de trilho e evitar a ocorrência de uma estrutura de martensita que prontamente ocorre em regiões de segregação e similares dentro do boleto de trilho.

As regiões do trilho serão explicadas.

A FIG. 3 mostra as designações atribuídas a regiões do trilho. Conforme mostrado na FIG. 3, o boleto de trilho de acordo com a presente invenção tem uma porção localizada acima da linha horizontal que passa através de um ponto A em que as extensões das superfícies inferiores dos lados de boleto 3 se interceptam, cuja porção inclui um topo de boleto de trilho 1, cantos de boleto 2 e os lados de boleto 3. A redução de área durante uma laminação a quente pode ser calculada a partir da taxa de redução da área de seção transversal da região hachurada. Com respeito à temperatura da superfície de boleto de trilho durante uma laminação a quente, é possível pelo controle da temperatura da superfície de boleto no topo de boleto de trilho 1 e nos cantos de boleto 2 controlar a relação de força de reação durante uma laminação a quente e, assim, obter um controle de grão de austenita não recristalizado para melhoria da ductilidade do trilho.

A taxa de resfriamento acelerado e a temperatura de terminação de resfriamento acelerado no tratamento térmico pós-laminação explicado nos precedentes podem ser medidas na superfície ou dentro de uma faixa de profundidade de 3 mm sob a superfície do topo de boleto de trilho 1 e dos cantos de boleto 2 mostrados na FIG. 3, para a obtenção de temperaturas

típicas do boleto de trilho como um todo, e uma estrutura de perlita fina excelente na resistência a desgaste e na ductilidade pode ser obtida pelo controle das temperaturas destas regiões e da taxa de resfriamento.

5 Embora esta invenção não especifique particularmente o meio de resfriamento usado para o resfriamento acelerado, é preferível do ponto de vista de garantir uma taxa de resfriamento adequada para controle confiável da condição de resfriamento nas respectivas regiões de trilho, conduzir o resfriamento predeterminado na superfície externa das regiões de trilho usando-se ar, vapor ou um meio misto de ar e vapor.

10 Embora esta invenção não defina particularmente a dureza do boleto de trilho, uma dureza de Hv de 350 ou maior preferencialmente é estabelecida para se garantir a resistência a desgaste requerida para uso em uma ferrovia de carga pesada.

15 Embora a estrutura metalográfica do trilho de aço produzido de acordo com esta invenção seja preferencialmente perlita, quantidades ligeiras de estrutura de ferrita pró-eutectóide, estrutura de cementita pró-eutectóide e estrutura de bainita podem ser formadas na estrutura de perlita, dependendo do sistema de componente selecionado e das condições de resfriamento acelerado. Contudo, a ocorrência de pequenas quantidades
20 destas estruturas na estrutura de perlita não tem um efeito grande sobre a resistência à fadiga e a tenacidade do trilho. A estrutura metalográfica do boleto do trilho de aço produzido de acordo com esta invenção, portanto, é definida para incluir casos em que alguma quantidade de estrutura de ferrita pró-eutectóide, estrutura de cementita pró-eutectóide e estrutura de bainita
25 também esteja presente.

EXEMPLOS

Os exemplos da presente invenção são explicados a seguir.

30 As composições químicas de aços de trilho de teste são mostradas na Tabela 1. A Tabela 2 mostra as condições de laminação a quente de acabamento, as relações de força de razão, as relações residuais de boleto de estrutura de austenita não recristalizada imediatamente após uma laminação a quente, e as condições de tratamento térmico quando se usam os

aços de teste mostrados na Tabela 1 (Aços: A a J, O e P) para a realização da produção pelo método de produção de trilho da invenção. A Tabela 3 mostra as microestruturas e a dureza a 2 mm abaixo da superfície de boleto de trilho dos trilhos produzidos sob as condições da Tabela 2, os alongamentos totais no ensaio de tração de peças de teste dos mesmos tomados na localização mostrada na FIG. 4, e os resultados de ensaio de desgaste conduzido pelo método mostrado na FIG. 6 em peças de teste dos mesmos tomadas na localização mostrada na FIG. 5. Os valores numéricos nas FIG. 4 e 5 são expressos em milímetros (mm). Na FIG. 6, os números de referência 4, 5 e 6 designam uma peça de teste de trilho, um material de contrapartida e um bocal de resfriamento, respectivamente.

Tabela 1

AÇ O	Composição Química (% em massa)				Ar ₃ (°C)	Ar _{cm} (°C)
	C	Si	Mn	Cr/Mo/V/Nb/B/Co/ Cu//Ni/Ti/Mg/Ca/Al/Zr/N		
A	0,65	0,25	1,75	Cu: 0,30, Ni: 0,15	740	Nenhum
B	0,75	0,80	0,80	Ti: 0,0150, B: 0,0011, Mo: 0,02	710	Nenhum
C	0,85	0,60	0,85	Co: 0,14	Nenhum	710
D	0,90	0,50	1,05	Nb: 0,01	Nenhum	750
E	0,90	0,10	1,05	Cr: 0,21	Nenhum	760
O	0,95	0,40	0,80		Nenhum	770
P	0,95	0,80	0,80	Cr: 0,50	Nenhum	770
F	1,00	0,50	0,85		Nenhum	790
G	1,00	0,50	0,70	Cr: 0,25, V: 0,02, N: 0,0080	Nenhum	790
H	1,10	1,25	0,50		Nenhum	810
I	1,10	0,70	0,70	Mg: 0,0010, Ca: 0,0015	Nenhum	810
J	1,20	1,85	0,10	Al: 0,05, Zr: 0,0010	Nenhum	860
K	<u>0,50</u>	0,25	1,75	Cu: 0,30, Ni: 0,15	780	Nenhum
L	1,10	<u>2,25</u>	0,50		Nenhum	830
M	0,90	0,50	<u>2,35</u>	Nb: 0,01	Nenhum	750
N	<u>1,35</u>	1,85	0,10	Al: 0,05, Zr: 0,0010	Nenhum	920

