



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

(21) **PI0805832-6 A2**

(22) Data de Depósito: 27/10/2008
(43) Data da Publicação: 30/08/2011
(RPI 2121)



* B R P I 0 8 0 5 8 3 2 A 2 *

(51) *Int.Cl.:*
C22C 38/00
C21D 8/00
C22C 38/38

(54) Título: **AÇO NÃO-TRATADO TERMICAMENTE PARA USO EM FORJAMENTO A QUENTE DO TIPO MARTENSITA E PEÇA DE AÇO NÃO-TRATADA TERMICAMENTE FORJADA A QUENTE**

(30) Prioridade Unionista: 29/10/2007 JP 2007-280258

(73) Titular(es): Nippon Steel Corporation

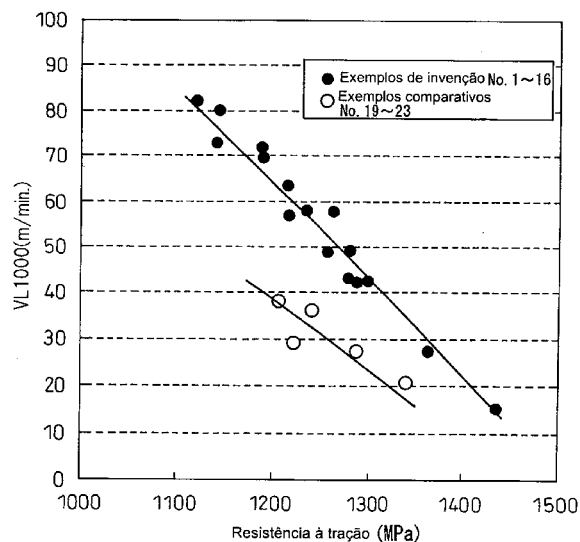
(72) Inventor(es): Kei Miyanishi, Masayuki Hashimura, Shinya Teramoto

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

(86) Pedido Internacional: PCT JP2008069835 de 27/10/2008

(87) Publicação Internacional: WO 2009/057731 de 07/05/2009

(57) Resumo: AÇO NÃO-TRATADO TERMICAMENTE PARA USO EM FORJAMENTO A QUENTE DO TIPO MARTENSITA E PEÇA DE AÇO NÃO-TRATADA TERMICAMENTE FORJADA A QUENTE. A presente invenção refere-se a um aço não-tratado para forjamento a quente onde o resfriamento controlado após a conformação pelo forjamento a quente é usado para tornar martensita a estrutura principal do aço mesmo sem os subsequentes resfriamento e tratamento térmico por resfriamento rápido e encruamento e dando assim uma peça de aço com alta resistência e alta tenacidade e superior capacidade de usinagem e uma peça de aço não-tratada termicamente forjada a quente feita daquele aço, em particular refere-se a um aço não-tratado termicamente para uso em forjamento a quente do tipo martensita caracterizado por conter, em % em massa, C: 0,10 a 0,20%, Si: 0,10 a 0,50%, Mn: 1,0 a 3,0%, P: 0,001 a 0,1%, S: 0,005 a 0,8%, Cr: 0,10 a 1,50%, Al: acima de 0,1 a 0,20%, e N: 0,0020 a 0,0080% e tendo um saldo de substancialmente Fe e as inevitáveis impurezas e uma peça de aço não-tratada termicamente forjada a quente feita de tal aço e caracterizada pelo fato de que a estrutura de aço de toda a seção transversal em parte da peça ou em toda a peça é substancialmente uma estrutura de martensita com um tamanho de grão de cristal efetivo de 15 μm ou menos.





PI0805832 - 6

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "AÇO NÃO-TRATADO TERMICAMENTE PARA USO EM FORJAMENTO A QUENTE DO TIPO MARTENSITA E PEÇA DE AÇO NÃO-TRATADA TERMICAMENTE FORJADA A QUENTE".

5 CAMPO TÉCNICO

A presente invenção refere-se a um aço a ser trabalhado em uma peça usinada de um automóvel, maquinário industrial, etc em particular um aço não-tratado termicamente para uso em forjamento a quente do tipo martensita no qual o resfriamento controlado após a conformação por forjamento a quente é usado para fazer a estrutura de martensita principal e no qual a resistência e a tenacidade e também a capacidade de usinagem são melhoradas mesmo sem tratamento térmico de resfriamento rápido e encruamento após o forjamento a quente, e a uma peça de aço tratada termicamente não-forjada feita daquele aço.

15 ANTECEDENTES DA TÉCNICA

No passado, a maioria das peças usinadas de automóveis, maquinário industrial, etc têm geralmente sido feitas por varas de forjamento a quente feitas de aço de baixo carbono nas formas das chapas, e então reaquecendo-as e tratando-as por resfriamento rápido e encruamento para assim transmitir alta resistência e alta tenacidade.

