



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

(21) **PI0702874-1 A2**

(22) Data de Depósito: 18/04/2007
(43) Data da Publicação: 15/03/2011
(RPI 2097)



(51) *Int.Cl.:*
C22C 38/00
C21D 9/52
C22C 38/14
C22C 38/54

(54) Título: **FIO-MÁQUINA DE ALTA RESISTÊNCIA EXCELENTE NAS CARACTERÍSTICAS DE TREFILAÇÃO E MÉTODO DE FABRICAÇÃO DO MESMO**

(30) Prioridade Unionista: 12/10/2006 JP 2006-278780

(73) Titular(es): Nippon Steel Corporation

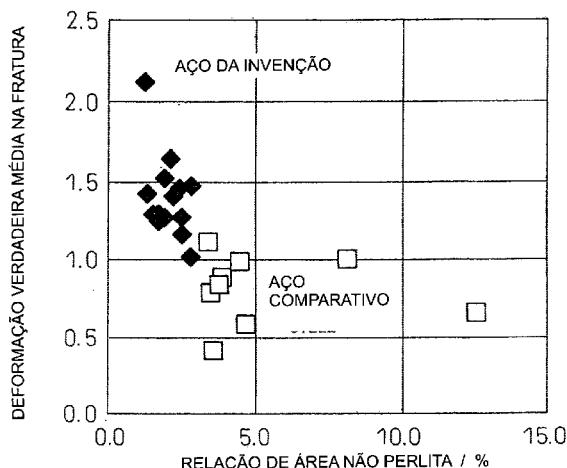
(72) Inventor(es): Makio Kikuchi, Seiki Nishida, Shingo Yamasaki

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

(86) Pedido Internacional: PCT JP2007058889 de 18/04/2007

(87) Publicação Internacional: WO 2008/044354 de 17/04/2008

(57) **Resumo:** FIO-MÁQUINA DE ALTA RESISTÊNCIA EXCELENTE NAS CARACTERÍSTICAS DE TREFILAÇÃO E MÉTODO DE FABRICAÇÃO DO MESMO. A presente invenção refere-se um fio-máquina excelente na capacidade de trefilação e um fio de aço feito a partir do fio-máquina como um material de partida com alta produtividade a uma boa produção e um custo baixo. Um fio-máquina de aço duro de uma composição especificada é laminado a quente, o aço laminado a quente é embobinado em uma faixa de temperatura específica, e o aço embobinado é submetido a um patenteamento a uma taxa de resfriamento predeterminada, desse modo se assegurando um fio de aço de alto carbono excelente na capacidade de trabalho. O fio de aço de alta resistência é excelente na capacidade de trefilação compreendendo uma estrutura de perlita de uma relação de área de 97% ou maior e o saldo de estruturas não de perlita incluindo bainita, perlita degenerada e ferrita pró-eutectóide e tendo um tamanho de bloco de perlita de não menos do que 20 µm e não mais do que 45 µm. A invenção também refere-se a um fio de aço de alto carbono excelente na ductilidade, o qual é fabricado pela submissão do fio-máquina a um patenteamento intermediário e a uma trefilação a frio e tem uma resistência à tração de 2800 MPa ou maior.



Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "FIO-MÁQUINA DE ALTA RESISTÊNCIA EXCELENTE NAS CARACTERÍSTICAS DE TREFILAÇÃO E MÉTODO DE FABRICAÇÃO DO MESMO".

Campo da Invenção

5 A presente invenção refere-se a um fio-máquina de aço, a um fio de aço e a um método de fabricação do fio-máquina de aço e do fio de aço. Mais particularmente, esta invenção refere-se a um cordão de aço usado, por exemplo, para reforço de pneus radiais, a vários tipos de cintas industriais e similares, a um fio-máquina laminado adequado para uso em aplicações tais como um fio para costura, a métodos de fabricação dos precedentes, e a um fio de aço fabricado a partir do fio-máquina embobinado mencionado anteriormente, como o material de partida.

Descrição da Técnica Relacionada

15 No caso de fio de aço para cordão de aço usado como um material para reforço de pneus radiais de veículo e vários tipos de cintas e mangueiras, ou um fio de aço para aplicações de fio para costura, a prática geral é submeter um fio-máquina de aço laminado a quente e de resfriamento controlado de 4 a 6 mm de diâmetro a uma trefilação primária para redução dele para um diâmetro de 3 a 4 mm e, então, submeter o fio-máquina trefilado a 20 um patenteamento intermediário e conduzir uma trefilação secundária para redução dele para um diâmetro de 1 a 2 mm. Um patenteamento final é realizado, então, seguido por uma eletrodeposição de latão e uma trefilação a úmido final para um diâmetro de 0,15 a 0,40 mm. Vários fios de aço finos extras obtidos por este processo são torcidos em um cabo torcido, desse 25 modo se fabricando o cordão de aço.

De modo a se diminuir os custos de fabricação, tornou-se uma prática crescentemente comum nos últimos anos omitir o patenteamento intermediário mencionado anteriormente e trefilar diretamente o fio-máquina laminado de resfriamento controlado para o diâmetro de patenteamento final de 1 a 2 mm. Isto criou uma necessidade de o fio-máquina laminado de resfriamento controlado exibir boas características de trefilação direta, isto é, uma "capacidade de trefilação", de modo que a demanda por alta 30

ductilidade e alta capacidade de trabalho do fio-máquina se tornou muito forte.

Uma redução de área, um índice de ductilidade de fio-máquina patenteado, é uma função do tamanho de grão de austenita e, uma vez que isto torna possível melhorar a redução de área pelo refinamento do tamanho de grão de austenita, foram feitas tentativas de obtenção de um refinamento de tamanho de grão de austenita pelo uso de carburetos e/ou nitretos de elementos tais como Nb, Ti e B como partículas de ancoragem. A Patente Japonesa Nº 2609387 ensina um melhoramento adicional de tenacidade / ductilidade de fio-máquina extrafino pela incorporação de um ou mais dentre: Nb: 0,01 a 0,1% em massa, Zr: 0,05 a 0,1% em massa e Mo: 0,02 a 0,5% em massa como elementos constituintes. Além disso, a Publicação de Patente Japonesa (A) Nº 2001-131697 ensina um refinamento de tamanho de grão de austenita pelo uso de NbC. Contudo, o alto preço destes elementos de adição aumenta o custo. Mais ainda, o Ni forma carbureto e nitreto grosseiros e o Ti forma um óxido grosseiro, de modo que, quando o fio for trefilado para um diâmetro fino de, por exemplo, 0,40 mm ou menos, uma ruptura pode ocorrer. Um estudo realizado pelos inventores mostrou que uma ancoragem de BN não é prontamente capaz de refinar o tamanho de grão de austenita para um grau que afete a redução de área.