Nota: Resto de impurezas desfavoráveis e Fe

Tabela 2

Método de Produção	No.	Aço	Condições de laminação a quente de acabamento			
			Temp. de Lami-nação a Quente (°C)	Redução cumulativa de área de boleto (%)	Relação de força de re-ação	Outras con-dições de laminação
Método de Produção da Invenção	1	A	850	35	1,35	Passes de laminação: 2 Intervalo de passe máx: 6 s
	2	B	720	25	1,50	Passes de laminação: 4 Intervalo de passe máx: 3 s
	3	B	850	25	1,25	Passes de laminação: 4 Intervalo de passe máx: 3 s
	4	C	800	30	1,35	Passes de laminação: 3 Intervalo de passe máx: 3 s
	5	C	800	30	1,34	Passes de laminação: 3 Intervalo de passe máx: 3 s
	6	C	800	50	1,39	Passes de laminação: 3 Intervalo de passe máx: 3 s

	7	D	900	20	1,30	Passes de laminação: 4 Intervalo de passe máx: 4 s
	8	D	900	20	1,40	Passes de laminação: 4 Intervalo de passe máx: 1 s
	9	E	850	30	1,41	Passes de laminação: 3 Intervalo de passe máx: 5 s
	10	E	850	30	1,40	Passes de laminação: 3 Intervalo de passe máx: 5 s
	11	E	850	30	1,42	Passes de laminação: 3 Intervalo de passe máx: 5 s
	35	O	850	30	1,35	Passes de laminação: 3 Intervalo de passe máx: 2 s
	36	O	850	40	1,43	Passes de laminação: 3 Intervalo de passe máx: 2 s

	37	P	825	35	1,55	Passes de laminação: 3 Intervalo de passe máx: 3 s
	12	F	840	30	1,35	Passes de laminação: 1
	13	F	840	30	1,34	Passes de laminação: 1
	14	G	800	50	1,55	Passes de laminação: 2 Intervalo de passe máx: 4 s
	15	H	830	30	1,50	Passes de laminação: 1
	16	H	830	30	1,40	Passes de laminação: 2 Intervalo de passe máx: 1 s
	17	H	830	30	1,35	Passes de laminação: 4 Intervalo de passe máx: 1 s
	18	I	820	40	1,45	Passes de laminação: 2 Intervalo de passe máx: 4 s
	38	I	820	45	1,60	Passes de laminação: 2 Intervalo de passe máx: 4 s

	19	J	870	35	1,34	Passes de laminação: 3 Intervalo de passe máx: 2 s
	39	J	870	45	1,50	Passes de laminação: 3 Intervalo de passe máx: 2 s

(continuação)

Método de Produção	No	Aço	Relação residual de boleto de estrutura de austenita não recristalizada imediatamente após a laminação (%)	Condições de tratamento térmico			
				Método de resfriamento a partir do fim da laminação até o começo do tratamento térmico	Tempo a partir do fim da laminação até o começo do tratamento térmico (s)	Taxa de resfriamento acelerado (°C/s)	Temp. de terminação de resfriamento (°C/s)
Método de Produção da Invenção	1	A	40	Espontâneo			
	2	B	60	Espontâneo	140	2	540
	3	B	30	Espontâneo	140	2	540
	4	C	40	Espontâneo			
	5	C	40	Espontâneo	100	5	520
	6	C	50	Espontâneo	100	5	520
	7	D	35	Espontâneo	70	6	500
	8	D	50	Espontâneo	70	6	500
	9	E	50	Gradual 1,5 °C/s	5	8	480
	10	E	50	Gradual 1,5 °C/s	60	8	480
	11	E	50	Gradual 1,5 °C/s	120	8	480

	35	O	45	Espontâneo	50	7	500
	36	O	55	Espontâneo	50	7	500
	37	P	65	Espontâneo	10	15	480
	12	F	45	Espontâneo			
	13	F	45	Espontâneo	8	10	420
	14	G	65	Espontâneo	1	15	520
	15	H	60	Espontâneo	30	15	500
	16	H	50	Espontâneo	30	15	500
	17	H	40	Espontâneo	30	15	500
	18	I	55	Espontâneo	20	20	520
	38	I	70	Espontâneo	20	20	520
	19	J	40	Gradual 0,5 °C/s	5	30	540
	39	J	60	Gradual 0,5 °C/s	5	30	540

Tabela 3 (Tabela 2 - continuação)

Método de produção	No.	Aço	Propriedades de trilha			
			Microestrutura de boleto (2 mm abaixo da superfície)	Dureza de boleto (2 mm abaixo da superfície) (Hv 10 kgf)	Resultado de ensaio de tração*1 Alongamento total (%)	Resultado de ensaio de desgaste*2 Desgaste (g, 700000 vezes)
Método de produção da Invenção	1	A	Perlita	350	21,0	1,32
	2	B	Perlita	370	17,0	1,10
	3	B	Perlita	370	15,2	1,12
	4	C	Perlita	360	13,0	1,18
	5	C	Perlita	390	14,5	1,08
	6	C	Perlita	390	15,5	1,07
	7	D	Perlita	445	14,0	0,98
	8	D	Perlita	445	14,8	0,94
	9	E	Perlita	430	15,5	0,96
	10	E	Perlita	430	14,8	0,92

11	E	Perlita	430	14,5	0,95
35	O	Perlita	420	12,0	0,73
36	O	Perlita	420	13,0	0,71
37	P	Perlita	460	13,0	0,67
12	F	Perlita	360	11,5	0,71
13	F	Perlita	440	13,2	0,58
14	G	Perlita	480	13,5	0,51
15	H	Perlita	450	12,5	0,45
16	H	Perlita	450	12,0	0,41
17	H	Perlita	450	11,6	0,43
18	I	Perlita	485	11,0	0,35
38	I	Perlita	485	12,0	0,34
19	J	Perlita	470	10,2	0,30
39	J	Perlita	470	10,8	0,28

*1: Peça de ensaio de tração tomado a partir da localização mostrada na FIG. 4.

*2: Teste pelo método da FIG. 6 usando-se peça de ensaio tomada a partir da localização mostrada na FIG. 5.

