



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

(21) **PI0621472-0 A2**



(22) Data de Depósito: 07/11/2006
(43) Data da Publicação: 13/12/2011
(RPI 2136)

(51) *Int.Cl.:*
C22C 38/00
B21B 1/02
B21B 3/00
C21D 3/06
C21D 8/06
C21D 9/52
C22C 38/34
C22C 38/54

(54) **Título:** FIO-MÁQUINA TENDO EXCELÊNCIA EM DUTILIDADE DO FIO

(30) **Prioridade Unionista:** 28/02/2006 JP 2006-053525

(73) **Titular(es):** Kabushiki Kaisha Kobe Seiko Sho (Kobe Steel, Ltd.)

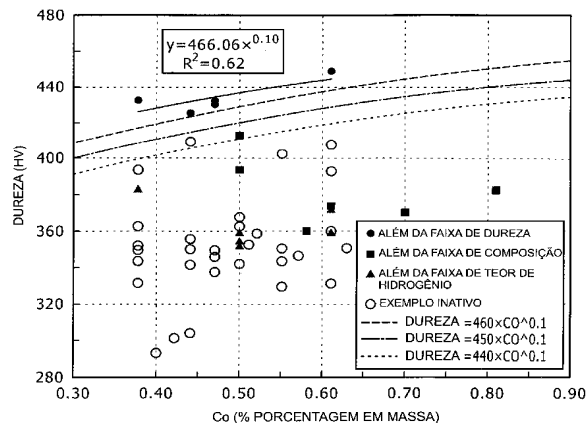
(72) **Inventor(es):** Fujio Koizumi, Ken Ishida, Masao Toyama, Shogo Murakami, Shoji Miyazaki, Takuya Kochi

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

(86) **Pedido Internacional:** PCT JP2006322130 de 07/11/2006

(87) **Publicação Internacional:** WO 2007/099671de
07/09/2007

(57) **Resumo:** FIO-MÁQUINA TENDO EXCELÊNCIA EM DUTILIDADE DO FIO. A presente invenção refere-se a um fio-máquina laminado a quente sobressaindo em dutilidade do fio é fornecido, no qual ruptura pode ser suprimida mesmo em trabalho pesado a partir de um grande diâmetro. Um fio-máquina laminado a quente contém C: 0,35% a 0,65% (porcentagem em massa, expressada igualmente em seguida), Si: 1,4% a 3,0%, Mn: 0,10% a 1,0%, Cr: 0,1% a 2,0%, P: 0,025% ou menos (exclusivo de 0%), S: 0,025% ou menos (exclusivo de 0%), N: 0,006% ou menos (exclusivo de 0%), Al: 0,1% ou menos (exclusivo de 0%) e O: 0,0030% ou menos (exclusivo de 0%), com o restante consistindo em Fe e impurezas inevitáveis; em que o conteúdo de hidrogênio em aço é 2,50 ppm (ppm em massa, expressada igualmente em seguida) ou menos, e dureza (HV) é $460 \times C_0^{0,1}$ ou menos (C_0 indica o conteúdo de C (porcentagem em massa) em uma posição de profundidade de D/4 (D: diâmetro do fio-máquina)).





Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "FIO-MÁQUINA
TENDO EXCELÊNCIA EM DUTILIDADE DO FIO".

Campo Técnico

A presente invenção refere-se a fio-máquina que pode ser usado
5 para materiais de produtos de estiramento de fio tais como cordões de aço,
fios para pneus, fio de aço PC e aço de molas, e a um método de fabricação
do fio-máquina; e particularmente refere-se a fio-máquina laminado a quente
sobressaindo em dutilidade do fio, no qual ruptura pode ser suprimida mes-
mo em estiramento de fio pesado de fio-máquina tendo grandes diâmetros, e
10 a um método de fabricação do fio-máquina.

Técnica Anterior

No fio-máquina ou em aço de molas para estiramento de fio, du-
tilidade do fio tem sido aperfeiçoada pelo controle de fatores microestrutu-
rais, suprimindo segregação, ou similar. Por exemplo, a JP-A-11-199977 pro-
15 põe que tamanho de nódulo de perlita, um nível de segregação central e um
intervalo lamelar de uma estrutura de perlita sejam controlados a fim de a-
perfeiçoar dutilidade do fio (particularmente, dutilidade do fio-máquina) de
fio-máquina. A JP-A-2000-239797 propõe que propriedades mecânicas de
aço de molas sejam ajustadas de forma apropriada para aperfeiçoar dutili-
20 dade do fio-máquina do aço de molas.

Para formação de liga alta associada com aumento na resistên-
cia de uma mola e similares, supressão de microestruturas superesfriadas
também é exigida para o fio-máquina. Supressão de microestruturas super-
esfriadas pode ser alcançada pela fabricação de um fio-máquina tendo um
25 grande diâmetro de fio. Entretanto, o fio-máquina tendo o grande diâmetro
de fio exhibe grande encruamento por causa do estiramento de fio pesado e,
além disso, à medida que o diâmetro inicial de fio é aumentado o estiramen-
to de fio se torna mais difícil. Portanto, um fio-máquina tendo um grande di-
âmetro é exigido ter dutilidade do fio mais alta.

30 Descrição da Invenção

Problema a ser Resolvido pela Invenção

É desejável fornecer um fio-máquina laminado a quente sobressain-

do em utilidade do fio, no qual ruptura pode ser suprimida mesmo em trabalho pesado usando um fio-máquina com um grande diâmetro.

Meios para Resolver o Problema

Um fio-máquina laminado a quente de acordo com uma modalidade da invenção contém C: 0,35% a 0,65% (porcentagem em massa, expressada igualmente em seguida), Si: 1,4% a 3,0%, Mn: 0,10% a 1,0%, Cr: 0,1% a 2,0%, P: 0,025% ou menos (exclusivo de 0%), S: 0,025% ou menos (exclusivo de 0%), N: 0,006% ou menos (exclusivo de 0%), Al: 0,1% ou menos (exclusivo de 0%) e O: 0,0030% ou menos (exclusivo de 0%), com o restante consistindo em Fe e impurezas inevitáveis; em que o conteúdo de hidrogênio em aço é 2,50 ppm (ppm em massa, expressada igualmente em seguida) ou menos, e dureza (HV) é $460 \times C_0^{0,1}$ ou menos (C_0 indica o conteúdo de C (porcentagem em massa) em uma posição de profundidade de D/4 (D: diâmetro do fio-máquina)). O "fio-máquina laminado a quente" na modalidade da invenção significa um "fio-máquina tal como é laminado a quente".

Como um aspecto mais preferível do fio-máquina laminado a quente de acordo com a modalidade da invenção, (I) um fio-máquina é dado, o fio-máquina tendo diâmetro médio de grão ($D_{méd}$) de 20 μm ou menos, e diâmetro máximo de grão ($D_{máx}$) de 80 μm ou menos em um grão bcc-Fe de uma estrutura metalográfica, e/ou um fio-máquina satisfazendo a equação seguinte (1) é dado;

$$C_{máx}/C_0 \leq 1,20 \dots (1)$$

(em que $C_{máx}$ indica o conteúdo de C (porcentagem em massa) em uma posição de profundidade de D/2 (D: diâmetro do fio-máquina)), e C_0 indica o conteúdo de C (porcentagem em massa) na posição de profundidade de D/4).

Efetivamente, o fio-máquina laminado a quente da modalidade da invenção pode conter adicionalmente o seguinte tal como necessário: A) Ni: 1% ou menos (exclusivo de 0%) e/ou Cu: 1,0% ou menos (exclusivo de 0%); B) pelo menos um elemento selecionado de um grupo incluindo V: 0,30% ou menos (exclusivo de 0%), Ti: 0,10% ou menos (exclusivo de 0%),

Nb: 0,1% ou menos (exclusivo de 0%) e Zr: 0,10% ou menos (exclusivo de 0%); C) Mo: 1,0% ou menos (exclusivo de 0%); D) B: 50 ppm ou menos (exclusivo de 0 ppm); e/ou E) pelo menos um elemento selecionado de um grupo incluindo Mg: 50 ppm ou menos (exclusivo de 0 ppm), Ca: 50 ppm ou menos (exclusivo de 0 ppm), e elementos terras raras: 1,5 ppm ou menos (exclusivo de 0 ppm); em que propriedades do fio-máquina são aperfeiçoadas adicionalmente dependendo de um tipo de componente a ser contido.

Um método de fabricação de acordo com uma modalidade da invenção é posicionado como um método útil para fabricar o fio-máquina laminado a quente tendo a propriedade descrita, isto é, excelente utilidade do fio. Um primeiro aspecto do método de fabricação da modalidade da invenção inclui: executar aquecimento no qual um tarugo satisfazendo a exigência da composição (exceto para o conteúdo de hidrogênio) é mantido em 500 a 730°C por 60 min; aquecer o tarugo para 950 a 1.250°C, e executar laminação a quente do tarugo para fabricar um fio-máquina na temperatura de laminação (Tr) de 800°C ou mais e temperatura final de laminação (Tf) de 1.150°C ou menos; colocar o fio-máquina laminado a quente em um leito de resfriamento na temperatura de embobinamento (TL) de 1.020°C ou menos; e resfriar o fio em uma taxa de resfriamento média (CR2) de 5°C/s ou menos da temperatura de embobinamento (TL) para 500°C.

Um segundo aspecto do método de fabricação da modalidade da invenção inclui: executar aquecimento no qual um tarugo satisfazendo a exigência da composição (exceto para o conteúdo de hidrogênio) é mantido em 500 a 730°C por 60 min; aquecer o tarugo para 950 a 1.250°C, e executar laminação a quente do tarugo para fabricar um fio-máquina na temperatura de laminação (Tr) de 800°C ou mais e temperatura final de laminação (Tf) de 1.150°C ou menos; colocar um fio-máquina laminado a quente em um leito de resfriamento na temperatura de embobinamento (TL) de 1.020°C ou menos; e resfriar o fio em uma taxa de resfriamento média (CR1) de 2°C/s ou mais da temperatura de embobinamento (TL) para 730°C, e em uma taxa de resfriamento média (CR2) de 5°C/s ou menos da temperatura de embobinamento (TL) para 500°C.