Ainda, a Publicação de Patente Japonesa (A) Nº H8-3639 ensina um melhoramento da capacidade de trefilação de fio-máquina de alto carbono pela adoção de uma temperatura de patenteamento mais baixa para ajuste da estrutura de fio-máquina para bainita. Contudo, uma formação de bainita de fio-máquina laminado tem probabilidade de aumentar o custo para um nível alto, porque ela requer a imersão em sal fundido ou similar e também é passível de degradar a capacidade de remoção de carepa mecânica.

Sumário da Invenção

A presente invenção foi concebida à luz das circunstâncias precedentes. Seu objetivo é prover um fio-máquina de alta resistência excelente na capacidade de trefilação que seja ideal para um cordão de aço e fio para costura e aplicações similares com alta produtividade a uma boa produção e

um custo baixo.

Esta invenção atinge o objetivo precedente por um método de fabricação constituído para permitir a produção do fio de aço estabelecido no aspecto 1) abaixo e o aço para fio de aço estabelecido nos aspectos 2) e 3) abaixo, e o estabelecimento do método de produção de fio-máquina de aço estabelecido no aspecto 4) abaixo, e o método de fabricação de fio de aço de alta resistência estabelecido no aspecto 5) abaixo.

1) Um fio-máquina de aço de alta resistência excelente na capacidade de trefilação, que compreende uma estrutura de perlita de uma relação de área de 97% ou mais e um saldo de estruturas não de perlita incluindo bainita, perlita degenerada e ferrita pró-eutectóide e tendo um tamanho de bloco de perlita de não menos do que 20 μm e não maior do que 45 μm .

2) Um fio-máquina de aço de alta resistência, de acordo com 1), que compreende, em % em massa:

15 C: 0,70 a 1,10%,

Si: 0,1 a 1,5%,

Mn: 0,1 a 1,0%

Al: 0,01% ou menos,

Ti: 0,01% ou menos,

20 N: 10 a 60 ppm em massa,

B: não menos do que $(0,77 \times \text{N (ppm em massa)} - 17,4)$ ppm em massa ou 5 ppm em massa, o que for maior, e não mais do que 52 ppm em massa, e o saldo de Fe e impurezas inevitáveis.

3) Um fio-máquina de aço de alta resistência, de acordo com 2), que ainda compreende, em % em massa, um ou mais membros selecionados a partir do grupo que consiste em:

Cr: 0,03 a 0,5%,

Ni: 0,5% ou menos (não incluindo 0%),

Co: 0,5% ou menos (não incluindo 0%),

30 V: 0,03 a 0,5%,

Cu: 0,2% ou menos (não incluindo 0%),

Mo: 0,2% ou menos (não incluindo 0%),

W: 0,2% ou menos (não incluindo 0%), e

Nb: 0,1% ou menos (não incluindo 0%).

4) Um método de fabricação do fio-máquina de aço de alta resistência de acordo com 2) ou 3), que compreende:

5 a laminação a quente de um tarugo de aço tendo a composição química de 2) ou 3),

o embobinamento do aço laminado a quente na faixa de temperatura entre T_{min} mostrada abaixo e 950°C , e

10 a submissão do aço embobinado ao patenteamento usando um método de resfriamento no qual uma taxa de resfriamento entre 800 e 600°C é de 5°C/s ou maior,

T_{min} sendo 800°C quando B (ppm em massa) - $0,77 \times N$ (ppm em massa) $> 0,0$, e

15 T_{min} sendo $T_{min} = 950 + 1450 / (B \text{ (ppm em massa)} - 0,77 \times N \text{ (ppm em massa)} - 10)^{\circ}\text{C}$ quando $B \text{ (ppm em massa)} - 0,77 \times N \text{ (ppm em massa)} \leq 0,0$.

20 5) Um fio de aço de alto carbono excelente na ductilidade, o qual é fabricado pela submissão do fio-máquina de aço de qualquer um de 1) a 3) a um patenteamento intermediário e uma trefilação a frio e que tem resistência à tração (TS) de 2800 MPa ou maior.

Breve Descrição dos Desenhos

A figura 1 é um diagrama que mostra como uma deformação verdadeira média na fratura por trefilação variou como uma função de uma relação de área não perlita.

25 A figura 2 é um diagrama que mostra como uma deformação verdadeira média na fratura por trefilação variou como uma função de resistência à tração.

30 A figura 3 é um diagrama que mostra como uma deformação verdadeira média na fratura por trefilação variou como uma função de tamanho de bloco de perlita.

Descrição Detalhada da Invenção

Os inventores conduziram estudos referentes a como a compo-

sição química e as propriedades mecânicas de um fio-máquina afetam sua capacidade de trefilação. Suas descobertas são especificadas abaixo.

5 a) Embora a resistência à tração possa ser melhorada pelo aumento do teor de metais de formação de liga, tais como C, Si, Mn e Cr, um teor mais alto destes metais de formação de liga diminui a capacidade de trefilação, especificamente, aumenta a frequência de ruptura ao causar uma redução no limite de trabalho durante uma trefilação.

10 b) A capacidade de trefilação exibe boa correlação com a resistência à tração e uma redução de fratura de área antes da trefilação, isto é, após um tratamento térmico, e uma capacidade de trefilação muito boa é obtida quando uma redução de área atinge ou excede a um certo valor em correspondência com a resistência à tração.

15 c) B forma um composto com N, e a quantidade de B soluto sólido é determinada pelas quantidades totais de B e N e a temperatura de aquecimento, antes da transformação de perlita. O B soluto sólido se segrega nas fronteiras de grão de austenita. Durante um resfriamento a partir da temperatura de austenita no momento do patenteamento, ele inibe a geração de microestruturas de baixa resistência grosseiras, tais como bainita, ferrita e perlita degenerada, que se originam a partir das fronteiras de grão de austenita, e, particularmente, inibe uma geração de bainita. Dentre estas
20 estruturas não de perlita, a bainita é uma que tem o maior efeito adverso sobre a capacidade de trefilação. A bainita contabiliza 60% ou mais das estruturas não de perlita. Quando o B soluto sólido é deficiente, o efeito precedente é mínimo, e, quando é excessivo, uma transformação de perlita é precedida pela precipitação de $\text{Fe}_{23}(\text{CB})_6$ que degrada a capacidade de 4.
25

Esta invenção foi obtida com base nas descobertas precedentes.