5 A Tabela 4 mostra as condições de laminação a quente de acabamento, relações de força de reação, relações residuais de boleto de estrutura de austenita não recristalizada imediatamente após uma laminação a quente, e condições de tratamento térmico, quando se usam os aços de teste mostrados na Tabela 1 (Aços: B a N), para a realização da produção pelo método de produção de trilho da invenção e pelos métodos de produção de trilho comparativos. A Tabela 5 mostra as microestruturas e as durezas a 2 mm abaixo da superfície de boleto de trilho dos trilhos produzidos segundo as condições da Tabela 4, os alongamentos totais no ensaio de tração das peças de ensaio tomadas na localização mostrada na FIG. 4 e os resultados de ensaio de desgaste conduzido pelo método mostrado na FIG. 6 em peças de ensaio tomadas na localização mostrada na FIG. 5.

Tabela 4

Método	de	No.	Aço	Condições de laminação a quente de acabamento
--------	----	-----	-----	---

produção			Temp. de Lami- nação Quente (°C)	Redução cumulativa de área de boleto (%)	Relação de força de rea- ção	Outras condi- ções de lami- nação
Método de produção de trilho compa- rativo	20	<u>K</u>	800	25	1,33	Passes de la- minação: 3 Intervalo de passe máx: 3 s
	21	<u>N</u>	930	35	1,30	Passes de la- minação: 3 Intervalo de passe máx: 3 s
	22	<u>L</u>	830	30	1,48	Passes de la- minação: 1 Intervalo de passe máx: 1 s
	23	<u>M</u>	900	20	1,30	Passes de la- minação: 4 Intervalo de passe máx: 4 s
	24	B	<u>650</u> (< ponto de Ar3)	25	1,35	Passes de la- minação: 4 Intervalo de passe máx: 3 s
	25	J	<u>800</u> (< ponto de Arcm)	35	1,25	Passes de la- minação: 3 Intervalo de passe máx: 2 s
	26	E	<u>950</u>	30	<u>1,00</u>	Passes de la- minação: 3 Intervalo de

						passse máx: 5 s
	27	H	<u>920</u>	30	<u>1,15</u>	Passes de laminação: 1 Intervalo de passe máx: 1 s
	28	D	900	<u>10</u>	1,28	Passes de laminação: 4 Intervalo de passe máx: 4 s
	29	F	840	<u>5</u>	<u>1,10</u>	Passes de laminação: 1
Método de produção de trilho da invenção	30	B	720	25	1,58	Passes de laminação: 4 Intervalo de passe máx: 3 s
	31	E	850	30	1,40	Passes de laminação: 3 Intervalo de passe máx: 5 s
Método de produção de trilho comparativo	32	I	820	40	1,45	Passes de laminação: 2 Intervalo de passe máx: 4 s
	33	C	800	30	1,32	Passes de laminação: 3 Intervalo de passe máx: 3 s
	34	G	800	50	1,55	Passes de laminação: 2 Intervalo de passe máx: 4 s

(continuação)

Método de produção	No.	Aço	Relação residual de boleteo de estrutura de austenita não recristalizada imediatamente após a laminação (%)	Condições de tratamento térmico			
				Método de resfriamento a partir do fim da laminação até o começo do tratamento térmico	Tempo a partir do fim da laminação até o começo do tratamento térmico (s)	Taxa de resfriamento acelerado (°C/s)	Temp. de terminação de resfriamento (°C/s)
Método de produção de trilho comparativo	20	<u>K</u>	40	Espontâneo	130	6	520
	21	<u>N</u>	35	Gradual 0,5 °C/s	60	10	550
	22	<u>L</u>	60	Espontâneo	30	15	500
	23	<u>M</u>	35	Espontâneo	70	6	500
	24	B	45	Espontâneo	140	3	540
	25	J	30	Gradual 0,5 °C/s	5	25	540
	26	E	0	Gradual 1,5 °C/s	60	8	480
	27	H	15	Espontâneo	30	15	500
	28	D	35	Espontâneo	70	6	500
	29	F	10	Espontâneo	8	6	420

Método de produção de trilho da invenção	30	B	60	Espon-tâneo	200	3	540
	31	E	50	Gradual 1,5 °C/s	180	8	480
Método de produção de trilho comparativo	32	I	55	Espon-tâneo	20	<u>1</u>	520
	33	C	40	Espon-tâneo	100	<u>35</u>	520
	34	G	65	Espon-tâneo	1	15	<u>600</u>

Tabela 5 (Tabela 4 - continuação)

Método de produção	No.	Aço	Propriedades de trilho			
			Microestru-tura de bo-ileto (2 mm abaixo da superfície)	Dureza de boleto (2 mm abaixo da superfície) (Hv 10 kgf)	Resultado de ensaio de tração*1	Resultado de ensaio de desgaste*2
					Alongamento total (%)	Desgaste (g, 700000 vezes)
Método de produção de trilho comparativo	20	<u>K</u>	<u>Perlita + ferrita pró-eutectóide</u>	325	20,0	1,85 (Estrutura irregular Desgaste ruim)
	21	<u>N</u>	<u>Perlita + cementita pró-eutectóide</u>	450	6,5 (Estrutura irregular Alongamento ruim)	0,45
	22	<u>L</u>	<u>Perlita + martensita</u>	620	4,5 (Estrutura irregular Alongamento ruim)	2,25 (Estrutura irregular Desgaste ruim)
	23	<u>M</u>	<u>Perlita +</u>	580	5,0 (Estrutura irregular)	2,15 (Estrutura irregular)