Um terceiro aspecto do método de fabricação da modalidade da invenção inclui: executar tratamento de homogeneização no qual um tarugo satisfazendo a exigência da composição (exceto para o conteúdo de hidrogênio) é mantido em 1.250 a 1.350°C por 60 min; executar aquecimento no qual o tarugo é mantido em 500 a 730°C por 60 min; aquecer o tarugo para 950 a 1.250°C, e executar laminação a quente do tarugo para fabricar um fio-máquina na temperatura de laminação (T_r) de 800°C ou mais e temperatura final de laminação (T_f) de 1.150°C ou menos; colocar o fio-máquina laminado a quente em um leito de resfriamento na temperatura de embobinamento (TL) de 1.020°C ou menos; e resfriar o fio em uma taxa de resfriamento média (CR1) de 2°C/s ou mais da temperatura de embobinamento (TL) para 730°C, e em uma taxa de resfriamento média (CR2) de 5°C/s ou menos da temperatura de embobinamento (TL) para 500°C.

Um quarto aspecto do método de fabricação da modalidade da invenção inclui: executar aquecimento no qual um tarugo satisfazendo a exigência da composição (exceto para o conteúdo de hidrogênio) é mantido em 500 a 730°C por 60 min; executar tratamento de homogeneização no qual o tarugo é mantido em 1.250 a 1.350°C por 60 min; aquecer o tarugo para 950 a 1.250°C, e executar laminação a quente do tarugo para fabricar um fio-máquina laminado a quente na temperatura de laminação (T_r) de 800°C ou mais e temperatura final de laminação (T_f) de 1.150°C ou menos; colocar o fio-máquina laminado a quente em um leito de resfriamento na temperatura de embobinamento (TL) de 1.020°C ou menos para fabricar um fio; e resfriar o fio em uma taxa de resfriamento média (CR1) de 2°C/s ou mais da temperatura de embobinamento (TL) para 730°C, e em uma taxa de resfriamento média (CR2) de 5°C/s ou menos da temperatura de embobinamento (TL) para 500°C.

Além disso, uma modalidade da invenção fornece um método de redução do conteúdo de hidrogênio em aço, incluindo aquecimento no qual um tarugo é mantido em 500 a 730°C por 60 min ou mais, o hidrogênio tendo efeito adverso na utilidade do fio.

Os inventores descobriram que cada um dos conteúdos de C, Si,

Mn, Cr, P, S, N, Al e O em aço foi especificado, e o conteúdo de hidrogênio em aço foi reduzido, e dureza foi controlada para ficar em uma certa faixa ou inferior, assim o fio-máquina laminado a quente sobressaindo em utilidade do fio foi capaz de ser fornecido, no qual ruptura foi suprimida mesmo em
5 trabalho pesado usando fio-máquina tendo diâmetros grandes.

Descrição Resumida dos Desenhos

A figura 1 é um gráfico mostrando uma relação entre dureza e C_0 (= o conteúdo de C (porcentagem em massa) em uma posição de profundidade de $D/4$ (D: diâmetro de um fio-máquina)) de um fio-máquina obtido em
10 um exemplo.

Melhor Modo para Execução da Invenção

No fio-máquina de acordo com a modalidade da invenção, o conteúdo de hidrogênio em aço é reduzido para alcançar excelente utilidade do fio. É conhecido até agora que hidrogênio afeta adversamente o aço sob uma condição de carregamento de tensão durante um longo período de
15 tempo em que o hidrogênio pode se difundir suficientemente, por exemplo, no caso de fratura retardada, mas tem sido considerado que hidrogênio não afeta adversamente o aço sob uma condição de carregamento de tensão durante um período de tempo comparativamente pequeno, tal como em estiramento de fio. Entretanto, os inventores descobriram que o hidrogênio em
20 aço, o que não tem sido considerado como um problema particular, teve um grande efeito na utilidade do fio sob uma condição de estiramento de fio pesada. Quando existem carbonitretos e outros mais de um elemento de liga, o qual foi acrescentado para aumentar resistência no fio-máquina, uma vez que eles agem como armadilhas para hidrogênio, o conteúdo de hidro-
25 gênio em aço é aumentado.

Um motivo para o efeito adverso do hidrogênio no estiramento de fio pesado é suposto ser por causa do encruamento em virtude do trabalho pesado causar aumento na resistência que por sua vez aumenta sensibi-
30 lidade de fragilização de hidrogênio, ou hidrogênio que tenha sido fixado a um local de armadilha é liberado do local pela elevação de temperatura por causa do trabalho pesado, e contribui para a fragilização. Entretanto, a mo-

dalidade da invenção não está limitada a tal suposição.

Para suprimir suficientemente a ruptura mesmo em trabalho pesado, o conteúdo de hidrogênio em aço do fio-máquina laminado a quente necessita ser 2,50 ppm ou menos. O conteúdo de hidrogênio em aço é preferivelmente 2 ppm ou menos, e mais preferivelmente 1,5 ppm ou menos.

O conteúdo de hidrogênio em aço pode ser medido usando APIMS (Espectrômetro de Massa de Ionização de Pressão Atmosférica). Um valor de "o conteúdo de hidrogênio em aço" na modalidade da invenção é obtido por amostragem de uma amostra semelhante a disco (espessura: 2 mm) pelo corte de um fio-máquina, medindo-se então o conteúdo total de hidrogênio desenvolvido da amostra da temperatura ambiente para 350°C sob uma condição de uma taxa de aquecimento de 10 K/min usando APIMS.

Como resultado de investigação adicional, os inventores descobriram que existiu uma certa relação entre ductilidade do fio e dureza de um fio-máquina, e quando a dureza inicial do fio-máquina era alta, ruptura estava apta para ocorrer durante estiramento de fio. O motivo para isto é considerado ser por causa de quando a dureza inicial é alta sensibilidade à fratura é aumentada uma vez que encruamento se torna mais significativo, ou efeito de calor por causa do trabalho é significativo. Entretanto, a modalidade da invenção não está limitada a tal suposição.

A dureza de um fio-máquina é afetada principalmente pelo conteúdo de C e por uma estrutura do fio-máquina. De uma maneira geral, à medida que o conteúdo de C é aumentado, ou uma quantidade de uma estrutura de martensita tal como a microestrutura superesfriada é aumentada, a dureza é aumentada. A microestrutura do fio-máquina afeta ductilidade do fio de forma similar à dureza. Especificamente, é considerado que quanto maior a quantidade de martensita mais facilmente ocorre ruptura em um fio-máquina.

Tal como anteriormente, ductilidade do fio de um fio-máquina (fragilidade) é afetada não somente pela dureza, mas também pela sua microestrutura. Portanto, mesmo em fio-máquina tendo a mesma dureza, ruptura ocorre facilmente em um fio-máquina tendo um baixo conteúdo de C e

uma grande quantidade de estrutura de martensita, quando comparado com um fio-máquina tendo um alto conteúdo de C e uma grande quantidade de estrutura de ferrita-perlita. Desta maneira, pode ser dito que ruptura dificilmente ocorre em um fio-máquina tendo um alto conteúdo de C quando comparado com um fio-máquina tendo um baixo conteúdo de C se eles tiverem a mesma dureza e, além do mais, pode ser considerado que um valor de referência (valor máximo) de dureza permitida em um fio-máquina tendo excelente ductilidade do fio pode ser estabelecido alto no fio-máquina tendo um alto conteúdo de C.

10 Com base na consideração tal como indicada anteriormente, ainda considerando a microestrutura, "dureza" (HV) de $460 \times C_0^{0,1}$ ou menos (C_0 indica o conteúdo de C (porcentagem em massa) em uma posição de profundidade de D/4 (D: diâmetro do fio-máquina)) foi determinada como uma exigência de dureza. A exigência de dureza $\leq 460 \times C_0^{0,1}$ é obtida da
15 maneira seguinte.

Nas modalidades seguintes, quando dados de " C_0 " e "dureza" de um fio-máquina (exemplo comparativo, círculos pretos na figura 1), do qual a ductilidade do fio é considerada para ser reduzida por causa de alta dureza, são submetidos à aproximação de energia, uma curva em uma linha cheia
20 tal como mostrado na figura 1 é obtida (expressão aproximada: dureza = $466,06 \times C_0^{0,10}$ ($R^2 = 0,62$)).

Nesta expressão aproximada (dureza = $466,06 \times C_0^{0,10}$), à medida que um valor de C_0 é aumentado, um valor de dureza também é aumentado, e de modo oposto à medida que o valor de C_0 é reduzido, o valor de
25 dureza também é reduzido. Desta maneira, os inventores consideraram a expressão aproximada como uma expressão indicando um valor de referência (valor máximo) de dureza de um fio-máquina que é facilmente quebrado em consideração incluindo a microestrutura. Na figura 1, uma região de uma curva em uma linha tracejada (dureza = $460 \times C_0^{0,10}$) ou inferior, a qual está
30 abaixo da curva da linha cheia (curva aproximada do exemplo comparativo), isto é, uma região de "dureza $\leq 460 \times C_0^{0,10}$ " foi determinada como uma faixa de dureza para ser satisfeita pelo fio-máquina da modalidade da invenção.

Um faixa preferível é "dureza $\leq 450 \times C_0^{0,10}$ " (uma região de uma curva em uma linha de traço e ponto ou inferior na figura 1), e uma faixa mais preferível é "dureza $\leq 440 \times C_0^{0,10}$ " (uma região de uma curva em uma linha pontilhada ou inferior na figura 1).

5 Quando a estrutura não é considerada, é considerado que à medida que dureza é reduzida, ductilidade do fio é aperfeiçoada. Desta maneira, na modalidade da invenção, um valor máximo de dureza (HV) do fio-máquina é preferivelmente 420, mais preferivelmente 410 ou menos, e preferivelmente de modo adicional 400 ou menos.

10 O valor de "dureza" na modalidade da invenção é um valor médio aritmético simples de valores obtidos pelo corte de um fio-máquina em uma seção transversal lateral para preparar pelo menos três amostras por fio-máquina, medindo então dureza em quatro pontos ou mais em posições de profundidade de D/4 de cada amostra por um medidor de dureza Vickers
15 (carga de 1 kgf).

Entre os fios-máquinas laminados a quente da modalidade da invenção, um fio-máquina é preferível, o qual tem um diâmetro médio de grão ($D_{\text{méd}}$) de 20 μm ou menos e diâmetro máximo de grão ($D_{\text{máx}}$) de 80 μm ou menos em um grão bcc-Fe de uma estrutura metalográfica. Isto é porque
20 foi descoberto que pontos de partida de ruptura ou defeitos de trabalho durante estiramento de fio eram facilmente gerados no caso de grãos grosseiros e, além disso, mesmo quando um valor médio de diâmetro de grão foi feito pequeno, quando existiram alguns grãos grosseiros, ruptura ocorreu facilmente. À medida que tanto o diâmetro médio de grão ($D_{\text{méd}}$) quanto o
25 diâmetro máximo de grão ($D_{\text{máx}}$) são menores, ductilidade do fio é aperfeiçoada. Mais preferivelmente, o diâmetro médio de grão ($D_{\text{méd}}$) é 15 μm ou menos, e o diâmetro máximo de grão ($D_{\text{máx}}$) é 60 μm ou menos. Valores do diâmetro médio de grão ($D_{\text{méd}}$) e do diâmetro máximo de grão ($D_{\text{máx}}$) na modalidade da invenção são valores de medição no centro de um diâmetro de fio
30 de um fio-máquina.