Entretanto, esse tratamento térmico requer uma tremenda energia térmica. Além disso, as etapas de tratamento aumentam e as peças semiacabadas aumentam, etc, de forma que a razão dos custos de tratamento térmico nos custos de produção das peças torna-se maior. Por esta razão, para simplificar o processo de produção e reduzir os custos do tratamento térmico quando se produzem tais peças estruturais, foi desenvolvido o forjamento a quente usa aço não-tratado termicamente omitindo o tratamento térmico de resfriamento rápido e encruamento.

Peças forjadas a quente usando-se aço não-tratado termicamente for a, aquecidas uma vez a 1200°C ou mais e forjadas a uma alta temperatura de aproximadamente 1100 a 1200°C. Entretanto, o aquecimento a 1200°C ou mais provoca o embrutecimento dos grãos de austenita. For-

5 jando-se a uma alta temperatura de 1000 a 1200°C, a recristalização progri-
de após o trabalho, a ferrita-perlita obtida no processo de resfriamento torna-
se mais bruta e portanto, as peças não-tratadas termicamente forjadas a
quente usando aço não-tratado termicamente geralmente têm menor razão
de resistência à tração e valor de impacto comparado com peças de aço tra-
tado termicamente.

10 Para resolver esses problemas, a Publicação de Patente Japo-
nesa (A) nº 55-82749 descreve aumentar a quantidade de Mn do aço para
uso em estruturas de máquinas e também adicionar uma pequena quantida-
de de V, a Publicação de Patente Japonesa (A) nº 55-82750 descreve adi-
cionar uma pequena quantidade de V ao aço para uso em estruturas de má-
quinas, e também a Publicação de Patente Japonesa (A) nº 56-169723 des-
creve controlar os ingredientes e também resfriar no processo de resfriamen-
to após o forjamento a uma taxa de 0,7°C/s ou menos na faixa de temperatu-
15 ra de 1000 a 550°C de modo a produzir uma grande quantidade de ferrita
intergranular de núcleos de MnS disperso no aço e, como resultado, obter
uma estrutura de grãos finos e melhorar a tenacidade e as características de
fadiga. Entretanto, a ferrita-perlita obtida por esses métodos mantém-se bru-
ta e portanto a quantidade de aumento do valor de impacto ou da resistência
20 devido ao aumento da finura da estrutura é pequena no memento.

Recentemente, para proteção do ambiente global, uma maior
economia de combustível de automóveis tem sido crescentemente exigida.
Um dos meios eficazes para melhor alcançar a economia de combustíveis
de automóveis é a redução do peso dos veículos. Isto está levando à redu-
25 ção do tamanho das peças pela melhoria da resistência das peças. Entretan-
to, o tipo corrente de aço não-tratado termicamente ferrita-perlita tem um
limite de resistência de cerca de 1000 MPa. Está se tornando impossível
alcançar as exigências recentes para maior resistência e maior tenacidade.

30 Por outro lado, para se obter tanto uma resistência de 1000 MPa
ou mais e uma alta tenacidade, é necessário fazer-se da estrutura uma es-
trutura de martensita ou uma estrutura bainita na qual os carbonetos são
finamente dispersos.

Numerosas técnicas relacionadas a aços não-tratados termicamente dando uma estrutura de martensita ou bainita como forjados a quente foram propostas até agora. Por exemplo, a Publicação de Patente Japonesa (A) nº 1-129953 descreve que fazendo-se a quantidade de carbono uma
5 quantidade relativamente baixa de 0,04 a 0,20% de modo a aumentar o ponto Ms visando o efeito de auto-encruamento e, também adicionando-se Ti, B, e outros elementos para aumentar a capacidade de resfriamento rápido após o forjamento para tornar a estrutura uma estrutura de martensita ou bainita, uma alta resistência e uma boa tenacidade são obtidas. Além disso, a Publi-
10 cação de Patente Japonesa (A) nº 63-130749 descreve o aumento da quantidade de N sem adição de Ti e B e o resfriamento rápido a partir do ponto Ar₃ ou mais.

Entretanto, com a alta resistência descrita nessas Publicação de Patente Japonesa (A) nº 1-129953 e Publicação de Patente Japonesa (A) nº
15 63-130749, há pouco efeito de melhoria da capacidade de usinagem mesmo se se adicionar Ca, Te, Bi, ou outros elementos melhoradores da capacidade de usinagem.

Além disso, a Publicação de Patente Japonesa (A) nº 2000-129393 descreve a descoberta de que, adicionando-se quantidades adequadas de Mn e Cu juntos, um alto limite de elasticidade e uma boa tenaci-
20 dade são obtidos e que pela adição de quantidades adequadas de Ti e Zr e fazendo-se os carbossulfetos de Ti e os carbossulfetos de Zr finamente dispersos, a quantidade de formação de MnS é reduzida e por sua vez a capacidade de usinagem do material de aço é melhorada. Entretanto, carbossul-
25 fetos de Ti e carbossulfetos de Zr são duros, então algumas vezes provocam dano à ferramenta no momento da usinagem. Qualquer que seja o caso, não é fácil obter-se aço e peças de máquinas com alta resistência e alta tenacidade com capacidade de usinagem superior.