As exigências da invenção serão explicadas, agora, em detalhes.

Estrutura e propriedades mecânicas do fio-máquina:

30 um estudo conectado pelos inventores revelou que a capacidade de trefilação de um fio-máquina patenteado está correlacionada à quantidade de estruturas não de perlita, tais como ferrita pró-eutectóide, perlita dege-

nerada e bainita, e que a restrição da fração em volume destas estruturas não de perlita para menos de 3% inibe a ocorrência de fissuração antecipada e melhora a capacidade de trefilação durante uma trefilação. Os presentes inventores ainda descobriram que, para uma redução de estruturas não de perlita, é eficaz adicionar B, embobinar o aço laminado a quente em uma

5 faixa de temperatura não menor do que T_{min} mostrada abaixo, e submeter o aço embobinado a um patenteamento usando um método de resfriamento no qual a taxa de resfriamento entre 800 e 600 °C é de 5 °C/s ou maior,

T_{min} sendo 800 °C quando $B \text{ (ppm em massa)} - 0,77 \times N \text{ (ppm em massa)} > 0,0$, e

10

T_{min} sendo $T_{min} = 950 + 1450 / (B \text{ (ppm em massa)} - 0,77 \times N \text{ (ppm em massa)} - 10) \text{ °C}$ quando $B \text{ (ppm em massa)} - 0,77 \times N \text{ (ppm em massa)} \leq 0,0$.

Isto permite a fabricação de um fio-máquina de alta resistência

15 excelente na capacidade de trefilação tendo uma fração em volume não de perlita de menos de 3%. Deve ser notado que, embora um tamanho de bloco de perlita dependa do tamanho de grão de austenita e da temperatura de transformação de perlita (na taxa de resfriamento no caso de um resfriamento contínuo), uma dependência da temperatura de transformação é predomi-

20 nante, no caso de um fio-máquina laminado, porque um crescimento de grão extremo de tamanho de grão de austenita não ocorre prontamente. A partir disto, segue-se que uma ocorrência de crescimento de grão de bloco de perlita significa que a temperatura de transformação é alta (a taxa de resfriamento é baixa). Quando os grãos de austenita crescem, estruturas não de

25 perlita grosseira ocorrem para degradação da capacidade de trefilação, mesmo se B for adicionado. Mais ainda, mesmo quando a temperatura de transformação é alta demais, um carbureto de B grosseiro se forma nas fronteiras de grão de austenita, antes da transformação de perlita, desse modo degradando a capacidade de trefilação. Por outro lado, quando a temperatura de transformação é baixa demais (a taxa de resfriamento é alta demais), a

30 TS se torna alta demais, e a capacidade de trefilação é degradada, como resultado. Os inventores descobriram que um tamanho de bloco de perlita de

não menos do que 20 μm e não mais do que 45 μm inibe a ocorrência das estruturas não de perlita mencionadas anteriormente e carbureto de B grosso, e também permite uma TS adequada, desse modo evitando uma degradação de capacidade de trefilação. Do ponto de vista da capacidade de remoção de carepa, a temperatura de resfriamento preferencialmente é de 950 °C ou menos.

Composição química:

C: C é um elemento que eficazmente melhora a resistência do fio-máquina. Contudo, a um teor de menos de 0,70% em massa, o C não pode ser feito facilmente imprimir de forma confiável uma alta resistência de 2800 MPa ou maior ao produto final, enquanto uma estrutura de perlita uniforme se torna difícil de obter, devido à promoção de precipitação de ferrita pró-eutectóide nas fronteiras de grão de austenita. Quando o teor de C é excessivo, uma cementita pró-eutectóide reticulada surgindo nas fronteiras de grão de austenita causa uma fácil ruptura durante a trefilação do fio e, também, degrada notadamente a tenacidade e a ductilidade do fio-máquina extrafino após a trefilação final. O teor de C, portanto, é definido como de 0,70 a 1,10% em massa.

Si: o Si é um elemento que eficazmente melhora a resistência. Ele também é um elemento útil como um desoxidante e, como tal, é um elemento requerido, quando a invenção for aplicada a um fio-máquina de aço que não contenha Al. A ação desoxidante de Si é baixa demais a um teor de menos de 0,1% em massa. Quando o teor de Si é excessivo, ele promove uma precipitação de ferrita pró-eutectóide, mesmo em um aço hipereutectóide, e também causa uma redução no limite de trabalho durante uma trefilação. Além disso, ele prejudica a remoção de carepa mecânica (MD) no processo de trefilação. O teor de Si é definido, portanto, como de 0,1 a 1,5% massa.

Mn: Como Si, o Mn também é um elemento útil como um desoxidante. Ele ainda é eficaz para melhoria da capacidade de endurecimento e, assim, para melhoria da resistência do fio-máquina. O Mn também atua para evitar uma fragilidade a quente pela fixação do S presente no aço como

MnS. A um teor de menos de 0,1% em massa, os efeitos mencionados anteriormente não são prontamente obtidos. Por outro lado, a Mn é um elemento que facilmente se precipita. Quando presente excedendo a 1,0% em massa, ele se segrega, particularmente na região central do fio-máquina, e, uma vez que martensita e/ou bainita se formam na região de segregação, a capacidade de trefilação é degradada. O teor de Mn é definido, portanto, como de 0,1 a 1,0% em massa.

Al: 0,01% em massa ou menos. De modo a se garantir que o Al não gere inclusões não metálicas de alumina indeformáveis duras, que degradam a ductilidade e a capacidade de trefilação do fio de aço, seu teor é definido como de 0,01% em massa ou menos (incluindo 0% em massa).

Ti: 0,01% em massa ou menos. De modo a se garantir que o Ti não gere dura, indeformável oxidação que degrada a ductilidade e a capacidade de trefilação do fio de aço, seu teor é definido como 0,01% em massa ou menos (incluindo 0% em massa).

N: de 10 a 60 ppm em massa. O N no aço forma um nitreto com B e, assim, funciona para evitar um crescimento de grão de austenita durante um aquecimento. Esta ação é eficazmente exibida a um teor de N de 10 ppm em massa ou mais. A um teor de N alto demais, contudo, os nitretos se formam excessivamente para diminuir a quantidade de B soluto sólido presente na austenita. Além disso, o N soluto sólido é passível de promover um envelhecimento durante uma trefilação de fio. O limite superior de teor de N, portanto, é definido como de 60 ppm em massa.