Os valores do diâmetro médio de grão ($D_{\text{méd}}$) e do diâmetro máximo de grão ($D_{\text{máx}}$) na modalidade da invenção são valores medidos da

maneira seguinte usando um método SEM/EBSP (Padrão de Difração de Elétrons Retroespalhados).

Primeiro, uma amostra de 10 mm de comprimento é obtida de um fio-máquina por meio de corte molhado e então, tal como a preparação de amostra para medição EBSP, polimento molhado, polimento com couro e polimento químico são executados de maneira que uma amostra é preparada, na qual deformação e irregularidade por causa de polimento são reduzidas ao máximo. Dessa vez o polimento é executado de maneira tal que uma superfície de observação corresponde a um centro de diâmetro de fio em uma seção vertical do fio-máquina. Usando uma amostra obtida, medição é executada com o centro de diâmetro de fio do fio-máquina como um ponto de medição EBSP. Dessa vez, uma etapa de medição é ajustada para ser 0,5 μm ou menos, de maneira tal que uma área de medição de cada fio-máquina é de 60.000 μm^2 ou mais. Depois da medição, orientação de cristal é analisada, cujos resultados de medição tendo um valor de CI médio (Índice de Confiança) de 0,3 ou mais são usados para aperfeiçoar confiabilidade da análise.

Resultados analíticos (mapa de contorno) são coletados assumindo que uma região encerrada por uma linha de contorno tendo diferença em azimute de 10 graus ou mais pela análise da orientação de cristal bcc-Fe é o "grão" na modalidade da invenção. No mapa de contorno obtido, uma área de uma região individual (unidade de cristal) encerrada pela linha de contorno é obtida usando um software de análise de imagem "Image-Pro" (fabricado pela ADVANSOFT Ltd.) e então o diâmetro de círculo equivalente (diâmetro) é calculado a partir da área como o diâmetro de grão de um grão individual. A medição é executada para pelo menos três amostras, e o diâmetro médio de grão ($D_{\text{méd}}$) como o diâmetro de número médio e o diâmetro máximo de grão ($D_{\text{máx}}$) são calculados com base em todos os dados de medição.

No fio-máquina laminado a quente de acordo com a modalidade da invenção, para aperfeiçoar adicionalmente a utilidade do fio, segregação de C é preferivelmente controlada de maneira tal que a equação seguinte (1)

é satisfeita:

$$C_{\text{máx}}/C_0 \leq 1,20 \dots (1)$$

(em que $C_{\text{máx}}$ indica o conteúdo de C (porcentagem em massa) em uma posição de profundidade de $D/2$ (D : diâmetro do fio-máquina)), e C_0 indica o conteúdo de C (porcentagem em massa) na posição de profundidade de $D/4$).

Isto é porque quando a segregação de C é excessiva, utilidade do fio pode ser reduzida porque encruamento durante estiramento de fio pode se tornar irregular dentro de um fio-máquina, ou vazios são facilmente gerados em uma segregação local de C. O $C_{\text{máx}}/C_0$ do fio-máquina na modalidade da invenção é preferivelmente 1,15 ou menos, e mais preferivelmente 1,10 ou menos.

A modalidade da invenção adotou o conteúdo de C (porcentagem em massa) na posição de profundidade de $D/2$ (D : diâmetro do fio-máquina) como um valor de $C_{\text{máx}}$. Isto é porque segregação de carbono é significativa na parte central do fio-máquina. Além disso, a modalidade adotou o conteúdo de C (porcentagem em massa) na posição de profundidade de $D/4$ como um valor de C_0 . Isto é para evitar efeito de um local descarbonizado em uma superfície e a segregação local de C no centro. O valor do $C_{\text{máx}}$ ou C_0 na modalidade da invenção é medido por um método de absorção do infravermelho de combustão usando uma amostra pulverizada tomada da posição de profundidade de $D/2$ ou $D/4$, respectivamente.

A modalidade da invenção especifica uma composição química além do conteúdo de hidrogênio em aço e dureza do fio-máquina laminado a quente. Isto é porque quando cada componente químico não está dentro de uma faixa apropriada, a utilidade do fio é reduzida. Em seguida, componentes químicos do fio-máquina estão descritos.

Conteúdo de C: 0,35% a 0,65%

C é um elemento que afeta resistência de materiais de aço, e à medida que o componente C é aumentado, a resistência é aumentada. O conteúdo de C de pelo menos 0,35% é necessário para o uso do fio-máquina para molas de alta resistência. Preferivelmente, o conteúdo de C

mínimo é 0,40%. Entretanto, uma vez que um conteúdo de C excessivo pode reduzir a ductilidade do fio, um conteúdo de C máximo é especificado como 0,65%. Mais preferivelmente, o conteúdo de C máximo é 0,60%.

Conteúdo de Si: 1,4% a 3,0%

5 Si é um elemento eficaz para melhorar resistência à flexão necessária para molas. O conteúdo de Si de pelo menos 1,4% é necessário para o uso do fio-máquina da modalidade da invenção para molas de alta resistência. O conteúdo de Si mínimo é preferivelmente 1,6%, e mais preferivelmente 1,8%. Entretanto, uma vez que Si acelera descarbonização, um
10 conteúdo de Si excessivo pode fazer com que ocorra facilmente ruptura durante o estiramento de fio. Assim, um conteúdo de Si máximo é especificado como 3,0%. O conteúdo de Si máximo é preferivelmente 2,5% e mais preferivelmente 2,2% ou menos.

Conteúdo de Mn: 0,10% a 1,0%

15 Mn é usado para um elemento de desoxidação, e é um elemento útil para formar MnS para desintoxicar S que é um elemento prejudicial no aço. Para apresentar adequadamente estes efeitos vantajosos, o conteúdo de Mn necessita ser 0,10% ou mais. Um conteúdo de Mn mínimo é preferivelmente 0,15%, e mais preferivelmente 0,2% ou mais. Entretanto, quando o
20 conteúdo de Mn é excessivo, uma faixa de segregação é formada, o que reduz a ductilidade do fio e, além do mais, uma microestrutura superesfriada, o que não é preferível para estiramento de fio, é facilmente formada. Assim, um conteúdo de Mn máximo foi especificado como 1,0%. O conteúdo de Mn máximo é preferivelmente 0,85% e mais preferivelmente 0,75% ou menos.

25 Conteúdo de Cr: 0,1% a 2,0%

Cr é eficaz para prender resistência do fio-máquina depois do revenido. Além disso, ele tem uma vantagem de melhorar resistência à corrosão, e é um importante elemento para molas de suspensão que exigem durabilidade quanto a corrosão. Um conteúdo de Cr mínimo foi especificado
30 como 0,1% para apresentar adequadamente estas vantagens. O conteúdo de Cr mínimo é preferivelmente 0,15% e mais preferivelmente 0,2% ou mais. Entretanto, quando o conteúdo de Cr é excessivo, segregação ocorre facil-

mente ou a microestrutura superesfriada é facilmente formada, reduzindo a ductilidade do fio. Assim, um conteúdo de Cr máximo é especificado como 2,0%. O conteúdo de Cr máximo é preferivelmente 1,8% e mais preferivelmente 1,6% ou menos.

5 Conteúdo de P: 0,025% ou menos (exclusivo de 0%)

O conteúdo de P é preferivelmente baixo, porque ele reduz a ductilidade do fio do fio-máquina. Desta maneira, o conteúdo de P é 0,025% ou menos, preferivelmente 0,020% ou menos e mais preferivelmente 0,015% ou menos.

10 Conteúdo de S: 0,025% ou menos (exclusivo de 0%)

O conteúdo de S é preferivelmente baixo porque ele reduz a ductilidade do fio do fio-máquina. Desta maneira, o conteúdo de S é 0,025% ou menos, preferivelmente 0,020% ou menos e mais preferivelmente 0,015% ou menos.

15 Conteúdo de N: 0,006% ou menos (exclusivo de 0%)

N em um estado de nitrogênio dissolvido pode reduzir a ductilidade do fio. Assim, um conteúdo de N máximo é especificado como 0,006%. O conteúdo de N máximo é preferivelmente 0,004% e mais preferivelmente 0,003% ou menos. Entretanto, quando um fio-máquina contém um elemento formando nitretos, tal como Al ou Ti, N pode trabalhar efetivamente para formação de uma estrutura fina. Desta maneira, um conteúdo de N mínimo é preferivelmente 0,0015% e mais preferivelmente pelo menos 0,0020%.

Conteúdo de Al: 0,1% ou menos (exclusivo de 0%)

Al é acrescentado principalmente como um elemento de desoxidação. Além disso, Al forma AlN para fixar N para ser inócuo, além do mais, ele contribui para formação de uma estrutura fina. Para fixar N, Al é preferivelmente contido no conteúdo de mais de duas vezes tanto quanto o conteúdo de N. Desejavelmente, o conteúdo de Al é preferivelmente mais que 0,0030% e mais preferivelmente mais que 0,0040%. Entretanto, uma vez que Al acelera descarbonização, particularmente em aços de mola contendo uma grande quantidade de Si, o conteúdo de Al excessivo não é preferível. Assim, um conteúdo de Al máximo é especificado como 0,1%. O conteúdo

25

30

de Al máximo é preferivelmente 0,07%, mais preferivelmente 0,05% ou menos e preferivelmente de modo adicional 0,03% ou menos.

Conteúdo de O: 0,0030% ou menos (exclusivo de 0%)

Quando o conteúdo de oxigênio em aço é aumentado, uma vez
5 que óxidos grosseiros são formados, é reduzida a ductilidade do fio, assim o conteúdo é preferivelmente pequeno. Desta maneira, o conteúdo de O máximo é especificado como 0,0030%. O conteúdo de O máximo é preferivelmente 0,0020% e mais preferivelmente 0,0015% ou menos.

Uma composição básica do fio-máquina da modalidade da invenção é tal como indicada anteriormente, e o restante é substancialmente Fe. Entretanto, ao fio-máquina é obviamente permitido conter impurezas inevitáveis introduzidas dependendo de condições das matérias-primas, outros materiais e equipamento de fabricação. Além disso, o fio-máquina da modalidade de invenção pode conter os elementos opcionais seguintes tal como
10 necessário.