			<u>martensita</u>		ra irregular Alongamento ruim)	gular Desgaste ruim)
24	B		<u>Perlita</u> + <u>ferrita pró-</u> <u>eutectóide</u>	330	18,0	1,80 (Estrutura irre- gular Desgaste ruim)
25	J		<u>Perlita</u> + <u>cementita</u> <u>pró-</u> <u>eutectóide</u>	470	6,0 (Estrutu- ra irregular Alongamento ruim)	0,60
26	E		<u>Perlita</u> <u>Grosseira</u>	430	11,0 (Au- mento de tamanho de grão de perli- ta Alongamento ruim)	0,85
27	H		<u>Perlita</u> <u>Grosseira</u>	450	7,5 (Aumen- to de tama- nho de grão de perlita Alongamento ruim)	0,44
28	D		<u>Perlita</u> <u>Grosseira</u>	445	10,0 (Au- mento de tamanho de grão de perli- ta Alonga- mento ruim)	0,80
29	F		<u>Perlita</u> <u>Grosseira</u>	440	9,5 (Aumen- to de tama- nho de grão	0,59

					de perlita Alongamento ruim)	
Método de produ- ção de trilho da in- venção	30	B	Perlita	370	13,0	1,09
	31	E	Perlita	430	12,0	0,85
Método de produ- ção de trilho compa- rativo	32	I	<u>Perlita</u> + <u>cementita</u> <u>pró-</u> <u>eutectóide</u>	360	6,5 (Estrutu- ra irregular Alongamento ruim)	0,70
	33	C	<u>Perlita</u> + <u>martensita</u>	640	4,5 (Estrutu- ra irregular Alongamento ruim)	2,30 (Estrutura irre- gular Desgaste ruim)
	34	G	<u>Perlita</u> <u>Grosseira</u>	370	10,0 (Au- mento de tamanho de grão de perli- ta Alongamento ruim)	0,70

*1: Peça de ensaio de tração tomado a partir da localização mostrada na FIG. 4.

*2: Teste pelo método da FIG. 6 usando-se peça de ensaio tomada a partir da localização mostrada na FIG. 5.

5 Conversões: 1 kgf = 9,81 N

Com respeito aos Exemplos:

(1) Os 26 trilhos designados N° 1 a 19, 30, 31 e 35 a 39 são tri-

lhos produzidos pelo método de produção de trilho desta invenção. Eles usam aços de trilho de composições caindo na faixa definida por esta invenção e são trilhos perlíticos produzidos usando-se laminação a quente de acabamento e condições de tratamento térmico caindo nas faixas definidas pela invenção. Note que na produção dos trilhos Nº 30 e 31, os tempos entre a terminação de laminação e o começo de tratamento estiveram fora da faixa preferida.

(2) Os 13 trilhos designados 20 a 29 e 30 a 34 são trilhos produzidos por métodos comparativos, conforme estabelecido abaixo.

Trilhos Nº 20 a 23: trilhos produzidos a partir de aços de trilho de composições caindo fora da faixa mencionada anteriormente, usando-se condições de tratamento térmico imediatamente após uma laminação a quente caindo na faixa definida mencionada anteriormente.

Trilhos Nº 24 a 29: trilhos produzidos a partir de aços de trilho de composições caindo na faixa mencionada anteriormente, usando-se condições de laminação a quente de acabamento caindo fora da faixa definida mencionada anteriormente.

Trilhos Nº 32 a 34: trilhos produzidos a partir de aços de trilho de composições caindo na faixa mencionada anteriormente, usando-se condições de tratamento térmico caindo fora das faixas definidas mencionadas anteriormente.

A FIG. 7 mostra como no ensaio de tração de boleto de trilho o alongamento total foi encontrado como variando com o teor de carbono nos trilhos mostrados nas Tabelas 2 e 3 produzidos pelo método de produção de trilho de invenção (trilhos da invenção) e nos trilhos mostrados nas Tabelas 4 e 5 produzidos pelos métodos de produção de trilho comparativos (trilhos comparativos). A FIG. 8 mostra como no ensaio de desgaste de boleto de trilho o desgaste foi encontrado como variando com o teor de carbono nos trilhos mostrados nas Tabelas 2 e 3 produzidos pelo método de produção de trilho de invenção) e nos trilhos mostrados nas Tabelas 4 e 5 produzidos pelos métodos de produção de trilho comparativos.

As condições de ensaio foram conforme se segue:

1. Ensaio de tração de boleto de trilho

Aparelho de teste: máquina de ensaio de tração universal de bancada

Formato de peça de teste: similar à JIS Nº 4

5 Comprimento de seção paralela: 30 mm; diâmetro de seção paralela: 6 mm; distância entre marcas de medição de alongamento: 25 mm

Localização de amostragem de peça de teste: 6 mm abaixo da superfície de boleto de trilho (veja a FIG. 4)

10 Taxa de deformação à tração: 10 mm / min; temperatura de teste: temperatura ambiente (20 °C)

2. Ensaio de Desgaste

Aparelho de teste: aparelho de ensaio de desgaste de Nishihara (veja a FIG. 6)

15 Formato de peça de teste: peça de teste em formato de disco (diâmetro externo: 30 mm; espessura: 8 mm)

Localização de amostragem de peça de teste: 6 mm abaixo da superfície de boleto de trilho (veja a FIG. 5)

Carga de ensaio: 686 N (pressão de superfície de contato: 640 MPa)

20 Relação de deslizamento: 20%

Material de contraparte: aço perlítico (Hv 380).

Atmosfera: ar

Resfriamento: resfriamento forçado com ar comprimido (vazão: 100 NI/min)

25 Número de repetições 700.000

Conforme mostrado na Tabela 3, os trilhos da invenção Nº 5 e 13 foram notadamente melhores na ductilidade do que os trilhos da invenção Nº 4 e 12, porque, além de serem resfriados espontaneamente, eles estavam em um tempo predeterminado depois disso submetidos a um resfriamento acelerado que inibiu o aumento do tamanho de grãos de grãos de austenita rescritalizados.

No caso dos trilhos da invenção Nº 36, 38 e 39, a relação de for-

ça de reação durante uma laminação a quente de acabamento foi de 1,40 ou maior, desse modo estabelecendo uma relação residual de estrutura de austenita não recristalizada de 50% ou mais. Como resultado, estes trilhos tiveram a ductilidade grandemente melhorada, mesmo se comparado com os trilhos da invenção Nº 35, 18 e 19.

Conforme mostrado nas Tabelas 1, 2 e 4, diferentemente dos trilhos comparativos Nº 20 a 23, os trilhos da invenção Nº 1 a 19, 30, 31 e 35 a 29 tiveram teores de C, Si e Mn caindo em certas faixas prescritas, de modo que uma estrutura de perlita excelente na resistência a desgaste e na ductilidade foi formada, sem a formação de ferrita pró-eutectóide, uma estrutura de cementita pró-eutectóide, uma estrutura de martensita e similares, o que afeta de modo adverso a resistência a desgaste e a ductilidade do trilho.