DESCRIÇÃO DA INVENÇÃO

30 Nos últimos anos, devido às exigências para uma eficiência de combustível melhorada através de veículos de peso mais leve, foi buscada uma maior resistência de peças de aço não-tratadas termicamente forjadas

a quente para automóveis. O aumento na resistência de tais peças de aço não-tratadas termicamente é acompanhado do problema, conforme explicado acima, da queda na tenacidade e na capacidade de usinagem. Na técnica anterior explicada acima, não foi, entretanto, fácil melhorar a capacidade de usinagem em adição às propriedades mecânicas tais como resistência e tenacidade.

Portanto, a presente invenção tem como seu objetivo resolver esses problemas e fornecer um aço não-tratado termicamente para uso em forjamento a quente no qual o resfriamento controlado após a conformação por forjamento a quente é usado para fazer a estrutura principal do aço martensita mesmo sem o subsequente reaquecimento e o tratamento térmico por resfriamento rápido e encruamento e portanto melhorado não apenas nas propriedades mecânicas tais como resistência e tenacidade mas também na capacidade de usinagem e fornecer peças de aço não-tratado termicamente forjadas a quente feitas daquele aço.

Para tornar a estrutura principal martensita pelo resfriamento controlado após a conformação por forjamento a quente sem o tratamento térmico convencional por resfriamento rápido e encruamento e assim alcançar a maior tenacidade e uma boa capacidade de usinagem de um aço não-tratado termicamente do tipo martensita, os inventores se engajaram em vários estudos dos ingredientes ótimos e da estrutura do aço e como resultado descobriram que adicionando-se, entre os ingredientes do aço, em particular Al em uma quantidade maior que a quantidade de Al do aço para uso em forjamento a quente comum e adicionando-se N em uma quantidade menor que a quantidade de N do aço para uso em forjamento a quente comum, o que se segue é possível e assim são melhoradas não apenas as propriedades mecânicas de resistência e tenacidade, mas também a capacidade de usinagem no aço não-tratado termicamente do tipo martensita em uma ampla faixa de taxas de resfriamento:

1) Pelo aumento da quantidade de Al soluto, uma alta resistência mais uma alta capacidade de usinagem podem ser obtidas.

2) Pelo aumento de Al soluto, o embrutecimento dos grãos de

cristal efetivos, as unidades de fratura, pode ser suprimido e uma alta tenacidade pode ser garantida e, mesmo no caso de uma taxa de resfriamento lenta, nitretos de Al se precipitam finamente e uniformemente durante o resfriamento, o embrutecimento dos grãos de crista efetivos é suprimido, e uma alta resistência mais uma alta tenacidade podem ser garantidas.

A presente invenção foi feita com base nessas descobertas e fornece um aço não-tratado termicamente para forjamento a quente do tipo martensita tendo uma alta resistência e uma alta tenacidade e com capacidade de usinagem melhorada e fornece uma peça de aço não-tratado termicamente forjado a quente feito daquele aço. Ela tem como sua essência o seguinte:

(1) Um aço não-tratado termicamente para uso em forjamento a quente do tipo martensita caracterizado por conter, em % em massa, C: 0,10 a 0,20%, Si: 0,10 a 0,50%, Mn: 1,0 a 3,0%, P: 0,001 a 0,1%, S: 0,005 a 0,8%, Cr: 0,10 a 1,50%, Al: acima de 0,1 a 0,20%, e N: 0,0020 a 0,0080% e tendo um saldo de substancialmente Fe e as inevitáveis impurezas.

(2) Um aço não-tratado termicamente para uso em forjamento a quente do tipo martensita conforme apresentado no item (1) também contendo, em % em massa, B: 0,0005 a 0,0050% e Ti: 0,005 a 0,030%.

(3) Um aço não-tratado termicamente para uso em forjamento a quente do tipo martensita conforme apresentado no item (1) ou (2) também contendo, em % em massa, um ou mais entre Nb: 0,05 a 0,30%, V: 0,05 a 0,30%, e Mo: 0,05 a 1,0%.

(4) Uma peça de aço não-tratado termicamente forjada a quente feita de um aço não-tratado termicamente para uso em forjamento a quente do tipo martensita conforme apresentado em qualquer um dos itens (1) a (3), a mencionada peça de aço não-tratado termicamente forjada a quente caracterizada pelo fato de que a estrutura de aço de toda a seção transversal em parte da peça ou em toda a peça é substancialmente uma estrutura de martensita com um tamanho de grão de cristal efetivo de 15 μm ou menos.

(5) Uma peça de aço não-tratado termicamente forjada a quente conforme apresentada no item (4) caracterizada pelo fato de que a quanti-

dade de Al soluto no aço é 0,05 a 0,18 % em massa em um local onde a estrutura do aço de toda a seção transversal em parte da peça ou em toda a peça é substancialmente uma estrutura de martensita com um tamanho de grão de cristal efetivo de 15 μm ou menos.

5 BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

A Figura 1 é uma vista mostrando a relação entre a resistência à tração e a capacidade de usinagem dos Exemplos da Invenção n^{os} 1 a 16 e dos Exemplos Comparativos n^{os} 19 a 23 da Tabela 3.