Conteúdo de Ni: 1% ou menos

Ni tem uma vantagem de suprimir descarbonização superficial, além de uma vantagem de melhorar resistência à corrosão. Para apresentar adequadamente as vantagens, o conteúdo de Ni é preferivelmente pelo menos 0,1% e mais preferivelmente pelo menos 0,2%, tal como necessário.
20 Entretanto, quando o conteúdo de Ni é excessivo, a microestrutura superesfriada é facilmente formada, conseqüentemente a ductilidade do fio é reduzida. Desta maneira, quando Ni é contido, o conteúdo de Ni é preferivelmente 1% ou menos, mais preferivelmente 0,8% ou menos e preferivelmente de modo adicional 0,6% ou menos.
25

Conteúdo de Cu; 1,0% ou menos

Cu também tem a vantagem de suprimir descarbonização superficial e, além disso, a vantagem de melhorar resistência à corrosão, similar ao Ni. Para apresentar adequadamente as vantagens, o conteúdo de Cu é preferivelmente pelo menos 0,1%, e mais preferivelmente pelo menos 0,2%, tal como necessário. Entretanto, quando o conteúdo de Cu é excessivo, uma microestrutura superesfriada é facilmente formada e, conseqüentemente, a
30

dutilidade do fio é reduzida. Além disso, fissuras podem ocorrer durante trabalho a quente. Desta maneira, quando Cu é contido, o conteúdo de Cu é preferivelmente 1,0% ou menos, mais preferivelmente 0,8% ou menos e preferivelmente de modo adicional 0,6% ou menos.

5 Ni e Cu são comuns em que eles contribuem para suprimir a descarbonização superficial e melhorar resistência à corrosão. Portanto, o fio-máquina laminado a quente contém preferivelmente pelo menos um de Ni e Cu na quantidade declarada anteriormente.

Conteúdo de V: 0,30% ou menos

10 V forma principalmente carbonitreto com C e N e assim contribui para formação de uma estrutura fina. Para apresentar adequadamente a vantagem, o conteúdo de V é preferivelmente pelo menos 0,01%, e mais preferivelmente pelo menos 0,05%, tal como necessário. Entretanto, quando o conteúdo de V é excessivo, a dutilidade do fio é reduzida. Desta maneira, quando V é contido, o conteúdo de V é preferivelmente 0,30% ou menos, mais preferivelmente 0,2% ou menos e preferivelmente de modo adicional 0,15% ou menos.

Conteúdo de Ti: 0,10% ou menos

20 Ti forma carbonitreto ou sulfeto com C e N, ou S, e assim trabalha para desintoxicar N e S. Além disso, carbonitreto de Ti têm uma vantagem de contribuir para formação da estrutura fina. Para apresentar adequadamente as vantagens, o conteúdo de Ti é preferivelmente 0,01% ou mais, tal como necessário. A partir de um ponto de vista de fixar N, o conteúdo de Ti é preferivelmente mais que três vezes e meia o conteúdo de N. Entretanto, quando o conteúdo de Ti é excessivo, carbonitreto grosseiro são formados e, conseqüentemente, a dutilidade do fio pode ser reduzida. Desta maneira, quando Ti é contido, o conteúdo de Ti é preferivelmente 0,10% ou menos, mais preferivelmente 0,07% ou menos e preferivelmente de modo adicional 0,05% ou menos.

30 Conteúdo de Nb: 0,1% ou menos

Nb forma carbonitreto com C e N e assim contribui para formação da estrutura fina. Para apresentar adequadamente a vantagem, o conte-

údo de Nb é preferivelmente pelo menos 0,01% e mais preferivelmente pelo menos 0,03%, tal como necessário. Entretanto, quando o conteúdo de Nb é excessivo, carbonitretos grosseiros são formados e, conseqüentemente, a
5 dutilidade do fio é reduzida. Desta maneira, quando Nb é contido, o conteúdo de Nb é preferivelmente 0,1% ou menos, mais preferivelmente 0,07% ou menos e preferivelmente de modo adicional 0,05% ou menos.

Conteúdo de Zr: 0,10% ou menos

Zr forma carbonitretos e assim contribui para formação da estrutura fina. Para apresentar adequadamente a vantagem, o conteúdo de Zr é
10 preferivelmente 0,01% ou mais e mais preferivelmente 0,02% ou mais, tal como necessário. Entretanto, quando o conteúdo de Zr é excessivo, carbonitretos grosseiros são formados e, conseqüentemente, a dutilidade do fio é reduzida. Desta maneira, quando Zr é contido, o conteúdo de Zr é preferivelmente 0,10% ou menos, mais preferivelmente 0,07% ou menos e preferi-
15 velmente de modo adicional 0,05% ou menos.

V, Ti e Nb são comuns em que eles contribuem para formação da estrutura fina pela formação de carbonitretos. O fio-máquina laminado a quente contém preferivelmente pelo menos um de V, Ti e Nb na quantidade declarada anteriormente.

20 Conteúdo de Mo: 1,0% ou menos

Mo forma carbonitretos com C e N, e concentrados em cementita e assim contribui para assegurar resistência. Para apresentar adequadamente as vantagens, o conteúdo de Mo é preferivelmente pelo menos 0,1% e mais preferivelmente pelo menos 0,2%, tal como necessário. Entretanto,
25 quando o conteúdo de Mo é excessivo, a microestrutura superesfriada é facilmente formada e, conseqüentemente, a dutilidade do fio é reduzida. Desta maneira, quando Mo é contido, o conteúdo de Mo é preferivelmente 1,0% ou menos, mais preferivelmente 0,7% ou menos e preferivelmente de modo adicional 0,5% ou menos.

30 Conteúdo de B: 50 ppm ou menos

B forma nitretos e assim desintoxica N. Para apresentar adequadamente a vantagem, o conteúdo de B é preferivelmente pelo menos 1

ppm, mais preferivelmente 3 ppm ou mais e preferivelmente de modo adicional pelo menos 5 ppm, tal como necessário. Entretanto, quando o conteúdo de B é excessivo, uma vez que carbonitreto grosseiros e a microestrutura superesfriada são formados, a ductilidade do fio é reduzida. Desta maneira, quando B é contido, o conteúdo de B é preferivelmente 50 ppm ou menos, mais preferivelmente 40 ppm ou menos e preferivelmente de modo adicional 30 ppm ou menos.

Conteúdo de Mg: 50 ppm ou menos

Mg tem uma vantagem de suavizar óxidos e assim melhorar a ductilidade do fio. Para apresentar adequadamente a vantagem, o conteúdo de Mg é preferivelmente pelo menos 0,1 ppm, mais preferivelmente pelo menos 1 ppm e preferivelmente de modo adicional pelo menos 10 ppm, tal como necessário. Entretanto, quando o conteúdo de Mg é excessivo, propriedades dos óxidos são mudadas e, conseqüentemente, a ductilidade do fio pode ser muito reduzida. Desta maneira, quando Mg é contido, o conteúdo de Mg é preferivelmente 50 ppm ou menos e mais preferivelmente 40 ou menos.

Conteúdo de Ca: 50 ppm ou menos

Ca tem uma vantagem de suavizar óxidos e assim melhorar a ductilidade do fio. Para apresentar adequadamente a vantagem, o conteúdo de Ca é preferivelmente pelo menos 0,1 ppm, mais preferivelmente pelo menos 1 ppm e preferivelmente de modo adicional pelo menos 10 ppm, tal como necessário. Entretanto, quando o conteúdo de Ca é excessivo, propriedades dos óxidos são mudadas e, conseqüentemente, a ductilidade do fio pode ser muito reduzida. Desta maneira, quando Ca é contido, o conteúdo de Ca é preferivelmente 50 ppm ou menos e mais preferivelmente 40 ppm ou menos.

Mg e Ca são comuns em que eles aperfeiçoam a ductilidade do fio ao suavizar óxidos. Portanto, o fio-máquina laminado a quente contém preferivelmente pelo menos um de Mg e Ca na quantidade declarada anteriormente.

Conteúdo de elementos terras raras: 1,5 ppm ou menos

Elementos de terras raras (algumas vezes abreviados como "REM") têm uma vantagem de suavizar óxidos e assim melhorar a ductilidade do fio. Para apresentar adequadamente a vantagem, o conteúdo de REM é preferivelmente pelo menos 0,1 ppm, tal como necessário. Entretanto, quando o conteúdo de REM é excessivo, propriedades dos óxidos são mudadas e, conseqüentemente, a ductilidade do fio pode ser muito reduzida. Desta maneira, quando REM é contido, o conteúdo de REM é preferivelmente 1,5 ppm ou menos e mais preferivelmente 0,5 ppm ou menos. Elementos preferíveis entre REM são La, Ce, Pr e Nd, e um ou pelo menos dois deles podem ser usados.

O fio-máquina laminado a quente satisfazendo as exigências do conteúdo de hidrogênio em aço e à dureza (preferivelmente, exigência do diâmetro de grão além do mais) pode ser fabricado por: executar aquecimento no qual um tarugo satisfazendo a exigência da composição é mantido em 500 a 730°C por 60 min; aquecer o tarugo para 950 a 1.250°C, e executar laminação a quente do tarugo para fabricar um fio-máquina na temperatura de laminação (Tr) de 800°C ou mais e temperatura final de laminação (Tf) de 1.150°C ou menos; colocar o fio-máquina laminado a quente em um leito de resfriamento na temperatura de embobinamento (TL) de 1.020°C ou menos para fabricar um fio; e resfriar o fio em uma taxa de resfriamento média (CR2) de 5°C/s ou menos da temperatura de embobinamento (TL) para 500°C (preferivelmente em uma taxa de resfriamento média (CR1) de 2°C/s ou mais da temperatura de embobinamento (TL) para 730°C). Em seguida, cada uma das etapas deste método de fabricação está descrita.

Hidrogênio pode entrar no aço durante um processo de fabricação do aço (fio-máquina). Particularmente, uma vez que o fio-máquina laminado a quente da modalidade da invenção e o tarugo para obter o fio-máquina contêm vários elemento de ligas, inclusões de carbonitretos ou não-metals podem formar locais de armadilha de hidrogênio, assim hidrogênio acumula facilmente no aço. Uma vez que as armadilhas para hidrogênio são robustas, hidrogênio dificilmente é liberado da armadilha sob uma condição de temperatura normal. Os inventores avaliaram capacidade de armadi-

Iha dos locais de armadilha de hidrogênio, e como resultado, descobriram que o aço foi submetido de forma aceitável ao aquecimento no qual ele foi mantido em uma temperatura de 500°C ou mais por 60 min ou mais a fim de diminuir efetivamente o conteúdo de hidrogênio em aço. Entretanto, eles
5 descobriram adicionalmente que quando o tarugo foi aquecido excessivamente para alta temperatura na qual austenita foi formada, uma vez que hidrogênio foi facilmente dissolvido em austenita quando comparado com ferrita, hidrogênio foi bastante difícil de ser liberado.