B: entre 5 ppm em massa ou $(0,77 \times N \text{ (ppm em massa)} - 17,4)$ ppm em massa e 50 ppm em massa. Quando B está presente na austenita em uma solução sólida, ele se segrega nas fronteiras de grão e inibe uma precipitação de ferrita, perlita degenerada, bainita e similar nas fronteiras de grão. Por outro lado, uma adição de B excessiva tem um efeito adverso sobre a capacidade de trefilação porque promove uma precipitação de carbureto grosseiro, especificamente, $\text{Fe}_{23}(\text{CB})_6$, na austenita. O limite inferior de teor de B, portanto, é definido como 5 ppm em massa ou $(0,77 \times N \text{ (ppm em massa)} - 17,4)$ ppm em massa, o que for maior, e o limite superior é definido

como 50 ppm em massa.

Os teores de impurezas P e S não são particularmente definidos, mas de um ponto de vista de obtenção de boa ductilidade, o teor de cada um preferencialmente é de 0,02% em massa ou menos, de modo similar a em
5 fios de aço extrafinos convencionais.

Embora o fio-máquina de aço usado na presente invenção tenha os elementos mencionados anteriormente como seus componentes básicos, um ou mais dos elementos aditivos opcionais a seguir podem ser positivamente incluídos, além disso, com a finalidade de melhoria da resistência,
10 tenacidade, ductilidade ou outras propriedades mecânicas:

Cr: 0,03 a 0,5% em massa, Ni: 0,5% em massa ou menos, Co: 0,5% em massa ou menos, V: 0,03 a 0,5% em massa, Cu: 0,2% em massa ou menos, Mo: 0,2% em massa ou menos, W: 0,2% em massa ou menos, e Nb: 0,1% em massa ou menos (onde o as faixas de teor de Ni, Co, Cu, Mo,
15 W e Nb não incluem 0% em massa). Uma explicação será feita com referência a estes elementos.

Cr: de 0,03 a 0,5% em massa. Como Cr reduz o espaçamento lamelar, ele é um elemento eficaz para melhoria da resistência, da capacidade de trefilação e de outras propriedades do fio-máquina. Para se tirar
20 uma vantagem plena destes efeitos, o Cr preferencialmente é adicionado a um teor de 0,03% em massa ou maior. A um teor excessivo, contudo, o Cr prolonga o tempo para a conclusão da transformação, desse modo aumentando a probabilidade da ocorrência de martensita, bainita e outras estruturas sub-resfriadas no fio-máquina laminado a quente, e também degrada a
25 capacidade de remoção de carepa mecânica. O limite superior do teor de Cr, portanto, é definido como 0,5% em massa.

Ni: 0,5% em massa ou menos. O Ni não contribui substancialmente para um melhoramento na resistência de fio-máquina, mas é um elemento que melhora a tenacidade do fio trefilado. A adição de 0,1% em massa ou mais de Ni é preferível para se permitir eficazmente esta ação. A um
30 teor excessivo, contudo, o Ni prolonga o tempo para a conclusão da transformação. O limite superior de teor de Ni é definido, portanto, como 0,5% em

massa.

Co: 1% em massa ou menos. O Co é um elemento eficaz para inibição da precipitação de cementsita pró-eutectóide em um produto laminado. A adição de 0,1% em massa ou mais de Co é preferível para se permitir eficazmente esta ação. Uma adição excessiva de Co é economicamente um desperdício, porque o efeito se satura. O limite superior de teor de Co é definido, portanto, como 0,5% em massa.

V: de 0,03 a 0,5% em massa. O V forma carbonitreto finos em austenita, desse modo evitando um crescimento de grão de grãos de austenita durante um aquecimento, e melhorando a ductilidade, e também contribui para um melhoramento de resistência pós-laminação. A adição de 0,03% em massa ou mais de V é preferível para se permitir eficazmente esta ação. Contudo, quando o V é adicionado em excesso, a quantidade de carbonitreto formados se torna grande demais, e o diâmetro de grão dos carbonitreto aumenta. O limite superior de teor de V é definido, portanto, como de 0,5% em massa.

Cu: 0,2% em massa ou menos. O Cu melhora a resistência à corrosão do fio de aço extrafino. A adição de 0,1% em massa ou mais de Cu é preferível para se permitir eficazmente esta ação. Contudo, quando o Cu é adicionado em excesso, ele reage com S para causar uma segregação de CuS nas fronteiras de grão. Como resultado, falhas ocorrem no lingote de aço, no fio-máquina, etc. no decorrer da fabricação do fio-máquina. Para se eliminar este efeito adverso, o limite superior de teor de Cu é definido como 0,2% em massa.

Mo: o Mo melhora a resistência à corrosão do fio de aço extrafino. A adição de 0,1% em massa ou mais de Mo é preferível para se permitir eficazmente esta ação. A um teor excessivo, contudo, o Mo prolonga o tempo para a conclusão da transformação. O limite superior de teor de Mo, portanto, é definido como 0,2% em massa.

W: O W melhora a resistência à corrosão do fio de aço extrafino. A adição de 0,1% em massa ou mais de W é preferível para se permitir eficazmente esta ação. A um teor excessivo, contudo, o W prolonga o tempo

para a conclusão da transformação. O limite superior de teor de W é definido, portanto, como de 0,2% em massa.

Nb: o Nb melhora a resistência à corrosão do fio de aço extrafino. A adição de 0,05% em massa ou mais de Nb é preferível para se permitir eficazmente esta ação. A um teor excessivo, contudo, o Nb prolonga o tempo para a conclusão da transformação. O limite superior de teor de Nb é definido, portanto, como de 0,1% em massa.

Condições de trefilação:

ao se submeter o fio-máquina de aço de acordo com o primeiro aspecto desta invenção a uma trefilação a frio, pode ser obtido um fio de aço de alta resistência excelente na ductilidade, que é caracterizado por ter uma resistência à tração de 2800 MPa ou mais. A deformação verdadeira do fio trefilado a frio é de 3 ou mais, preferencialmente de 3,5 ou mais.

Exemplos

A presente invenção será explicada, agora, mais concretamente, com referência a exemplos de trabalho. Contudo, a presente invenção não está limitada, de forma alguma, aos exemplos a seguir, e deve ser compreendido que a modificação apropriada pode ser feita, sem se desviar da essência da presente invenção, e que todas essas modificações caem no escopo técnico da presente invenção.