MELHOR MODO PARA A REALIZAÇÃO

10 A presente invenção antecipa que pelo resfriamento controlado após o forjamento a quente, a estrutura se tornará martensita. Em particular, como ingredientes do aço, adicionando-se Al em uma quantidade de mais de 0,1 a 0,20%, que é maior que no aço não-tratado termicamente comum, o embrutecimento dos grãos de cristal efetivos, que são unidades de fratura, é
15 suprimido, e a alta tenacidade é garantida, enquanto pela inclusão também de N em uma quantidade de 0,0020 a 0,0080%, que é mais baixa que a do aço não-tratado termicamente comum, a quantidade de Al soluto cresce e a capacidade de usinagem é melhorada.

Além disso, a presente invenção, pelo uso dos ingredientes de
20 aço explicados acima, obtém uma peça de aço não-tratado termicamente para uso em forjamento a quente que usa o resfriamento controlado após o forjamento a quente para obter uma estrutura substancialmente martensita tendo um tamanho de grão de cristal efetivo de 15 μm ou menos e que apresenta alta resistência e alta tenacidade e melhora a capacidade de usinagem
25 sem tratamento térmico pelo resfriamento rápido e encruamento.

Inicialmente, serão explicadas abaixo as razões para a limitação dos ingredientes da liga do aço nas reivindicações 1 a 3.

O aço não-tratado termicamente para uso em forjamento a quente do tipo martensita conforme apresentado na reivindicação 1 de acordo
30 com a presente invenção é adequado para uma peça de tamanho relativamente pequeno ou fina que possa ser suficientemente resfriada rapidamente ou peças que não requeiram uma dureza interna tão forte quanto a parte da

superfície, por exemplo, para uso em um motor de automóvel, etc, uma vara de conexão, um braço articulado usado para chassi de automóveis, e outras peças estruturais.

Além disso, o aço não-tratado termicamente para uso em forjamento a quente do tipo martensita definido na reivindicação 2 pode ser usado para uma peça relativamente grandes em tamanho ou que requeira uma capacidade de resfriamento rápido suficiente. O aço não-tratado termicamente para uso em forjamento a quente do tipo martensita definido na reivindicação 3 pode ser aplicado a uma peça que requeira também uma maior resistência e uma maior dureza que o aço produzido pelas reivindicações 1 e 2.

Ingredientes Definidos na Reivindicação 1

C: 0,10 a 0,20%

C é o elemento mais básico que determina a capacidade de resfriamento rápido do aço e a resistência do aço martensita e das peças. Para se obter uma resistência suficiente do aço e das peças, o limite inferior é feito 0,10%, preferivelmente o limite inferior é feito 0,14%. Por outro lado, para aumentar o ponto Ms e obter auto encruamento no processo de forjamento e resfriamento rápido, o limite superior foi feito 0,20%. Além disso, se acima de 0,20%, a tenacidade cai. Esse ponto é a razão para fazer o limite superior de C ser 0,20%.

Si: 0,10 a 0,50%

Si é um elemento para garantir a resistência do material pelo fortalecimento da solução e eficácia como elemento de desoxidação, mas se for menor que 0,10%, esses efeitos não são expressos e, além disso, uma desoxidação preliminar suficiente não pode ser executada. Por essa razão, o limite inferior de Si foi feito 0,10%. Por outro lado, se acima de 0,50%, são formados óxidos duros provocando a redução da tenacidade e da capacidade de usinagem e surgirem outros problemas. Por essa razão, o limite superior do Si foi feito 0,50%.

Mn: 1,0 a 3,0%

Mn é um elemento que reforça o aço pelo reforço da solução e

pela melhoria da capacidade de resfriamento rápido e também é um elemento eficaz na promoção da formação de martensita. Se esse Mn for menor que 1,0%, não é possível obter-se a estrutura de martensita desejada, então o limite inferior foi feito 1,0%. Além disso, esse Mn é um elemento útil para evitar a fragilização a quente pelo S. Isto é necessário para fixar o S no aço como sulfetos e torná-lo disperso ali, mas se a quantidade de Mn tornar-se grande, a dureza do material se torna maior e a tenacidade e a capacidade de usinagem diminuem, então o limite superior foi feito 3,0%.

P: 0,001 a 0,1%

10 P é um elemento com o efeito de melhorar a capacidade de usinagem pelo fato de a dureza do aço se tornar maior e ser provocada a fragilização, mas se for menor que 0,001%, o efeito acima mencionado não pode ser suficientemente obtido. Além disso, se acima de 0,1%, o material de aço se tornará muito duro e reciprocamente a tenacidade será degradada, então
15 o limite superior é feito 0,1%.