Desta maneira, para diminuir de forma eficiente o conteúdo de
10 hidrogênio em aço do fio-máquina, um tarugo antes da laminação pode ser aquecido em 500 a 730°C, preferivelmente 550 a 700°C, por 60 min ou mais, preferivelmente por 120 min ou mais. O aquecimento antes da laminação é importante como uma etapa em um método de fabricação de um fio-máquina laminado a quente sobressaindo em dutilidade do fio, e útil como um método
15 de diminuir hidrogênio em aço do fio-máquina laminado a quente. O aquecimento pode ser executado em uma ou outra de uma linha que é a mesma que uma linha de laminação e uma linha separada da linha de laminação.

Então, o tarugo satisfazendo a exigência da composição é aquecido para a faixa de 950 a 1.250°C, preferivelmente 1.000 a 1.200°C, e sub-
20 metido à laminação a quente na temperatura de laminação (T_r) de pelo menos 800°C, preferivelmente pelo menos 850°C e mais preferivelmente pelo menos 900°C, e à temperatura final de laminação (T_f) de 1.150°C ou menos e preferivelmente 1100°C ou menos. Em ambos os casos de temperatura de aquecimento extremamente baixa e alta antes da laminação, descarbonização
25 ocorre na superfície do fio-máquina. Quando a temperatura de laminação é menor que 800°C, a possibilidade de descarbonização é aumentada. Quando a temperatura final de laminação é uma alta temperatura de mais que 1.150°C, temperabilidade é aumentada por causa do crescimento de grãos de austenita, ocasionando aumento na temperabilidade e, conseqüentemente, a resistência do fio-máquina pode ser aumentada excessivamente.
30

É recomendado que o fio-máquina seja colocado no leito de resfriamento na temperatura de embobinamento (T_L) de 1.020°C ou menos,

preferivelmente 980°C ou menos e mais preferivelmente 950°C ou menos. Isto é porque quando a temperatura de embobinamento supera 1.020°C, tamanho de grão de austenita é ampliado. É necessário diminuir dureza do fio-máquina em que o fio-máquina é resfriado na taxa de resfriamento média (CR2) de 5°C/s ou menos da temperatura de embobinamento (TL) para 500°C. Além disso, por meio de tal resfriamento lento da temperatura de embobinamento (TL) para 500°C, o conteúdo de hidrogênio em aço pode ser reduzido adicionalmente. CR2 é preferivelmente 4°C/s ou menos e mais preferivelmente 3°C/s ou menos.

10 Entretanto, para formar uma estrutura fina por causa da inibição de crescimento de grãos de austenita e diminuição na dureza, é eficaz que a taxa de resfriamento CR1 da temperatura de embobinamento (TL) para 730°C seja preferivelmente pelo menos 2°C/s, mais preferivelmente pelo menos 5°C/s e preferivelmente de modo adicional pelo menos 8°C/s.

15 Para suprimir segregação de C de maneira que $C_{\text{máx}}/C_0$ seja 1,20 ou menos, encharcamento é acrescentado ao método de fabricação, no qual o tarugo satisfazendo a exigência da composição é mantido em 1.250 a 1.350°C, preferivelmente 1.280 a 1.310°C, por 60 min ou mais, preferivelmente por 120 min ou mais, antes da laminação. O encharcamento pode ser executado em uma ou outra de uma linha que é a mesma linha de laminação e uma linha separada da linha de laminação. Além disso, ele pode ser executado antes ou depois do aquecimento para diminuir o conteúdo de hidrogênio em aço.

20 Entretanto, para diminuir adicionalmente o conteúdo de hidrogênio em aço, é preferível que o encharcamento seja executado para eliminar a faixa de segregação antes do aquecimento. Além disso, é preferível que o encharcamento exigindo alta temperatura seja executado em uma linha diferente da linha de laminação, e o aquecimento para diminuir o conteúdo de hidrogênio em aço seja executado na linha que é mesma linha de laminação, além do mais, de um ponto de vista de equipamento, é preferível que primeiro o encharcamento seja executado antes do aquecimento.

30 Na modalidade da invenção, diâmetro de fio do fio-máquina la-

minado a quente não é particularmente limitado. Entretanto, o diâmetro de fio é preferivelmente grande para suprimir formação da microestrutura superesfriada. O fio-máquina da modalidade da invenção é excelente em duti-
 5 lidade do fio, portanto, ruptura pode ser efetivamente suprimida mesmo se a haste for submetida a trabalho pesado a partir de um diâmetro grande. Desta maneira, um diâmetro de fio mínimo é preferivelmente 8 mm, mais preferi-
 10 velmente pelo menos 10 mm e preferivelmente de modo adicional pelo menos 12 mm. Por outro lado, uma vez que diâmetro de fio excessivamente grande causa dificuldade, em estiramento de fio, um diâmetro de fio máximo é preferivelmente 25 mm, mais preferivelmente 20 mm e preferivelmente de modo adicional 18 mm.

Modalidade

Em seguida, embora a invenção esteja descrita mais especificamente com uma modalidade, a invenção não é limitada pela modalidade
 15 seguinte, e ela pode ser obviamente praticada ao ser modificada de forma apropriada dentro de um escopo adaptável ao propósito descrito antes e depois, e quaisquer de tais modificações podem ser incluídas em um escopo técnico da invenção.

Fabricação de fio-máquina

20 Materiais de aço tendo as composições químicas listadas nas tabelas 1-1 a 1-2 (o restante: ferro e impurezas inevitáveis) foram lingotados, e modelados em tarugos quadrados de 155 mm. A seguir, encharcamento, aquecimento, laminação a quente, embobinamento e resfriamento foram executados em ordem sob condições listadas nas tabelas 2-1 a 2-3 e, con-
 25 seqüentemente, fio-máquina laminado a quente 8,0 a 18 mm em diâmetro de fio foi fabricado.

Tabela 1-1

Nº de Tipo de aço	Porcentagem em massa								
	C	Si	Mn	Cr	P	S	N	Al	O
A1	0,38	1,78	0,20	1,05	0,008	0,008	0,0041	0,0300	0,0019
A2	0,40	2,09	0,85	1,83	0,003	0,002	0,0032	0,0321	0,0018

Tabela 1-1 - continuação -

Nº de Tipo de aço	Porcentagem em massa								
	C	Si	Mn	Cr	P	S	N	Al	O
A3	0,42	2,71	0,94	1,92	0,002	0,002	0,0028	0,0003	0,0010
A4	0,44	1,92	0,18	1,00	0,008	0,007	0,0039	0,0310	0,0012
A5	0,47	2,05	0,79	0,18	0,015	0,016	0,0035	0,0280	0,0011
A6	0,50	2,01	0,62	1,21	0,021	0,020	0,0028	0,0300	0,0011
A7	0,50	2,01	0,62	1,21	0,027	0,020	0,0028	0,0300	0,0011
A8	0,50	2,01	0,39	1,83	0,013	0,014	0,0032	0,0300	0,0008
A9	0,50	2,18	0,18	1,20	0,005	0,006	0,0028	0,0320	0,0005
A10	0,51	2,40	0,18	1,02	0,004	0,005	0,0030	0,0310	0,0005
A11	0,52	2,41	0,18	1,04	0,004	0,006	0,0032	0,0290	0,0009
A12	0,55	1,81	0,77	0,70	0,013	0,009	0,0041	0,0003	0,0012
A13	0,55	2,32	0,92	1,88	0,003	0,003	0,0033	0,0015	0,0011
A14	0,57	1,41	0,76	0,70	0,016	0,016	0,0039	0,0320	0,0014
A15	0,58	0,19	0,90	0,85	0,014	0,013	0,0066	0,5210	0,0034
A16	0,61	3,12	1,21	0,20	0,005	0,004	0,0030	0,0005	0,0007
A17	0,61	1,47	0,53	0,54	0,012	0,007	0,0029	0,0270	0,0010
A18	0,63	1,62	0,51	0,72	0,008	0,008	0,0030	0,0310	0,0011
A19	0,70	0,18	0,50	2,12	0,005	0,004	0,0025	0,0015	0,0010
A20	0,81	0,20	0,07		0,015	0,026	0,0027	0,0210	0,0022

Tabela 1-2

Nº de Tipo de aço	Porcentagem em massa							PPM em massa			
	Ni	Cu	Mo	V	Ti	Nb	Zr	Mg	Ca	REM	B
A1	0,53	0,22	0,0	0,168	0,065			0,2	2,7		1,0
A2											
A3											
A4	0,50	0,25	0,0	0,155	0,068			0,1	1,8		1,0
A5	0,30	0,28	0,0	0,156	0,072			0,1	1,9	0,1	
A6	0,02	0,01	0,6		0,051	0,008					

Tabela 1-2 -continuação-

Nº de Tipo de aço	Porcentagem em massa							PPM em massa			
	Ni	Cu	Mo	V	Ti	Nb	Zr	Mg	Ca	REM	B
A7	0,02	0,01	1,2	0,080	0,051						
A8	0,01	0,02		0,079	0,048						
A9	0,40	0,39			0,070			35,0	34,0		23,0
A10	0,60	0,58			0,050			35,0	38,0		22,0
A11	0,61	0,57			0,050						1,0
A12		0,03				0,007	0,072	0,1	1,2	0,1	
A13											
A14	0,02	0,03			0,020			0,1	1,3		1,0
A15									0,7		
A16	1,22	1,09						0,2	2,5	0,1	
A17				0,168							
A18					0,075	0,059					
A19				0,321			0,105				
A20					0,110			0,1	0,8		55,0