Os tarugos de aço das composições mostradas na Tabela 1 foram aquecidos e, então, laminados a quente em fios-máquinas de 4 a 6 mm de diâmetro. Os fios-máquinas foram embobinados a uma temperatura pre-determinada e patenteados utilizando-se o processo de Stelmor.

Uma medição de fração em volume não de perlita foi conduzida pelo embutimento da resina em uma seção em L de um fio-máquina laminado, polindo-o com alumina, corroendo a superfície polida com picral saturado, e observando-o com um microscópio de elétrons de varredura (SEM). A região observada por SEM foi dividida em Superfície, zonas de $\frac{1}{4}$ D e $\frac{1}{2}$ D (D significando o diâmetro do fio) e 10 fotografias, cada uma de uma área medindo 50 x 40 μ m, foram feitas em localizações randômicas em cada zona a uma magnificação de x3000. A relação de área de porções de perlita

degeneradas incluindo cementita granular dispersa, porções de bainita incluindo cementita tipo de placa dispersa com espaçamento de três ou mais vezes do espaçamento lamelar de porção de perlita circundante, e porções de ferrita pró-eutectóide precipitada ao longo de austenita foram submetidas a um processamento de imagem, e o valor obtido pela análise foi definido como a fração em volume não de perlita.

O tamanho de bloco de perlita foi determinado pelo embutimento da resina em uma seção em L do fio-máquina, polindo-o, usando-se uma análise de EBSP para a identificação de regiões envolvidas pelas fronteiras de uma diferença de orientação de 9 graus como blocos individuais, e calculando-se o tamanho de bloco médio a partir do volume médio dos blocos.

Cada fio-máquina patenteado foi livrado de carepa por decapagem e, então, usado para a preparação de 10 fios-máquinas de comprimento de 4 m impressos com um revestimento de fosfato de zinco por revestimento de Bonde. Os fios-máquinas assim preparados foram submetidos a uma trefilação de cabeçote único em uma taxa de redução de área de 16 a 20% por passe usando-se trefila, cada um tendo um ângulo de aproximação de 25 graus. A capacidade de trefilação foi determinada pelo cálculo da média dos valores do diâmetro de limite e a deformação verdadeira na fratura de trefilação.

Tabela 1

Composições Químicas (% em Massa (exceto por B e N))																		
Nº		C	Si	Mn	P	S	B(pp m)	Al	Ti	N(pp m)	Cr	Mo	Ni	Cu	V	Co	W	Nb
1	Invenção	0,70	0,30	0,45	0,019	0,025	24	0,000	0,000	20	-	-	-	-	-	-	-	-
2	Invenção	0,82	0,20	0,51	0,015	0,013	15	0,000	0,000	12	0,20	-	-	-	-	-	-	-
4	Invenção	0,92	0,25	0,46	0,019	0,025	30	0,000	0,000	60	-	-	0,10	-	-	-	-	-
5	Invenção	0,87	1,20	0,5	0,008	0,007	46	0,001	0,000	50	0,20	-	-	-	-	-	-	-
6	Invenção	1,09	0,20	0,5	0,010	0,009	25	0,000	0,001	50	0,20	-	-	0,10	-	-	-	-
7	Invenção	0,92	0,60	0,5	0,025	0,020	30	0,001	0,000	25	-	-	-	-	-	-	0,10	0,10
8	Invenção	0,82	0,20	0,5	0,008	0,008	11	0,000	0,000	25	-	-	-	-	-	-	-	-
9	Invenção	0,82	0,20	0,5	0,008	0,008	11	0,000	0,000	33	-	-	0,10	-	-	-	-	-
10	Invenção	0,82	0,20	0,5	0,008	0,008	20	0,001	0,000	25	-	-	-	-	-	-	-	-
11	Invenção	0,82	0,20	0,5	0,008	0,008	20	0,000	0,000	35	-	-	-	-	-	-	-	-
A	Invenção	0,92	0,20	0,5	0,008	0,008	15	0,000	0,000	25	0,20	-	-	-	0,03	-	-	-
B	Invenção	0,92	0,20	0,5	0,008	0,008	10	0,000	0,000	21	0,20	-	-	-	0,06	-	-	-
C	Invenção	1,02	0,20	0,5	0,008	0,008	15	0,000	0,000	25	0,20	-	-	-	0,03	-	-	-
D	Invenção	1,02	0,20	0,5	0,008	0,008	10	0,000	0,000	21	0,20	-	-	-	0,06	-	-	-
E	Invenção	0,82	0,21	0,48	0,009	0,009	12	0,000	0,000	24	0,03	-	-	-	-	-	-	-
F	Invenção	0,82	0,19	0,51	0,009	0,009	11	0,000	0,000	25	0,06	-	-	-	-	-	-	-
G	Invenção	0,92	0,20	0,5	0,008	0,008	9	0,000	0,000	23	0,05	-	-	-	0,04	-	-	-
H	Invenção	1,01	0,20	0,5	0,008	0,009	10	0,000	0,000	23	0,05	-	-	-	0,03	-	-	-
I	Invenção	1,02	0,20	0,5	0,008	0,008	8	0,000	0,000	21	0,04	-	-	-	-	-	-	-

Tabela 1 (Continuação)

Composições Químicas (% em Massa (exceto por B e N))																		
Nº		C	Si	Mn	P	S	B(pp m)	Al	Ti	N(pp m)	Cr	Mo	Ni	Cu	V	Co	W	Nb
12	Comparativo	0,70	0,30	0,6	0,008	0,007	11	0,000	0,000	35	-	0,20	-	-	-	-	-	-
13	Comparativo	0,82	0,20	0,5	0,010	0,009	2	0,000	0,010	50	0,20	-	-	-	-	-	-	-
14	Comparativo	0,90	0,20	0,8	0,010	0,009	60	0,000	0,005	25	-	-	0,10	-	-	-	-	-
15	Comparativo	0,87	1,70	0,4	0,015	0,013	20	0,000	0,010	25	0,20	-	-	-	-	-	-	-
16	Comparativo	1,30	1,00	0,3	0,015	0,013	20	0,030	0,000	25	-	-	-	-	-	0,30	-	-
17	Comparativo	0,92	0,30	1,5	0,015	0,013	20	0,000	0,000	25	-	-	-	-	0,20	-	-	-
18	Comparativo	0,82	1,00	0,5	0,025	0,020	20	0,030	0,000	35	-	-	-	-	0,20	-	-	-
19	Comparativo	0,96	0,20	0,5	0,010	0,009	0	0,000	0,010	25	0,20	-	-	-	0,10	-	-	-
20	Comparativo	0,82	0,20	0,5	0,010	0,009	0	0,000	0,010	25	-	-	-	-	-	-	-	-
21	Comparativo	0,82	0,20	0,5	0,010	0,009	13	0,000	0,010	25	-	-	-	-	-	-	-	-
22	Comparativo	0,82	0,20	0,45	0,019	0,025	24	0,000	0,000	25	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabela 2