S: 0,005 a 0,8%

S é um elemento que forma MnS e melhora a capacidade de usinagem, mas se for menor que 0,005%, um efeito suficiente não é obtido. Por outro lado, embora dependa também da quantidade de Mn, se acima de
20 0,8%, o MnS se tornará mais bruto e, juntamente com isso, ocorrerá a anisotropia no MnS no momento de forjamento, então a anisotropia das propriedades mecânicas se tornará maior e em alguns casos serão iniciadas fraturas e a capacidade de trabalho é degradada. Por essa razão, o teor de S foi
25 feito 0,005 a 0,8%.

Cr: 0,10 a 1,50%

Cr é um elemento que aumenta a capacidade de resfriamento rápido e, também, melhora a resistência e a tenacidade. Se for menor que 0,10%, esses efeitos não são obtidos. Além disso, se acima de 1,5%, não apenas os efeitos se tornam saturados, mas também carbonetos de Cr são
30 formados reciprocamente fazendo com que a tenacidade caia e a capacidade de usinagem caia. Por essa razão, o teor de Cr foi feito 0,10 a 1,50%.

Al: Acima de 0,1 a 0,20%

Al é um elemento eficaz para desoxidação. Além disso, ele está presente como um soluto e nitreto na austenita ou martensita no momento de alta temperatura, suprime o embrutecimento dos grãos de cristal efetivos das unidades de fratura, e mantém a alta tenacidade. Além disso o Al soluto no aço tem o efeito de melhorar a capacidade de usinagem. Para apresentar

5 suficientemente esse efeito, a adição de mais de 0,1% é necessária. Entretanto, se adicionado excessivamente, são formados óxidos duros e reciprocamente uma queda na tenacidade e na capacidade de usinagem é atraída. Por essa razão, o teor de Al foi feito mais de 0,1 a 0,20%.

10 N: 0,0020 a 0,0080%

N forma nitretos com vários tipos de elementos e tem o efeito de suprimir o embrutecimento dos grãos de cristal efetivos e de manter uma alta tenacidade. Para obter esses efeitos completos, o limite inferior foi feito 0,0020%. Entretanto, se for adicionado exclusivamente esse N, uma grande

15 quantidade de precipitados de AlN e o AlN torna-se embrutecido e o Al soluto diminui. Portanto, o limite superior é feito 0,0080%, preferivelmente 0,0060% ou menos, mais preferivelmente 0,0050% ou menos.

Ingredientes Definidos na Reivindicação 2

B: 0,0005 a 0,0050%

20 B, se presente como B soluto no aço, tem os efeitos de aumentar o efeito de melhorar a capacidade de resfriamento rápido e, também, melhorar a tenacidade. Para obter esses efeitos, 0,0005% ou mais é necessário, mas se for acima de 0,0050%, esses efeitos também se tornam saturados e a tenacidade é reduzida. Por essa razão, o teor de B foi feito 0,0005 a

25 0,0050%.

Ti: 0,005 a 0,030%

Ti se liga ao N entrando como uma impureza inevitável para assim formar nitretos de Ti que suprime a precipitação de BN para aumentar o B soluto e evitar que o B se torne BN e que o efeito de melhoria da capacidade de resfriamento rápido do B seja perdido e portanto pode melhorar o

30 efeito de melhoria da capacidade de resfriamento rápido pelo B. Além disso, ele tem o efeito de formar nitretos de Ti e suprimir o embrutecimento dos

grãos de cristal efetivos e manter uma alta tenacidade. Para obter esses efeitos, 0,005% ou mais são necessários. Entretanto, se acima de 0,030%, nitretos de Ti bruto são formados e reciprocamente a tenacidade cai e, também, a capacidade de usinagem cai. Por essa razão, o teor de Ti foi feito

5 0,005 a 0,030%.

Ingredientes Definidos na Reivindicação 3

Nb: 0,05 a 0,30%

Nb forma carbonitretos de Nb e tem os efeitos de suprimir o embrutecimento dos grãos de cristal efetivos e de manter a alta tenacidade e

10 alta resistência. Além disso, ele se dissolve no aço a uma alta temperatura e aumenta a capacidade de resfriamento rápido. Para obter esses efeitos, são necessários 0,05% ou mais. Entretanto, se acima de 0,30%, carbonitretos brutos de Nb são formados e reciprocamente a tenacidade é reduzida. Por essa razão, o teor de Nb foi feito 0,05 a 0,30%.

15 V: 0,05 a 0,30%

V, como o Nb, tem o efeito de formar carbonitretos de V, suprimindo o embrutecimento dos grãos de cristal efetivos, e mantendo a alta tenacidade. Além disso, ele se dissolve no aço a uma alta temperatura e aumentar a capacidade de resfriamento rápido. Para obter esses efeitos,

20 0,05% ou mais são necessários. Entretanto, se acima de 0,30%, carbonitretos brutos de V são formados e reciprocamente a tenacidade cai. Por essa razão, o teor de V foi feito 0,05 a 0,30%.

Mo: 0,05 a 1,0%

Mo é um elemento que contribui para a melhoria da capacidade

25 de resfriamento rápido e inibir efetivamente uma queda na resistência dos limites dos grãos pelos carbonetos. Se menos de 0,05%, esses efeitos não pode ser observado, enquanto mesmo se adicionado acima de 1,0%, os efeitos se tornam saturados. Por essa razão, o teor de Mo foi feito 0,05 to 1,0%.