REM: o conteúdo total de La, Ce, Pr e Nd

Tabela 2-1

Nº de Tipo de aço	No. de Fio-máquina	Encharcamento		Aquecimento		Laminação			Temperatura de embobinamento	Resfriamento	
		Temperatura	Tempo	Temperatura	Tempo	Temperatura de aquecimento	Temperatura mínima de laminação	Temperatura final de laminação		Taxa de resfriamento CR1	Taxa de resfriamento CR2
		°C	minutos	°C	minutos	°C	°C	°C	°C	°C/s	°C/s
A1	A1-1	-	-	-	-	1.240	950	1.080	990	12,0	3,5
	A1-2	-	-	600	120	1.240	950	1.080	990	12,0	3,1
	A1-3	-	-	700	120	1.240	950	1.080	990	12,2	3,7
	A1-4	-	-	700	120	1.220	950	1.170	1.050	12,2	6,1
	A1-5	1.280	60	550	120	1.220	950	1.045	960	7,1	2,5
	A1-6	1.280	60	600	60	1.220	950	1.045	960	9,2	2,9
	A1-7	1.280	60	700	60	1.220	950	1.045	960	6,3	2,2
	A1-8	1.280	60	700	60	1.220	950	1.020	960	3,7	1,4
A2	A2-1	1.310	60	600	60	1.230	1.000	1.070	990	4,2	1,3
A3	A3-1	1.310	60	600	60	1.230	1.000	1.070	990	4,0	1,1
A4	A4-1	-	-	600	20	1.220	950	1.045	950	13,0	5,5
	A4-2	-	-	600	60	1.220	950	1.045	950	8,8	2,6
	A4-3	-	-	600	60	1.220	950	1.045	950	7,3	2,5
	A4-4	-	-	700	60	1.220	950	1.045	950	12,0	3,7
	A4-5	1.310	60	600	60	1.200	920	1.080	980	1,0	1,2
	A4-6	1.310	60	600	60	1.200	920	1.080	980	16,0	2,7

Tabela 2-2

Nº de Tipo de aço	No. de Fio-máquina	Encharcamento		Aquecimento		Laminação			Temperatura de embobinamento	Resfriamento	
		Temperatura	Tempo	Temperatura	Tempo	Temperatura de aquecimento	Temperatura mínima de laminação	Temperatura final de laminação		Taxa resfriamento CR1	Taxa de resfriamento CR2
		°C	minutos	°C	minutos	°C	minutos	°C	°C	°C/s	°C/s
A5	A5-1	1.260	60	550	20	1.200	950	1.045	980	15,2	6,8
	A5-2	1.260	60	550	40	1.200	950	1.045	980	12,8	5,9
	A5-3	1.260	60	550	120	1.200	950	1.045	980	0,5	2,8
	A5-4	1.260	60	600	60	1.200	950	1.045	950	6,7	1,8
	A5-5	1.260	60	600	60	1.200	950	1.045	950	3,8	1,7
A6	A6-1	1.310	60	-	-	1.170	920	1.020	925	12,2	2,3
	A6-2	1.310	60	700	60	1.170	920	1.020	925	12,5	2,0
A7	A7-1	1.280	60	-	-	1.170	920	1.020	925	12,1	2,9
	A7-2	1.280	60	700	60	1.170	920	1.020	925	12,0	3,7
A8	A8-1	1.280	60	-	-	1.200	920	1.000	925	2,7	1,5
	A8-2	1.280	60	720	60	1.200	920	1.000	925	2,5	1,4
A9	A9-1	-	-	-	-	1.200	920	1.000	925	2,5	1,8
	A9-2	-	-	650	120	1.200	920	1.000	925	2,4	1,7
A10	A10-1	1.280	60	650	120	1.150	900	990	900	10,0	1,3
11	A11-1	1.280	60	650	120	1.150	900	990	900	9,7	1,4

Tabela 2-3

No. de Tipo de aço	No. de Fio-máquina	Encharcamento		Aquecimento		Laminação			Temperatura de embobinamento	Resfriamento	
		Temperatura	Tempo	Temperatura	Tempo	Temperatura de aquecimento	Temperatura mínima de laminação	Temperatura final de laminação		Taxa de resfriamento CR1	Taxa de resfriamento CR2
		°C	minutos	°C	minutos	°C	°C	°C	°C	°C/s	°C/s
A12	A10-1	1.260	60	700	60	1.050	850	1.000	900	11,8	1,2
A13	A13-1	1.310	60	600	60	1.220	930	1.030	990	4,5	1,4
	A13-2	1.310	60	600	60	1.220	930	1.030	990	10,1	2,1
	A13-3	1.310	60	600	60	1.220	930	1.030	990	14,3	3,2
A14	A14-1	1.260	60	700	60	1.000	850	900	880	11,2	1,2
A15	A15-1	1.260	60	700	60	1.000	850	900	880	10,8	1,5
A16	A16-1	1.260	60	700	60	1.150	900	950	925	10,2	1,9
A17	A17-1	-	-	-	-	1.150	900	1.050	925	8,9	2,2
	A17-2	-	-	400	60	1.150	900	1.050	925	9,4	2,4
	A17-3	-	-	600	60	1.150	900	1.080	925	9,0	2,0
	A17-4	-	-	600	60	1.100	870	1.080	925	14,3	5,9
	A17-5	-	-	700	60	1.100	870	1.080	900	15,7	3,1
	A17-6	-	-	700	180	1.100	870	1.080	900	15,0	2,7
A17-7	-	-	700	180	1.100	870	1.080	900	15,0	0,4	
A18	A18-1	-	-	700	180	1.150	900	1.000	925	15,7	1,8
A19	A19-1	1.280	60	700	60	1.150	900	1.050	900	9,5	2,2
A20	A20-1	1.280	60	700	60	1.150	900	1.050	900	10,3	2,4

Conteúdo de hidrogênio em aço

Como o conteúdo de hidrogênio em aço, o conteúdo de hidrogênio total desenvolvido de uma amostra semelhante a disco (espessura: 2 mm) da temperatura ambiente para 350°C sob uma condição de temperatura de aquecimento de 10 K/min foi medido usando APIMS. Resultados estão mostrados nas tabelas 3-1 a 3-3.

Dureza

Os fios-máquina foram cortados em seções transversais laterais para preparar três amostras por fio-máquina, e em uma posição de profundidade de D/4 de cada amostra, a dureza foi medida em quatro pontos por meio de um medidor de dureza Vickers (carga: 1 kgf), e a média aritmética simples dos valores encontrados foi obtida, de maneira que a dureza de cada fio-máquina foi calculada. Resultados estão mostrados nas tabelas 3-1 a 3-3.

Um gráfico mostrando uma relação entre C_0 (C_0 indica o conteúdo de C (porcentagem em massa) na posição de profundidade de D/4 (D: diâmetro do fio-máquina)) e a dureza de cada fio-máquina está representado como a figura 1. Na figura 1, os círculos pretos (além da faixa de dureza da presente invenção) são uma representação de dados dos fios-máquina A1-4, A2-1, A3-1, A3-2 e A14-4; os quadrados pretos (além da faixa de composição da presente invenção) são uma representação de dados de fio-máquina obtidos dos tipos de aço A5, A12, A13, A16 e A17; os triângulos pretos (além da faixa de conteúdo de hidrogênio da presente invenção) são uma representação de dados dos fios-máquina A1-1, A4-1, A6-1, A7-1, A14-1 e A14-2; e os círculos brancos (exemplo inventivo) são uma representação de outros dados de fio-máquina.

Os dados dos fios-máquina A1-4, A2-1, A3-1, A3-2 e A14-4 foram submetidos à aproximação de energia, conseqüentemente uma expressão aproximada de dureza = $466,06 \times C_0^{0,10}$ ($R^2 = 0,62$) foi obtida. Uma curva aproximada como esta também está mostrada na figura 1 por uma linha cheia. Na figura 1; de forma similar, uma curva aproximada de $460 \times C_0^{0,10}$ está mostrada em uma linha tracejada, uma curva aproximada de $450 \times$

$C_0^{0,10}$ está mostrada em uma linha de traço e ponto, e uma curva aproximada de $440 \times C_0^{0,10}$ está mostrada em uma linha pontilhada.

Diâmetro médio de grão ($D_{\text{méd}}$) e diâmetro máximo de grão ($D_{\text{máx}}$)

Uma amostra de 10 mm de comprimento foi tomada de cada um dos fios-máquina por meio de corte molhado e então, tal como na preparação de amostra para medição EBSP, polimento molhado, polimento com couro e polimento químico foram executados de maneira que uma amostra foi preparada, na qual deformação e irregularidade por causa do polimento foram reduzidas ao máximo. Dessa vez, o polimento foi executado de maneira tal que uma superfície de observação corresponde a um centro do diâmetro de fio em uma seção vertical do fio-máquina. Usando uma amostra obtida, medição foi executada no centro do diâmetro de fio do fio-máquina como um ponto de medição EBSP. Dessa vez, uma etapa de medição foi ajustada para ser 0,5 μm ou menos de maneira tal que uma área de medição de cada fio-máquina foi de 60.000 μm^2 ou mais. Depois da medição, orientação de cristal foi analisada, na qual resultados de medição tendo um valor CI médio de 0,3 ou mais foram usados para aperfeiçoar confiabilidade da análise.

Resultados analíticos (mapa de contorno) foram obtidos assumindo que uma região encerrada por uma linha de contorno tendo diferença em azimute de 10 graus ou mais por análise da orientação de cristal bcc-Fe era o "grão" na modalidade da invenção. No mapa de contorno obtido, uma área de uma região individual (unidade de cristal) encerrada pela linha de contorno foi obtida usando-se o software de análise de imagem "Image-Pro" (fabricado pela ADVANSOFT Ltd.), e então o diâmetro de círculo equivalente (diâmetro) foi calculado a partir da área como o diâmetro de grão de um grão individual. A medição foi executada para pelo menos três amostras, e o diâmetro médio de grão ($D_{\text{méd}}$), como o número de diâmetro médio, e o diâmetro máximo de grão ($D_{\text{máx}}$) foram calculados com base em todos os dados de medição. Resultados estão mostrados na tabelas 3-1 a 3-3.

30 $[C_{\text{máx}}/C_0]$

$C_{\text{máx}}$ e C_0 foram medidos por meio de um método de absorção do infravermelho de combustão usando uma amostra pulverizada tomada da

posição de profundidade de $D/2$ e $D/4$, respectivamente. Valores de $C_{m\acute{a}x}/C_0$ calculados usando o $C_{m\acute{a}x}$ e C_0 estão mostrados nas tabelas 3-1 a 3-3.

Estiramento de fio

O fio-máquina obtido foi desescamado por decapagem, aplicado
5 então revestimento de superfície por meio de bonderização, e então submetido a estiramento de fio seco. Primeiro, no estiramento de fio 1, o estiramento de fio foi executado sob uma condição de deformação verdadeira $> 0,25$ para verificar presença de ruptura. Além disso, o fio-máquina sem nenhuma ruptura ocorrendo no estiramento de fio 1 foi submetido a estiramento de fio
10 sob uma condição precisa adicional de deformação verdadeira $> 0,50$ para verificar presença de ruptura. Resultados estão mostrados nas tabelas 1-3 a 3-3.