Nº	Diâmetro (mm)	Temperatura de embobinamento ou aquecimento (°C)	Método de patenteamento	Taxa de resfriamento (°C/s)	Resistência de produto patentado (MPa)	Tamanho de bloco de perlita (µm)	Redução de área (%)	T _{min} (°C)	RA min (%)	Relação de área não de perlita (%)	Diâmetro de fratura de trefilação (mm)	Deformação verdadeira de fratura de trefilação	Nota
1	5,5	860	Stelmor	11	1077	30	61	800	41	1,2	1,9	2,1	
2	5,5	880	Stelmor	11	1185	32	56	800	43	2,4	2,6	1,5	
4	5,5	930	Stelmor	11	1277	43	55	895	37	2,5	2,9	1,3	
5	5,0	850	Stelmor	12	1375	22	41	800	47	2,5	2,8	1,2	
6	4,0	910	Stelmor	14	1442	37	38	888	35	2,8	2,4	1,0	
7	6,0	870	Stelmor	10	1324	29	56	800	44	2,8	2,9	1,5	
8	5,5	880	Stelmor	12	1196	28	55	871	45	1,3	2,7	1,4	
9	5,5	900	Stelmor	12	1203	35	56	891	41	2,2	2,7	1,4	
10	5,5	870	Stelmor	11	1169	24	57	800	46	2,1	2,4	1,7	
11	5,5	875	Stelmor	13	1196	31	54	864	43	1,9	2,6	1,5	
A	5,5	870	Stelmor	13	1274	32	49	848	43	1,9	2,9	1,3	
B	5,5	870	Stelmor	13	1274	27	51	860	46	1,7	2,9	1,3	
C	5,5	870	Stelmor	13	1353	30	41	848	43	1,7	2,9	1,3	
D	5,5	870	Stelmor	13	1353	28	46	860	44	1,5	2,9	1,3	
E	5,5	870	Stelmor	13	1195	31	44	862	43	1,6	2,8	1,3	
F	5,5	875	Stelmor	13	1196	32	45	871	43	1,8	2,9	1,3	
G	5,5	875	Stelmor	13	1274	29	46	873	45	2,1	2,9	1,3	
H	5,5	875	Stelmor	14	1345	32	46	868	42	2,0	2,9	1,3	
I	5,5	875	Stelmor	13	1353	35	42	870	40	1,6	3,0	1,2	

Tabela 2 (Continuação)

Nº	Diâmetro (mm)	Temperatura de embobinamento ou aquecimento (°C)	Método de patentear	Taxa de resfriamento (°C/s)	Resistência de produto patentado (MPa)	Tamanho de bloco de perlita (µm)	Redução de área (%)	T _{min} (°C)	RA min (%)	Relação de área não de perlita (%)	Diâmetro de fratura de trefilação (mm)	Deformação verdadeira de fratura de trefilação	Nota
12	5,5	850	Stelmor	10	1128	30	33	894	43	3,5	3,7	0,8	pró-eutectóide θ
13	5,5	870	Stelmor	10	1169	34	39	919	42	4,5	3,4	1,0	pró-eutectóide α
14	5,5	860	Stelmor	11	1270	38	56	800	40	3,9	3,5	0,9	pró-eutectóide θ
15	5,5	870	Stelmor	12	1435	36	28	800	36	12,6	4,0	0,7	micromartensita
16	5,5	870	Stelmor	11	1657	32	23	800	22	4,7	4,1	0,6	Sem B
17	5,5	860	Stelmor	12	1352	26	39	800	45	3,8	3,6	0,8	Sem B
18	5,5	820	Stelmor	11	1305	22	39	864	49	8,2	3,3	1,0	Resfriamento rápido
19	5,5	905	Stelmor	11	1306	36	42	900	40	3,6	4,1	0,4	Resfriamento lento
20	5,5	905	Stelmor	11	1186	32	41	900	43	3,4	3,1	1,1	
21	5,5	885	Stelmor	40	1316	16	33	861	51	2,7	3,9	1,0	
22	5,5	880	Air	2	1020	52	28	870	31	2,7	3,1	0,6	

A Tabela 1 mostra as composições químicas dos produtos avaliados, e a Tabela 2 mostra suas condições de teste, diâmetro de grão de austenita e propriedades mecânicas.

Nas Tabelas 1 e 2, 1 a 11 e A a I são aços da invenção e 12 a 22 são aços comparativos.

12 e 18 são casos nos quais uma redução de área foi baixa, porque uma temperatura de embobinamento baixa fez com que nitreto e carbureto de B se precipitassem antes do patenteamento e, assim, tornam impossível obter um B soluto sólido adequado. 13, 19 e 20 são casos nos quais uma redução de área foi baixa, porque a quantidade de B adicionado foi baixa ou nula. 14 é um caso no qual uma redução de área foi baixa porque um teor de B excessivo causou uma precipitação pesada de carbureto de B e cementita pró-eutectóide nas fronteiras de grão de austenita. 15 é um caso no qual uma precipitação de ferrita pró-eutectóide não pôde ser inibida porque o teor de Si foi excessivo. 16 é um caso no qual uma precipitação de cementita pró-eutectóide não pôde ser inibida porque o teor de C foi excessivo. 17 é um caso no qual uma formação de micromartensita não pôde ser inibida porque o teor de Mn foi excessivo. 21 é um caso no qual a ductilidade foi ruim porque uma taxa de resfriamento excessivamente alta durante um patenteamento tornou TS alta para o teor de C. A taxa de resfriamento alta refinou o tamanho de bloco. 22 é um caso no qual a ductilidade foi ruim porque uma taxa de resfriamento baixa durante um patenteamento tornou grosseiro o tamanho de bloco.