30 Além disso, em adição aos ingredientes do aço acima definidos na presente invenção, é também possível incluir Sn, Zn, Pb, Sb, REM, etc em uma faixa que não prejudique os efeitos da presente invenção.

Razões para Limitação da Reivindicação 4

A seguir, as peças de aço não-tratado termicamente forjadas a quente descritas na reivindicação 4 são caracterizadas pelo fato de que, dependendo das peças, há peças com locais na peça onde uma alta resistência e tenacidade são necessárias e locais onde elas não são necessárias e há peças onde a peça como um todo requer uma alta resistência e tenacidade. A presente invenção torna a estrutura do aço de toda a seção transversal em um local de toda ou de parte daquela peça onde uma alta resistência e tenacidade são necessárias substancialmente uma estrutura martensítica com um tamanho de grão de cristal de 15 μm ou menos. A razão para a limitação acima em um local da peça ou em toda a peça onde uma alta resistência e tenacidade são necessárias será explicada abaixo.

Quando se forja a quente, e então se resfria usando o aço não-tratado termicamente para uso em forjamento a quente do tipo martensita conforme apresentado nas reivindicações 1 a 3, a peça é resfriada por resfriamento a água, resfriamento a óleo, resfriamento a ar, ou um meio de resfriamento tendo uma capacidade de resfriamento equivalente à mesma de acordo com a espessura da peça forjada ou à quantidade de adição dos elementos da liga de forma que a estrutura do aço se torne substancialmente uma estrutura de martensita auto encruada tendo um tamanho de grão de cristal efetivo de 15 μm ou menos. Quando a estrutura de aço é diferente de uma estrutura de martensita, a tenacidade cai notavelmente. Aqui, "substancialmente uma estrutura de martensita" significa o caso onde, por razão de área, 95% ou mais é uma estrutura de martensita. O saldo inclui bainita, perlita, austenita residual, etc e não é particularmente limitado.

Aqui, o "tamanho de grão de cristal efetivo" é o comprimento médio de uma superfície de fratura frágil plana formada pela quase segmentação ou pela segmentação quando se observa uma superfície de fratura frágil após um teste de Charpy. A estrutura do aço é feita de uma estrutura de martensita com um tamanho de grão de cristal efetivo de 15 μm ou menos para alcançar tanto uma resistência de 1100 MPa ou mais quanto uma alta tenacidade.

Para fazer o aço uma estrutura substancialmente martensita tendo um tamanho de grão de cristal efetivo de 15 μm ou menos, conforme explicado acima, no momento do resfriamento após o forjamento a quente, o resfriamento a água, resfriamento a óleo, ou resfriamento a ar pode ser ade-

5 quadamente selecionado de acordo com a taxa de resfriamento, os ingredientes do aço, e a espessura da peça forjada. Por exemplo, no caso de um aço não-tratado termicamente para uso em forjamento a quente do tipo mar-

10 tensita com ingredientes do aço com poucos elementos que melhorem a capacidade de resfriamento e que satisfaçam a reivindicação 1 e uma peça forjada com uma espessura de 40 mm ou mais, o resfriamento a água é se-

lecionado, enquanto no caso de um aço não-tratado termicamente para uso em forjamento a quente do tipo martensita com ingredientes do aço com grandes elementos que melhorem a capacidade de resfriamento rápido e simultaneamente satisfazendo as reivindicações 2 e 3 e uma peça forjada

15 com uma espessura de 20 mm ou menos, o resfriamento a água, o resfriamento a óleo, ou o resfriamento a ar pode ser selecionado. As condições adequadas podem ser descobertas previamente por experiências.

Razões para Limitação da Reivindicação 5

As razões para limitação das características da peça de aço não-tratado termicamente forjada a quente descrita na reivindicação 5 serão

20 explicadas a seguir.

Na peça de aço não-tratado termicamente forjada a quente na presente invenção, por inclusão, em % em massa, de Al soluto: 0,05 a 0,18%, é possível fazer o material de aço mais frágil e melhorar a capacidade de usinagem. Entretanto, se for menos de 0,05%, o efeito acima não pode ser suficientemente obtido. Por outro lado, a quantidade de Al soluto é

25 determinada pela quantidade de Al e pela quantidade de N no aço, pela temperatura de aquecimento, etc, mas acima de 0,18% não pode ser dissolvido. Para fazer a quantidade de Al soluto 0,05% ou mais, a temperatura de aquecimento antes do forjamento a quente tem que ser feita 1150°C ou

30 mais, preferivelmente 1200°C ou mais, mais preferivelmente 1250°C ou mais.

Nota-se que o local onde a quantidade de Al soluto é feita conforme explicado acima é um local na peça que pelo menos é forjado a quente e resfriado de forma que a estrutura do aço torna-se substancialmente uma estrutura de martensita com um tamanho de grão de cristal efetivo de 5 15 μm ou menos, mas outros locais podem também ter a quantidade acima de Al soluto.