Tabela 3-1

Nº de Tipo de aço	Nº de Fio-máquina	Diâmetro de fio-máquina	Conteúdo de hidrogênio em aço	Dureza	460 x C _{0,1}	Diâmetro de grão	
						Diâmetro médio de grão	Diâmetro máximo de grão
						D _{méd}	D _{máx}
		mm	ppm	HV		μm	μm
A1	A1-1	12,0	2,63	383	418	6,9	23,5
	A1-2	12,0	1,76	362		7,3	27,4
	A1-3	12,0	0,53	393		7,0	25,0
	A1-4	12,0	0,88	432		5,3	16,8
	A1-5	16,0	2,21	349		7,3	39,0
	A1-6	16,0	1,11	351		7,0	37,8
	A1-7	16,0	0,90	343		7,9	41,3
	A1-8	18,0	1,06	331		10,7	58,9
A2	A2-1	15,0	0,40	292	420	13,5	48,5
A3	A3-1	15,0	0,33	300	422	15,2	50,3
A4	A4-1	16,0	2,56	425	424	6,2	16,9
	A4-2	16,0	2,42	341		8,2	38,5
	A4-3	16,0	2,26	350		8,0	39,0
	A4-4	16,0	1,23	409		6,8	20,5
	A4-5	11,5	1,12	303		24,3	88,3
	A4-6	11,5	1,70	355		6,4	22,5

Tabela 3-1 - continuação-

Nº de Tipo de aço	C _{máx} /C ₀	Estiramento de fio 1		Estiramento de fio 2	
		Resultado de estiramento de fio		Resultado de estiramento de fio	
		Diâmetro final de fio mm	Deformação verdadeira	Diâmetro final de fio mm	Deformação verdadeira
A1	1,17	10,0	0,36		
	1,17	10,0	0,36	9,0	0,58
	1,17	10,0	0,36	9,0	0,58
	1,17	10,0	0,36		
	0,98	13,0	0,42	12,0	0,58
A2	0,98	13,0	0,42	12,0	0,58
	0,98	13,0	0,42	12,0	0,58
	0,98	14,5	0,43	13,5	0,58
	1,03	12,0	0,45	11,0	0,62
A3	1,05	12,0	0,45	11,0	0,62
	1,24	13,0	0,42		
A4	1,24	13,0	0,42	12,0	0,58
	1,24	13,0	0,42	12,0	0,58
	1,24	13,0	0,42	12,0	0,58
	1,10	10,0	0,28	8,5	0,60
	1,10	10,0	0,28	8,0	0,73

Resultado de estiramento de fio: nenhuma ruptura, x ruptura

Tabela 3-2

Nº de Tipo de aço	Nº de Fio-máquina	Diâmetro de fio-máquina		Conteúdo de hidrogênio em aço	Dureza	460 x C _{0,1}	Diâmetro de grão	
		mm					D _{méd}	D _{máx}
A5	A5-1	15,5		2,68	432	427	5,8	12,1
	A5-2	15,5		2,53	430		6,5	12,7
	A5-3	15,5		2,20	349		17,0	81,0
	A5-4	15,5		1,75	346		8,1	42,2
	A5-5	15,5		1,21	337		10,5	52,0
A6	A6-1	15,5		2,68	359	429	7,2	21,4
	A6-2	15,5		1,07	367		7,0	27,4
A7	A7-1	15,5		2,71	393	429	7,1	23,4
	A7-2	15,5		1,22	412		7,5	18,2
A8	A8-1	14,5		2,61	352	429	12,6	61,0
	A8-2	14,5		0,41	341		13,5	63,9
A9	A9-1	14,5		2,59	355	429	14,0	58,4
	A9-2	14,5		0,68	362		15,4	58,0
A10	A10-1	14,0		0,52	352	430	8,0	53,1
A11	A11-1	14,0		0,63	358	431	8,5	53,7

Tabela 3-2 - continuação -

Nº de Tipo de aço	$C_{m\acute{a}x}/C_0$	Estiramento de fio 1			Estiramento de fio 2		
		Diâmetro final de fio mm	Deformação verdadeira	Resultado de estiramento de fio	Diâmetro final de fio mm	Deformação verdadeira	Resultado de estiramento de fio
A5	1,07	13,0	0,35	x			
	1,07	13,0	0,35	x			
	1,07	13,0	0,35	O	11,5	0,60	x
	1,07	13,0	0,35	O	11,5	0,60	O
	1,07	13,0	0,35	O	11,5	0,60	O
A6	1,01	13,0	0,35	x			
	1,01	13,0	0,35	O	11,5	0,60	O
A7	1,11	13,0	0,35	x			
	1,11	13,0	0,35	x			
A8	1,05	12,0	0,38	x			
	1,05	12,0	0,38	O	11,0	0,55	O
A9	1,10	12,0	0,38	x			
	1,10	12,0	0,38	O	11,0	0,55	O
A10	1,02	12,0	0,31	O	10,0	0,67	O
	1,02	12,0	0,31	O	10,0	0,67	O

Tabela 3-3

Nº de Tipo de aço	Nº de Fio-máquina	Diâmetro de fio-máquina	Conteúdo de hidrogênio em aço	Dureza	460 x C _{0,1}	Diâmetro de grão	
						Diâmetro médio de grão	Diâmetro máximo de grão
						D _{méd}	D _{máx}
A12	A10-1	13,0	0,42	HV	433	μm	μm
				343		9,2	59,1
A13	A13-1	15,0	0,34		433		
	A13-2	15,0	0,45	329		9,8	50,2
	A13-3	15,0	0,50	350		7,7	39,4
				402		5,3	30,3
A14	A14-1	13,0	0,29	346	435	7,6	48,9
A15	A15-1	13,0	0,44	359	436	7,0	47,7
A16	A16-1	13,0	0,48	373	438	8,1	42,0
A17	A17-1	12,5	2,72	359	438	8,5	30,9
	A17-2	12,5	2,52	372		8,3	31,3
	A17-3	12,5	1,43	360		8,0	35,2
	A17-4	13,0	1,33	449		8,5	16,7
	A17-5	13,0	0,50	407		9,1	25,3
	A17-6	13,0	0,17	392		8,3	30,1
	A17-7	13,0	0,01	331		7,8	38,6
A18	A18-1	13,0	0,08	350	439	7,0	33,8
A19	A19-1	8,0	0,54	370	444	8,8	30,5
A20	A20-1	8,0	0,60	382	450	8,0	50,1

Tabela 3-3 -continuação-

Nº de Tipo de aço	C _{máx} /C ₀	Estiramento de fio 1			Estiramento de fio 2			
		Diâmetro final de fio		Deformação verdadeira	Resultado de estiramento de fio	Diâmetro final de fio	Deformação verdadeira	Resultado de estiramento de fio
		mm						
A12	1,05	11,0	0,33	0	10,0	0,52	0	
A13	1,08	13,0	0,29	0	11,5	0,53	0	
	1,08	13,0	0,29	0	11,5	0,53	0	
	1,08	13,0	0,29	0	11,5	0,53	0	
A14	1,05	11,0	0,33	0	10,0	0,52	0	
A15	1,04	11,0	0,33	x				
A16	1,04	11,0	0,33	x				
A17	1,12	11,0	0,26	x				
	1,12	11,0	0,26	x				
	1,12	11,0	0,26	0	9,0	0,66	0	
	1,12	11,0	0,33	x				
	1,12	11,0	0,33	0	9,5	0,63	0	
	1,12	11,0	0,33	0	9,5	0,63	0	
	1,12	11,0	0,33	0	9,5	0,63	0	
A18	1,12	11,0	0,33	0	9,5	0,63	0	
A19	1,40	7,0	0,27	x				
A20	1,04	7,0	0,27	x				

Resultado de estiramento de fio: nenhuma ruptura, x ruptura

Dos resultados mostrados nas tabelas 3-1 a 3-3, embora ruptura tenha ocorrido mesmo no estiramento de fio 1 sob condições fáceis em fio-máquina que não satisfaz a uma das exigências do componente, o conteúdo de hidrogênio em aço, e dureza especificada na modalidade da invenção, ruptura não ocorreu, entretanto, no estiramento de fio 1 em fio-máquina que satisfaz a todas as tais exigências. Além disso, entre os fios-máquina da modalidade da invenção, no fio-máquina que satisfaz as exigências de diâmetro de grão ($D_{\text{méd}}$ e $D_{\text{máx}}$) e segregação de C ($C_{\text{máx}}/C_0$), ruptura não ocorreu mesmo no estiramento de fio 2 sob condições precisas.

REIVINDICAÇÕES

1. Fio-máquina laminado a quente sobressaindo em utilidade do fio compreendendo:

5 C: 0,35% a 0,65% (porcentagem em massa, expressada igualmente em seguida);

Si: 1,4% a 3,0%;

Mn: 0,10% a 1,0%;

Cr: 0,1% a 2,0%;

P: 0,025% ou menos (exclusivo de 0%);

10 S: 0,025% ou menos (exclusivo de 0%);

N: 0,006% ou menos (exclusivo de 0%);

Al: 0,1% ou menos (exclusivo de 0%); e

O: 0,0030% ou menos (exclusivo de 0%),

com o restante consistindo em Fe e impurezas inevitáveis;

15 em que o conteúdo de hidrogênio em aço é 2,50 ppm (ppm em massa, expressada igualmente em seguida) ou menos, e dureza (HV) é $460 \times C_0^{0,1}$ ou menos (C_0 indica o conteúdo de C (porcentagem em massa) em uma posição de profundidade de D/4 (D: diâmetro do fio-máquina)).

20 2. Fio-máquina laminado a quente de acordo com a reivindicação 1,

em que diâmetro médio de grão ($D_{\text{méd}}$) é 20 μm ou menos, e diâmetro máximo de grão ($D_{\text{máx}}$) é 80 μm ou menos em um grão bcc-Fe de uma estrutura metalográfica.

25 3. Fio-máquina laminado a quente de acordo com a reivindicação 1 ou 2, satisfazendo:

$$C_{\text{máx}}/C_0 \leq 1,20 \dots (1)$$

30 (em que $C_{\text{máx}}$ indica o conteúdo de C (porcentagem em massa) em uma posição de profundidade de D/2 (D: diâmetro do fio-máquina)), e C_0 indica o conteúdo de C (porcentagem em massa) na posição de profundidade de D/4).

4. Fio-máquina laminado a quente de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, compreendendo adicionalmente:

Ni: 1% ou menos (exclusivo de 0%) e/ou Cu: 1,0% ou menos (exclusivo de 0%).