Conforme mostrado nas Tabelas 2 a 5 e na FIG. 7, diferentemente dos trilhos comparativos Nº 25 a 29, os trilhos da invenção Nº 1 a 19 e 35 a 39 foram laminados a quente acabados sob condições caindo nas faixas especificadas, de modo que uma estrutura de perlita fina fosse formada de modo estável para melhoria da ductilidade de boleto de trilho no mesmo teor de carbono de aço. Mais ainda, diferentemente dos trilhos comparativos Nº 32 a 34, os trilhos da invenção Nº 1 a 19 e 35 a 39 foram tratados termicamente sob condições caindo nas faixas especificadas, de modo que uma estrutura de perlita fina fosse formada de modo estável para melhoria adicional da ductilidade de boleto de trilho no mesmo teor de carbono de aço.

Conforme mostrado nas Tabelas 2 a 5 e na FIG. 8, diferentemente dos trilhos comparativos Nº 24 e 25, os trilhos da invenção Nº 1 a 19 e 35 a 39 foram laminados a quente acabados sob condições caindo nas faixas especificadas, de modo que uma estrutura de perlita fina fosse formada de modo estável para o estabelecimento de uma boa resistência a desgaste. Mais ainda, diferentemente dos trilhos comparativos Nº 32 e 33, os trilhos da invenção Nº 1 a 19 e 35 a 39 foram tratados termicamente sob condições caindo nas faixas especificadas, de modo que uma ocorrência de estrutura de cementita pró-eutectóide e de estrutura de martensita prejudici-

ais à resistência a desgaste fosse inibida, desse modo resultando em boa resistência a desgaste.

APLICABILIDADE INDUSTRIAL

Na produção de um trilho para uso em uma ferrovia de carga pesada, a presente invenção controla a composição de aço de trilho, as condições de laminação a quente de acabamento, e as subseqüentes condições de tratamento térmico para controle da estrutura do boleto de trilho, desse modo se obtendo uma dureza em uma faixa prescrita e permitindo um melhoramento da resistência a desgaste de trilho e da ductilidade. A invenção, portanto, provê um trilho com alta utilidade em uma ferrovia de carga pesada.

REIVINDICAÇÕES

1. Método para a produção de um trilho perlítico excelente na resistência a desgaste e na ductilidade pela submissão a pelo menos uma laminação a quente bruta e uma laminação a quente de acabamento de um tarugo compreendendo, em % massa, C: 0,65-1,20%, Si: 0,05-2,00%, Mn: 0,05-2,00%, e um resto de ferro de impurezas inevitáveis, cujo método compreende:

a condução da laminação a quente de acabamento a uma temperatura de superfície de boleto de trilho em uma faixa não mais alta do que 900 °C a não menos do que o ponto de transformação de Ar_3 ou o ponto de transformação de Ar_{cm} para a produção de uma redução cumulativa de área de boleto de não menos do que 20% e uma relação de força de reação, definida como um valor obtido pela divisão da força de reação de trem de laminação por uma força de reação de laminação à mesma redução cumulativa de área e uma temperatura de laminação de 950 °C, não é menor do que 1,25; e

a submissão da superfície de boleto de trilho laminada a quente acabada a um resfriamento acelerado ou a um resfriamento espontâneo para pelo menos 550 °C a uma taxa de resfriamento de 2 a 30 °C/s.

2. Método para a produção de um trilho perlítico excelente na resistência a desgaste e na ductilidade, de acordo com a reivindicação 1, onde o resfriamento acelerado é começado em 150 s após a conclusão da laminação a quente de acabamento.