A figura 1 é um diagrama que mostra como uma deformação verdadeira média na fratura por trefilação variou como uma função de relação de área não de perlita na invenção e nos aços comparativos. Os aços da invenção foram altos na deformação verdadeira média na fratura e exibiram boa capacidade de trefilação. Contudo, o limite de trefilação também depende da TS. Como a deformação verdadeira média na fratura por trefilação variou como uma função de resistência à tração, portanto, é mostrado na figura 2. Uma comparação da invenção e dos aços comparativos na mesma TS mostra que os aços da invenção foram mais altos na deformação verda-

deira média e exibiram uma capacidade de trefilação superior. A figura 3 se refere àqueles dentre os fios-máquinas de aço tendo composições químicas e condições de aquecimento caindo nas faixas da presente invenção que foram exemplos cuja TS estava na faixa de 1000 a 1300 MPa. O diagrama

5 mostra como uma deformação verdadeira média na fratura por trefilação variou como uma função do tamanho de bloco de perlita. Uma capacidade de trefilação superior foi exibida, quando o tamanho de bloco de perlita estava na faixa de não menos do que 20 μm e não maior do que 45 μm .

Nas figura 1 a 3, $\blacklozenge$ indica um aço da invenção e $\square$ representa um

10 aço comparativo.

Esta invenção permite a fabricação de um cordão de aço usável como um material de reforço, por exemplo, em pneus radiais, vários tipos de cintas industriais e similares, e também de fio-máquina laminado adequado para uso em aplicações, tal como um fio para costura.

REIVINDICAÇÕES

1. Fio-máquina de aço de alta resistência excelente na capacidade de trefilação, que compreende uma estrutura de perlita de uma relação de área de 97% ou mais e um saldo de estruturas não de perlita incluindo bainita, perlita degenerada e ferrita pró-eutectóide e tendo um tamanho de bloco de perlita de não menos do que 20 μm e não maior do que 45 μm .

2. Fio-máquina de aço de alta resistência, de acordo com a reivindicação 1, que compreende, em % em massa:

C: 0,70 a 1,10%,
Si: 0,1 a 1,5%,
Mn: 0,1 a 1,0%
Al: 0,01% ou menos,
Ti: 0,01% ou menos,
N: 10 a 60 ppm em massa,
B: não menos do que $(0,77 \times \text{N (ppm em massa)} - 17,4)$ ppm em massa ou 5 ppm em massa, o que for maior, e não mais do que 52 ppm em massa, e o saldo de Fe e impurezas inevitáveis.

3. Fio-máquina de aço de alta resistência, de acordo com a reivindicação 2, que ainda compreende, em % em massa, um ou mais membros selecionados a partir do grupo que consiste em:

Cr: 0,03 a 0,5%,
Ni: 0,5% ou menos (não incluindo 0%),
Co: 0,5% ou menos (não incluindo 0%),
V: 0,03 a 0,5%,
Cu: 0,2% ou menos (não incluindo 0%),
Mo: 0,2% ou menos (não incluindo 0%),
W: 0,2% ou menos (não incluindo 0%), e
Nb: 0,1% ou menos (não incluindo 0%).

4. Método de fabricação do fio-máquina de aço de alta resistência como definido na reivindicação 2 ou 3, que compreende:

a laminação a quente de um tarugo de aço tendo a composição química de 2) ou 3),

o embobinamento do aço laminado a quente na faixa de temperatura entre T_{min} mostrada abaixo e $950\text{ }^{\circ}\text{C}$, e

a submissão do aço embobinado ao patenteamento usando um método de resfriamento no qual uma taxa de resfriamento entre 800 e 600

5 $^{\circ}\text{C}$ é de $5\text{ }^{\circ}\text{C/s}$ ou maior,

T_{min} sendo $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ quando $B\text{ (ppm em massa)} - 0,77 \times N\text{ (ppm em massa)} > 0,0$, e

T_{min} sendo $T_{min} = 950 + 1450 / (B\text{ (ppm em massa)} - 0,77 \times N\text{ (ppm em massa)} - 10)\text{ }^{\circ}\text{C}$ quando $B\text{ (ppm em massa)} - 0,77 \times N\text{ (ppm em massa)} \leq 0,0$.

10

5. Fio de aço de alto carbono excelente na ductilidade, o qual é fabricado pela submissão do fio-máquina de aço como definido em qualquer uma das reivindicações 1 a 3 a um patenteamento intermediário e uma trefilação a frio e que tem resistência à tração (TS) de 2800 MPa ou maior.