A presente invenção será explicada abaixo em detalhes usando-se exemplos.

Exemplo 1

10 150 kg de cada aço tendo os ingredientes químicos mostrados na Tabela 1 foi produzido em um forno de fusão a vácuo, e então laminado a quente para obter uma vara de aço com diâmetro de 50 mm. A seguir, para garantir a quantidade de Al soluto no aço, esse foi forjado a quente a uma temperatura de aquecimento de 1250°C e estirado até uma forma cilíndrica 15 de um diâmetro de 20 mm. Em todos os casos diferentes dos exemplos da invenção nº 13 e nº 14 e exemplos comparativos nº 22 e nº 23, água a 25°C foi usada imediatamente para resfriamento. Para os exemplos da invenção nº 13 e nº 14 e para os exemplos comparativos nº 22 e nº 23, óleo a 100°C (JIS tipo 1 nº 1) foi usado imediatamente para resfriamento. Isto é, para o nº 20 13, o nº 14, o nº 22 e o nº 23 a taxa de resfriamento foi tornada mais lenta. Além disso, os aços dos exemplos da invenção e dos exemplos comparativos foram testados por testes de tração, testes de impacto, e testes de capacidade de usinagem para avaliar suas propriedades. Note que os sublinhados na Tabela 1 mostram condições for a do escopo definido pela presente invenção. 25

Incidentalmente, os nºs 17 e 18 têm teores de C fora da faixa prescrita pela presente invenção, os nºs 19, 20, 22 e 23 têm teores de Al fora da invenção, o nº 21 tem um teor de N fora da invenção, o nº 24 tem um teor de Si fora da invenção, os nºs 25 e 26 têm teores de Mn fora da inven- 30 ção, o nº 27 tem um teor de Cr fora da invenção, o nº 28 tem teores de Ti e B fora da invenção, e o nº 29 tem um teor de P fora da invenção.

Tabela 1

Nº	C	Si	Mn	P	S	Cr	Al	N	Ti	B	Nb	V	Mo	Classificação
1	0,14	0,21	1,62	0,038	0,066	0,66	0,135	0,0029	-	-	-	-	-	Ex. da Inv.
2	0,20	0,21	1,72	0,022	0,070	0,45	0,108	0,0029	-	-	-	-	-	Ex. da Inv.
3	0,15	0,13	2,22	0,035	0,072	0,56	0,137	0,0056	-	-	-	-	-	Ex. da Inv.
4	0,14	0,48	1,92	0,030	0,071	0,63	0,158	0,0031	-	-	-	-	-	Ex. da Inv.
5	0,16	0,28	1,07	0,021	0,066	0,40	0,121	0,0059	-	-	-	-	-	Ex. da Inv.
6	0,16	0,29	2,93	0,022	0,057	0,61	0,127	0,0025	-	-	-	-	-	Ex. da Inv.
7	0,16	0,25	1,93	0,027	0,077	0,12	0,158	0,0045	-	-	-	-	-	Ex. da Inv.
8	0,15	0,29	1,76	0,022	0,053	1,46	0,119	0,0026	-	-	-	-	-	Ex. da Inv.
9	0,14	0,28	2,04	0,042	0,063	0,33	0,109	0,0059	-	-	-	-	-	Ex. da Inv.
10	0,15	0,25	1,80	0,042	0,075	0,48	0,182	0,0058	-	-	-	-	-	Ex. da Inv.
11	0,14	0,28	2,29	0,023	0,059	0,41	0,142	0,0058	-	-	-	-	-	Ex. da Inv.
12	0,14	0,22	1,97	0,026	0,054	0,66	0,137	0,0076	-	-	-	-	-	Ex. da Inv.
13	0,16	0,23	1,92	0,023	0,051	0,59	0,117	0,0047	0,022	0,002	-	-	-	Ex. da Inv.
14	0,17	0,29	1,63	0,036	0,062	0,60	0,134	0,0040	0,027	0,004	0,05	0,12	-	Ex. da Inv.
15	0,15	0,22	1,51	0,028	0,058	0,44	0,125	0,0049	-	-	0,26	-	0,20	Ex. da Inv.
16	0,15	0,20	1,54	0,039	0,041	0,31	0,128	0,0042	-	-	-	0,28	-	Ex. da Inv.