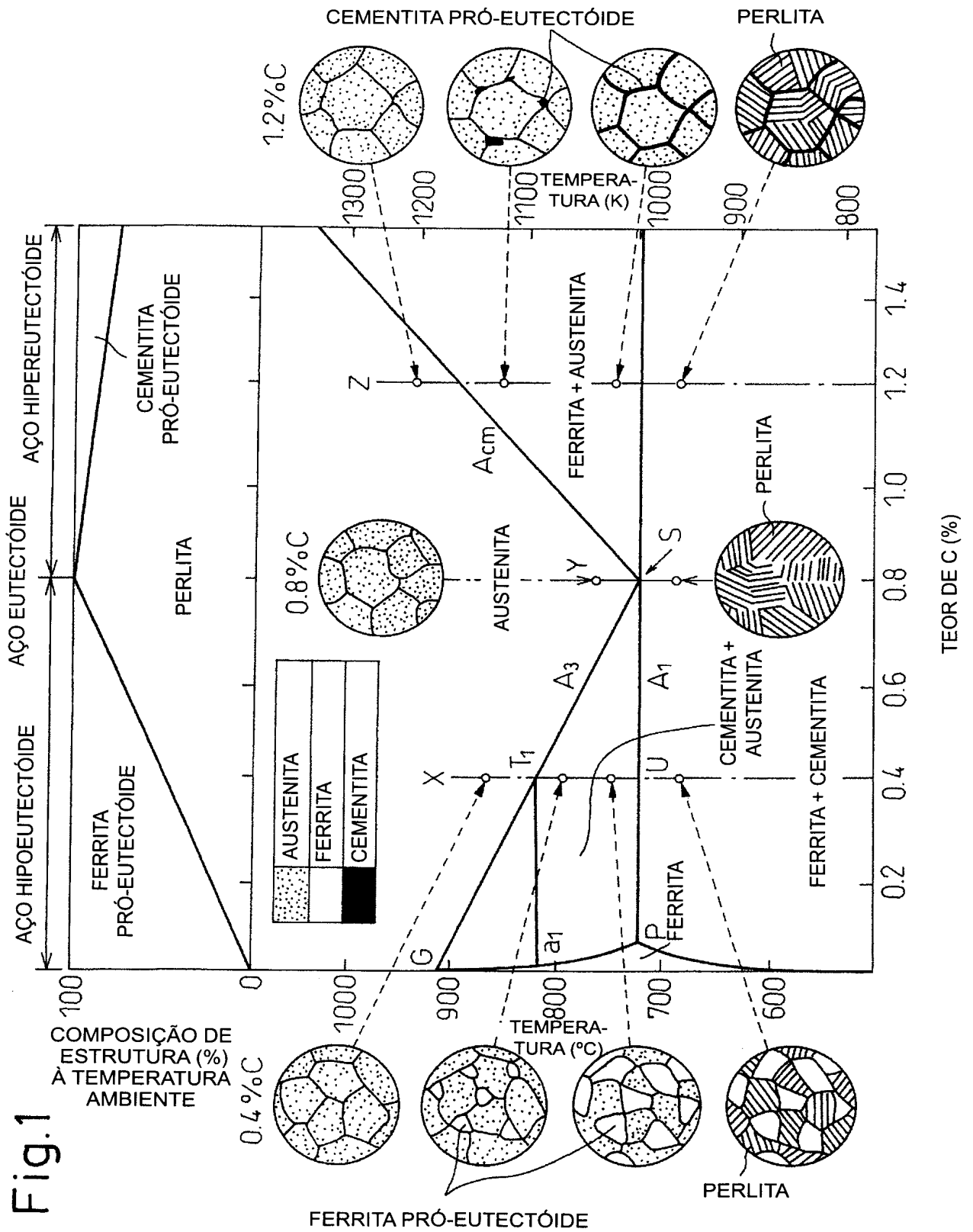


Fig.2

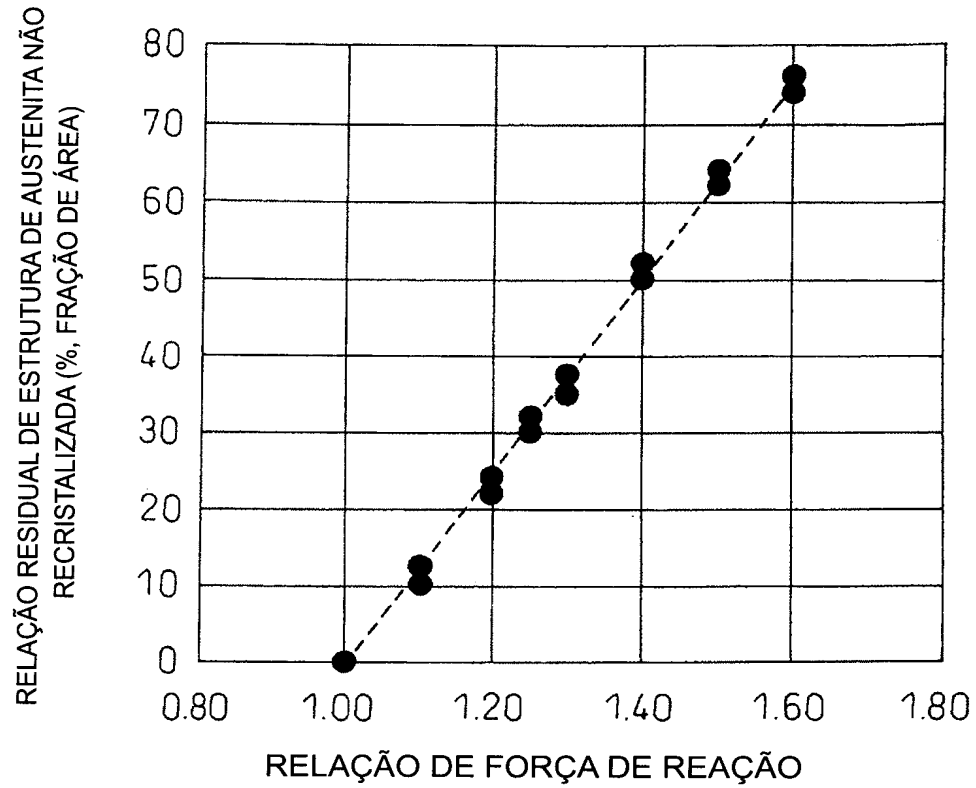


Fig.3

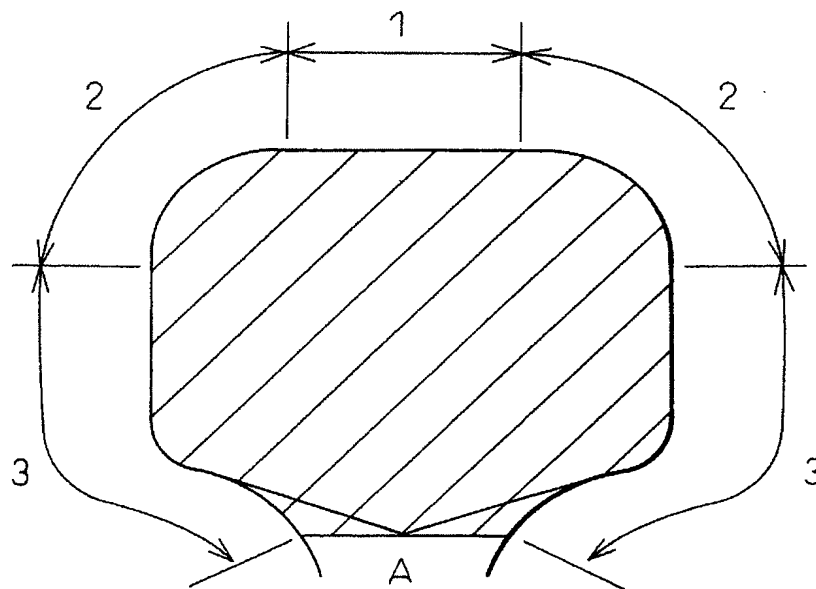


Fig. 4

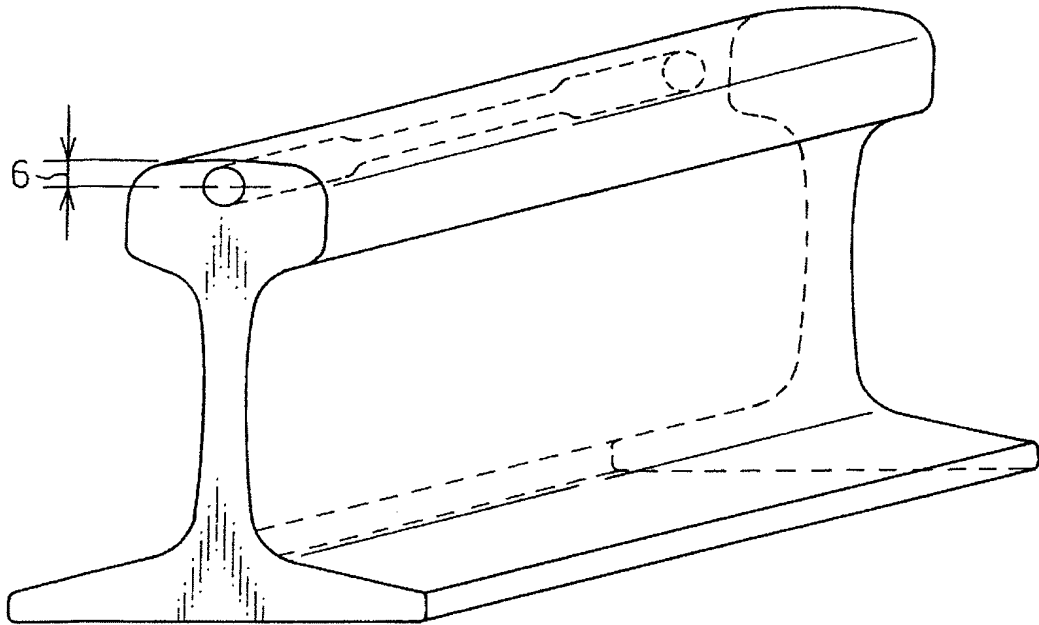


Fig. 5

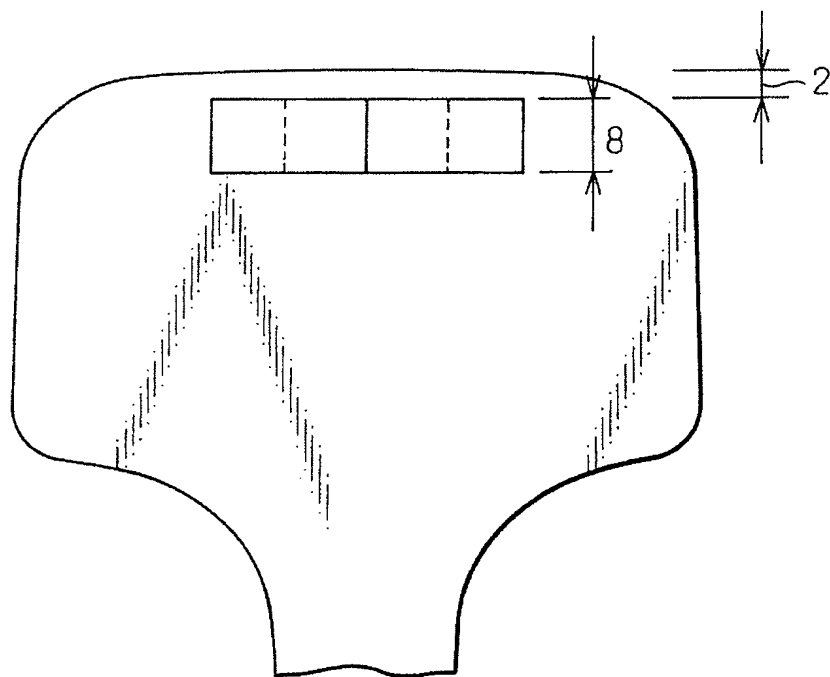


Fig.6

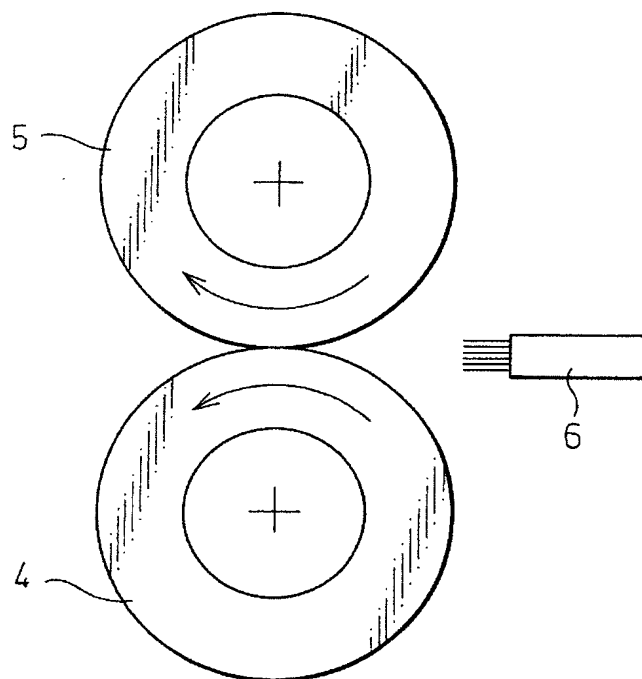


Fig.7

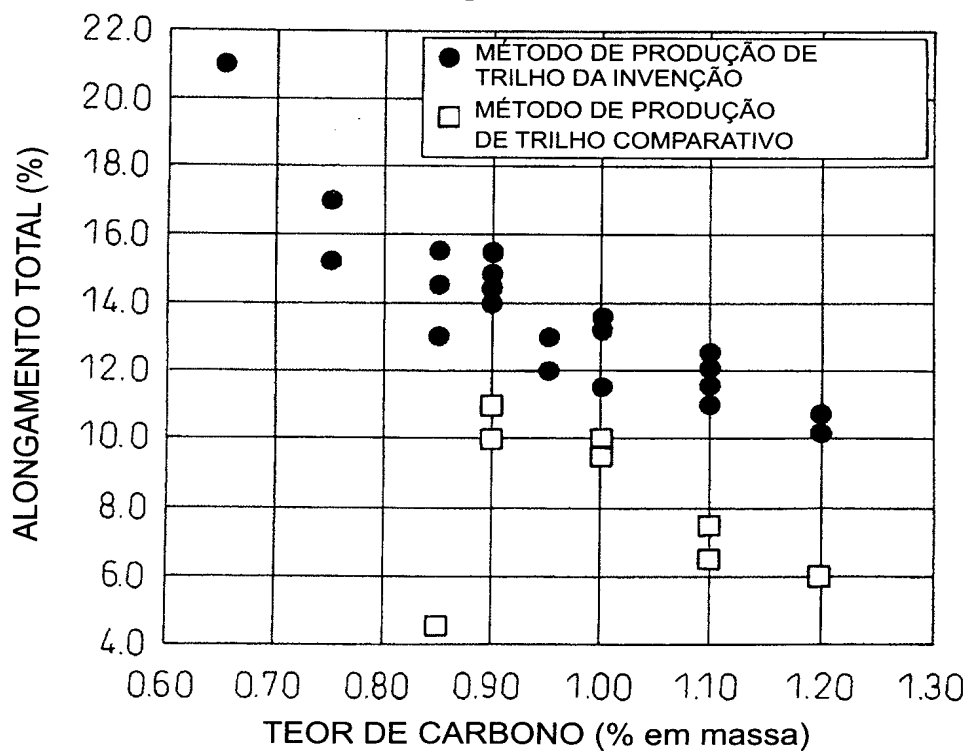
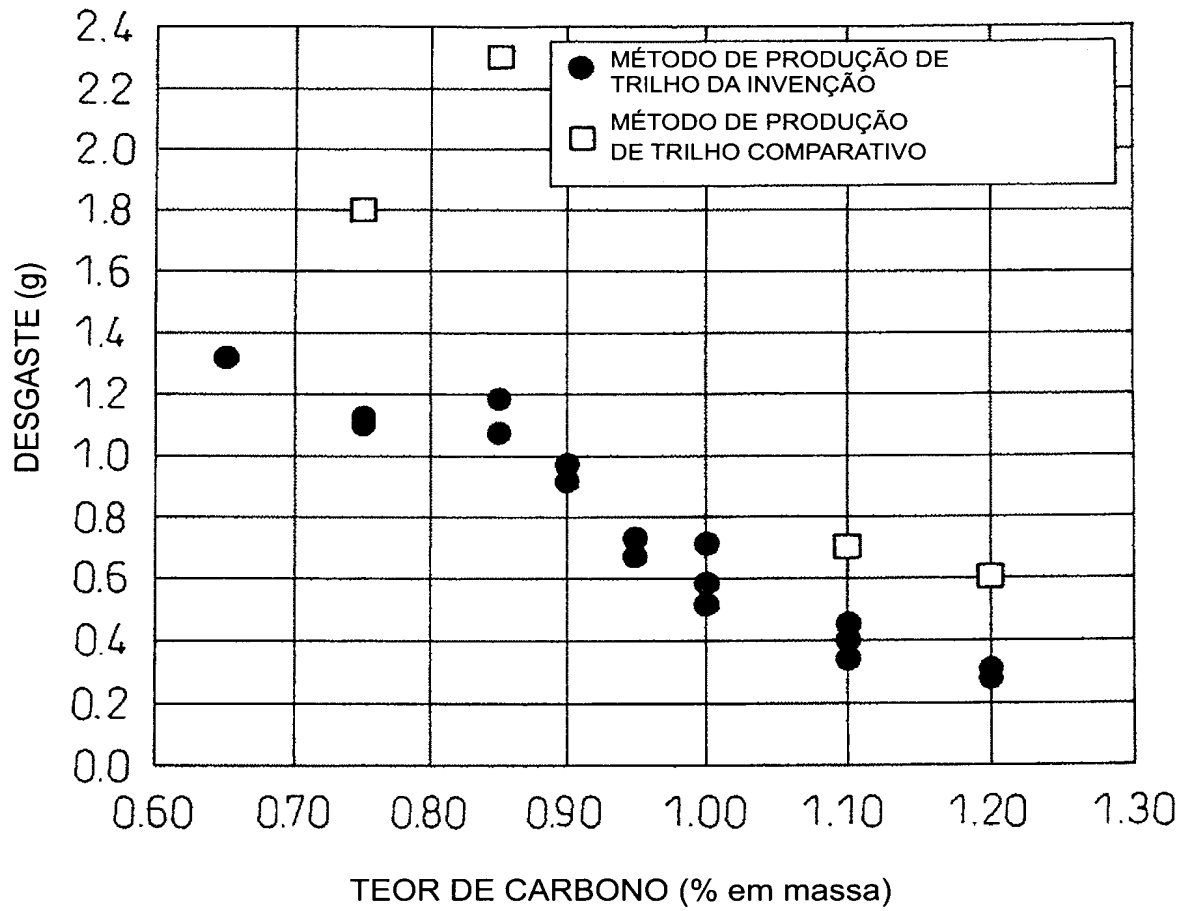


Fig.8



RESUMO

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

5

A invenção provê um método para a produção de um trilho perlítico pela submissão a pelo menos uma laminação a quente bruta e uma laminação a quente de acabamento de um tarugo compreendendo, em % massa, C: 0,65-1,20%, Si: 0,05-2,00%, Mn: 0,05-2,00%, e um resto de ferro de impurezas inevitáveis, onde a laminação a quente de acabamento é conduzida a uma temperatura de superfície de boleto de trilho em uma faixa não mais alta do que 900 °C a não menos do que o ponto de transformação de Ar_3 ou o ponto de transformação de Ar_{cm} para a produção de uma redução cumulativa de área de boleto de não menos do que 20% e uma relação de força de reação de não menos do que 1,25, e a superfície de boleto de trilho laminado a quente acabado é submetida a um resfriamento acelerado ou a um resfriamento espontâneo para pelo menos 550 °C a uma taxa de resfriamento de 2 a 30 °C/s, desse modo se refinando a estrutura de boleto de trilho para a obtenção de uma dureza em uma faixa predeterminada e melhorando-se a resistência a desgaste do trilho e a ductilidade.

10

15

20