Fig.1

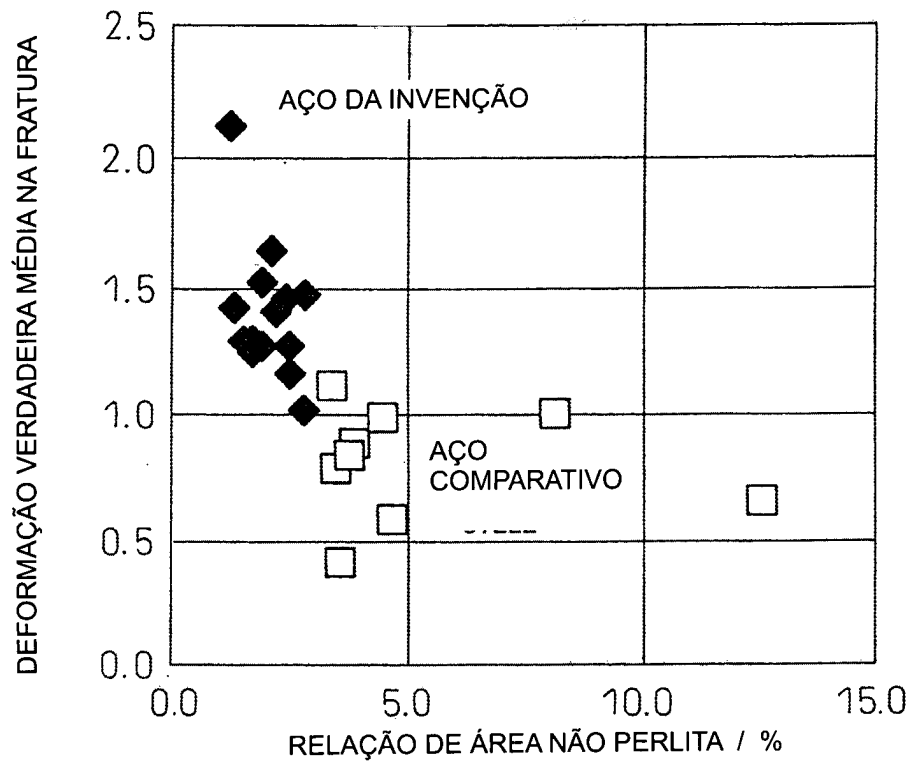


Fig.2

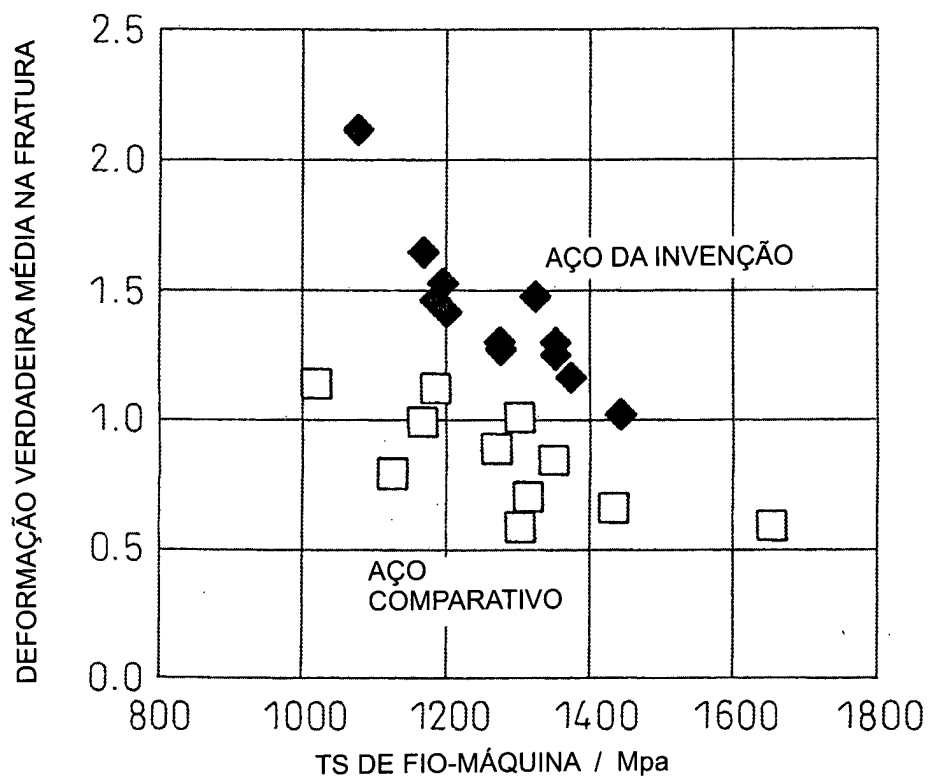
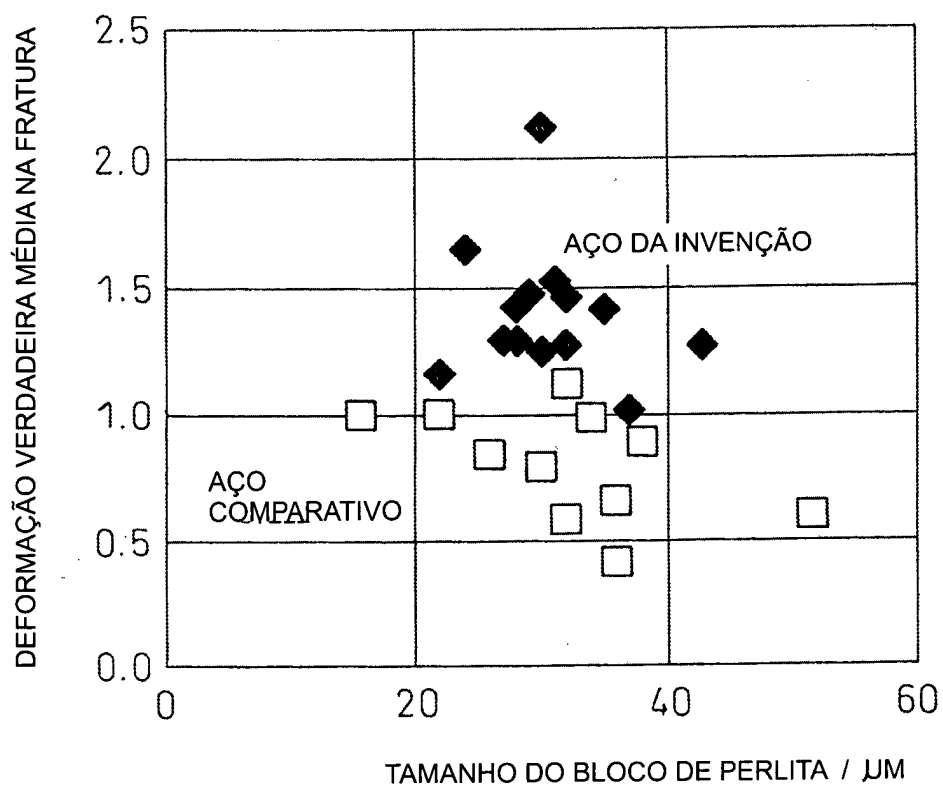


Fig.3



RESUMO

Patente de Invenção: "FIO-MÁQUINA DE ALTA RESISTÊNCIA EXCELENTE NAS CARACTERÍSTICAS DE TREFILAÇÃO E MÉTODO DE FABRICAÇÃO DO MESMO".

5 A presente invenção refere-se um fio-máquina excelente na capacidade de trefilação e um fio de aço feito a partir do fio-máquina como um material de partida com alta produtividade a uma boa produção e um custo baixo. Um fio-máquina de aço duro de uma composição especificada é laminado a quente, o aço laminado a quente é embobinado em uma faixa de

10 temperatura específica, e o aço embobinado é submetido a um patenteamento a uma taxa de resfriamento predeterminada, desse modo se assegurando um fio de aço de alto carbono excelente na capacidade de trabalho. O fio de aço de alta resistência é excelente na capacidade de trefilação compreendendo uma estrutura de perlita de uma relação de área de 97% ou

15 maior e o saldo de estruturas não de perlita incluindo bainita, perlita degenerada e ferrita pró-eutectóide e tendo um tamanho de bloco de perlita de não menos do que 20 μm e não mais do que 45 μm . A invenção também refere-se a um fio de aço de alto carbono excelente na ductilidade, o qual é fabricado pela submissão do fio-máquina a um patenteamento intermediário e a

20 uma trefilação a frio e tem uma resistência à tração de 2800 MPa ou maior.