5. Fio-máquina laminado a quente de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 4, compreendendo adicionalmente:

5 pelo menos um elemento selecionado de um grupo consistindo em:

V: 0,30% ou menos (exclusivo de 0%);

Ti: 0,10% ou menos (exclusivo de 0%);

Nb: 0,1% ou menos (exclusivo de 0%); e

10 Zr: 0,10% ou menos (exclusivo de 0%).

6. Fio-máquina laminado a quente de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 5, compreendendo adicionalmente,

Mo: 1,0% ou menos (exclusivo de 0%).

7. Fio-máquina laminado a quente de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 6, compreendendo adicionalmente,

B: 50 ppm ou menos (exclusivo de 0 ppm).

8. Fio-máquina laminado a quente de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 7, compreendendo adicionalmente:

20 pelo menos um elemento selecionado de um grupo consistindo em:

Mg: 50 ppm ou menos (exclusivo de 0 ppm);

Ca: 50 ppm ou menos (exclusivo de 0 ppm); e

elementos terras raras: 1,5 ppm ou menos (exclusivo de 0 ppm).

9. Método de fabricar um fio-máquina laminado a quente sobresaindo em utilidade do fio compreendendo as etapas de:

executar aquecimento no qual um tarugo satisfazendo os requisitos da composição como definido em qualquer uma das reivindicações 1 e 4 a 8 é mantido em 500 a 730°C por 60 min;

30 aquecer o tarugo para 950 a 1.250°C, e executar laminação a quente do tarugo para fabricar um fio-máquina laminado a quente na temperatura de laminação (Tr) de 800°C ou mais e temperatura final de laminação (Tf) de 1.150°C ou menos;

colocar o fio-máquina laminado a quente em um leito de resfriamento na temperatura de embobinamento (TL) de 1.020°C ou menos para fabricar um fio; e

5 resfriar o fio em uma taxa de resfriamento média (CR2) de 5 °C/s ou menos da temperatura de embobinamento (TL) para 500°C.

10. Método de fabricar um fio-máquina laminado a quente sobressaindo em utilidade do fio compreendendo as etapas de:

10 executar aquecimento no qual um tarugo satisfazendo os requisitos da composição como definido em qualquer uma das reivindicações 1 e 4 a 8 é mantido em 500 a 730°C por 60 min;

aquecer o tarugo para 950 a 1.250°C, e executar laminação a quente do tarugo para fabricar um fio-máquina laminado a quente na temperatura de laminação (Tr) de 800°C ou mais e temperatura final de laminação (Tf) de 1.150°C ou menos;

15 colocar o fio-máquina laminado a quente em um leito de resfriamento na temperatura de embobinamento (TL) de 1.020°C ou menos para fabricar um fio; e

20 resfriar o fio em uma taxa de resfriamento média (CR1) de 2°C/s ou mais da temperatura de embobinamento (TL) para 730°C, e em uma taxa de resfriamento média (CR2) de 5°C/s ou menos da temperatura de embobinamento (TL) para 500°C.

11. Método de fabricar um fio-máquina laminado a quente sobressaindo em utilidade do fio compreendendo as etapas de:

25 executar tratamento de homogeneização no qual um tarugo satisfazendo os requisitos da composição como definido em qualquer uma das reivindicações 1 e 4 a 8 é mantido em 1.250 a 1.350°C por 60 min;

executar aquecimento no qual o tarugo é mantido em 500 a 730°C por 60 min;

30 aquecer o tarugo para 950 a 1.250°C, e executar laminação a quente do tarugo para fabricar um fio-máquina na temperatura de laminação (Tr) de 800°C ou mais e temperatura final de laminação (Tf) de 1.150°C ou menos;

colocar o fio-máquina laminado a quente em um leito de resfriamento na temperatura de embobinamento (TL) de 1.020°C ou menos para fabricar um fio; e

5 resfriar o fio em uma taxa de resfriamento média (CR1) de 2°C/s ou mais da temperatura de embobinamento (TL) para 730°C, e em uma taxa de resfriamento média (CR2) de 5°C/s ou menos da temperatura de embobinamento (TL) para 500°C.

12. Método de fabricar um fio-máquina laminado a quente sobressaindo em utilidade do fio compreendendo as etapas de:

10 executar aquecimento no qual um tarugo satisfazendo a exigência da composição como definido em qualquer uma das reivindicações 1 e 4 a 8 é mantido em 500 a 730°C por 60 min;

executar tratamento de homogeneização no qual o tarugo é mantido em 1.250 a 1.350°C por 60 min;

15 aquecer o tarugo para 950 a 1.250°C, e executar laminação a quente do tarugo para fabricar um fio-máquina laminado a quente na temperatura de laminação (Tr) de 800°C ou mais e temperatura final de laminação (Tf) de 1.150°C ou menos;

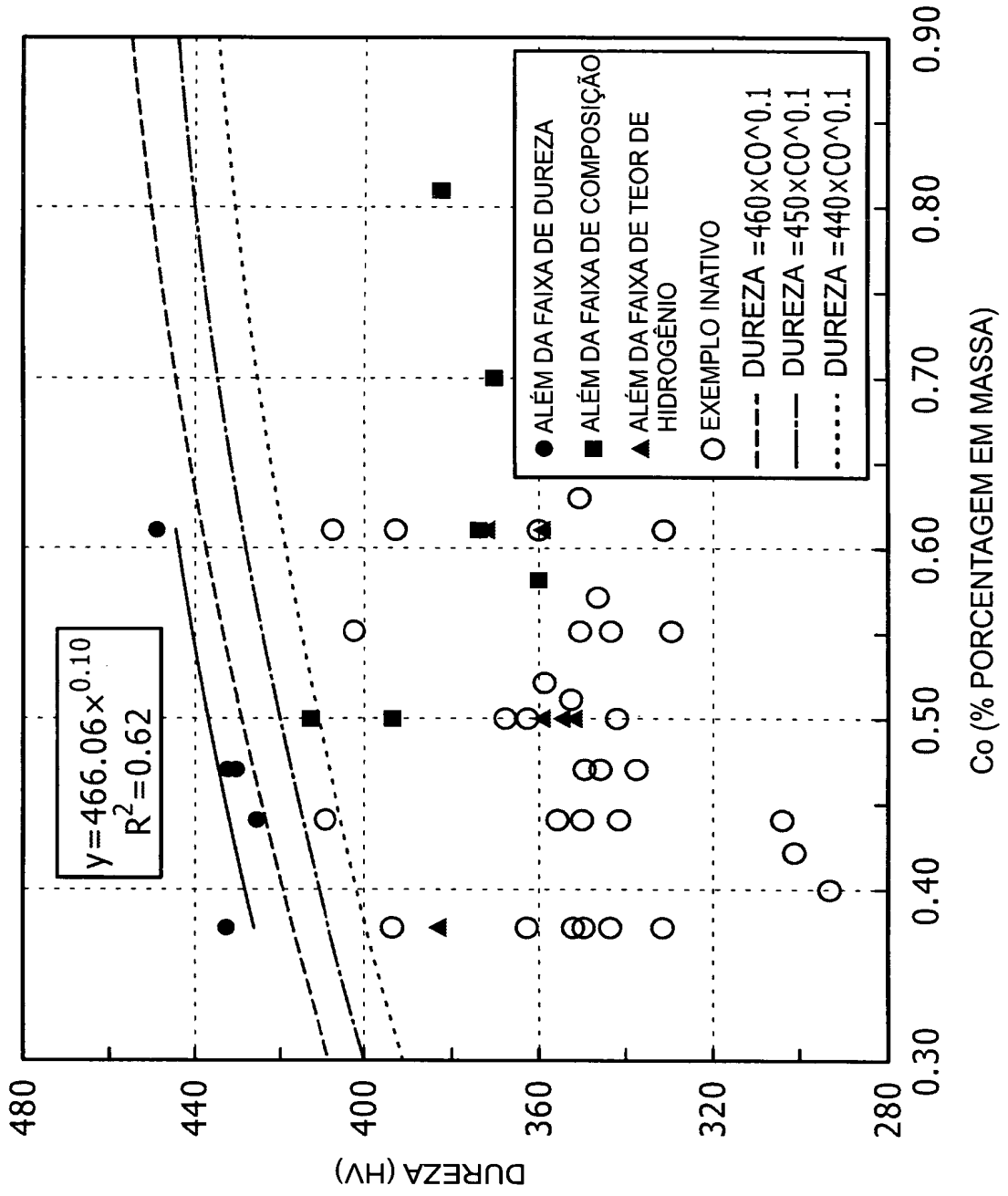
20 colocar o fio-máquina laminado a quente em um leito de resfriamento na temperatura de embobinamento (TL) de 1.020°C ou menos para fabricar um fio; e

25 resfriar o fio em uma taxa de resfriamento média (CR1) de 2°C/s ou mais da temperatura de embobinamento (TL) para 730°C, e em uma taxa de resfriamento média (CR2) de 5°C/s ou menos da temperatura de embobinamento (TL) para 500°C.

13. Método de diminuir o conteúdo de hidrogênio em aço de um fio-máquina laminado a quente,

em que aquecimento é executado antes da laminação a quente, no qual um tarugo é mantido em 500 a 730°C por 60 min ou mais.

FIG. 1



Rec 2002-0

RESUMO

Patente de Invenção: "FIO-MÁQUINA TENDO EXCELÊNCIA EM DUTILIDADE DO FIO".

5 A presente invenção refere-se a um fio-máquina laminado a quente sobressaindo em ductilidade do fio é fornecido, no qual ruptura pode ser suprimida mesmo em trabalho pesado a partir de um grande diâmetro. Um fio-máquina laminado a quente contém C: 0,35% a 0,65% (porcentagem em massa, expressada igualmente em seguida), Si: 1,4% a 3,0%, Mn: 0,10% a 1,0%, Cr: 0,1% a 2,0%, P: 0,025% ou menos (exclusivo de 0%), S: 10 0,025% ou menos (exclusivo de 0%), N: 0,006% ou menos (exclusivo de 0%), Al: 0,1% ou menos (exclusivo de 0%) e O: 0,0030% ou menos (exclusivo de 0%), com o restante consistindo em Fe e impurezas inevitáveis; em que o conteúdo de hidrogênio em aço é 2,50 ppm (ppm em massa, expressada igualmente em seguida) ou menos, e dureza (HV) é $460 \times C_0^{0,1}$ ou menos (C₀ indica o conteúdo de C (porcentagem em massa) em uma posição 15 de profundidade de D/4 (D: diâmetro do fio-máquina)).