Tabela 1 - continuação

Nº	C	Si	Mn	P	S	Cr	Al	N	Ti	B	Nb	V	Mo	Classificação
17	<u>0,03</u>	0,27	1,90	0,032	0,071	0,42	0,101	0,0028	-	-	-	-	-	Ex. Comp.
18	<u>0,27</u>	0,22	1,93	0,023	0,044	0,64	0,142	0,0043	-	-	-	-	-	Ex. Comp.
19	0,17	0,28	2,13	0,042	0,076	0,47	<u>0,022</u>	0,0040	-	-	-	-	-	Ex. Comp.
20	0,13	0,30	2,20	0,035	0,047	0,56	<u>0,234</u>	0,0035	-	-	-	-	-	Ex. Comp.
21	0,12	0,24	2,10	0,032	0,044	0,45	0,128	<u>0,0108</u>	-	-	-	-	-	Ex. Comp.
22	0,12	0,26	1,55	0,025	0,058	0,34	<u>0,031</u>	0,0041	0,024	0,002	-	-	-	Ex. Comp.
23	0,13	0,29	2,13	0,022	0,076	0,36	<u>0,082</u>	0,0052	0,028	0,002	-	0,18	0,40	Ex. Comp.
24	0,15	<u>0,68</u>	1,86	0,023	0,049	0,39	0,152	0,0033	-	-	-	-	-	Ex. Comp.
25	0,13	0,26	<u>0,84</u>	0,028	0,066	0,52	0,144	0,0042	-	-	-	-	-	Ex. Comp.
26	0,13	0,26	<u>3,54</u>	0,037	0,067	0,63	0,112	0,0033	-	-	-	-	-	Ex. Comp.
27	0,17	0,26	1,72	0,027	0,046	<u>1,78</u>	0,137	0,0044	-	-	-	-	-	Ex. Comp.
28	0,17	0,28	1,53	0,041	0,069	0,30	0,146	0,0058	<u>0,057</u>	<u>0,008</u>	-	-	-	Ex. Comp.
29	0,15	0,24	1,60	<u>0,111</u>	0,052	0,48	0,135	0,0052	-	-	-	-	-	Ex. Comp.

* Partes sublinhadas são condições fora do escopo da presente invenção.

A resistência à tração foi avaliada cortando-se um corpo de prova JIS nº 3 de uma vara com um diâmetro de 20 mm e medindo-se a resistência à tração. Além disso, um corpo de prova de impacto foi testado cortando-se um corpo de prova JIS nº 3 na direção de estiramento do forjamento e executando-se um teste de impacto Charpy à temperatura ambiente pelo método definido na JIS Z 2242. Naquele momento, como indicadores de avaliação, foi empregada a energia absorvida por unidade de área.

O tamanho de grão de cristal foi obtido observando-se uma seção transversal na direção longitudinal de uma superfície de fratura frágil após um teste de impacto Charpy sob um microscópio, medindo-se o comprimento da superfície de fratura frágil reta formada pelo quase segmentação ou pela segmentação em 20 pontos, e tomando-se a média.

Como um indicador para avaliação da capacidade de usinagem, foi empregada a velocidade máxima de corte VL1000 (m/min) que permite o corte até uma profundidade cumulativa do furo de 1000 mm em um teste de perfuração. A "VL1000" referida aqui é a taxa de corte de uma broca capaz de furar um furo de 1000 mm de comprimento. Quanto maior o valor, melhor a capacidade de usinagem mostrada. As condições do teste de perfuração estão mostradas na Tabela 2.

A estrutura do aço foi observada sob um microscópio ótico ou um microscópio de varredura eletrônica. "M" indica que a estrutura principal é uma estrutura de martensita. "B" indica que a estrutura principal é uma estrutura bainita. A razão de área da martensita é a razão de área da martensita na estrutura total e é julgada observando-se uma seção transversal de uma vara com um diâmetro de 20 mm na direção radial sob um microscópio e o processamento da imagem da fotografia capturada da estrutura. A quantidade de Al soluto no aço foi feita a quantidade total de Al no aço menos a quantidade de Al presente em nitretos de Al. A quantidade de Al presente como nitretos de Al foi medida por um espectrômetro de emissão ICP medindo o resíduo após a extração eletrolítica usando-se o método da velocidade do método de potencial constante de corrosão galvânica usando-se um eletrólito não-aquoso e um filtro de 0,1 μm .

Além disso, os resultados desses testes de tração, testes de impacto e avaliação da capacidade de usinagem estão mostrados na Tabela 3. Os traços nos resultados da avaliação na Tabela 3 mostram casos nos testes de perfuração onde não foi possível cortar até uma profundidade cumulativa de furo de 1000 mm a uma taxa de corte de 1 m/min.

A Figura 1 plota a resistência à tração dos exemplos da invenção n°s 1 a 16 e dos exemplos comparativos n°s 19 a 23 da Tabela 3 na abscissa e os resultados da VL1000 na ordenada.

Tabela 2

Condições de usinagem	Taxa de usinagem	1 a 90 m/min
	Alimentação	0,25 mm/rev
	Fluido de corte	Fluido de corte solúvel em água
Broca	Diâmetro da broca	ϕ 3 mm
	Broca superdura	Revestimento de TiAlN
	Profundidade de corte	45 mm
Outros	Profundidade do furo	6 mm
	Vida útil da ferramenta	Até a fratura

Tabela 3

Nº	Resistência à tração (MPa)	Energia absorvida (J/cm^2)	Tamanho de grão de cristal efetivo (μm)	VL-1000 (m/min)	Estrutura	Razão de área martensita (%)	Quantidade de Al soluto (% em massa)	Classe
1	1140	109	12,4	73	M	99	0,125	Ex. da Inv.
2	1436	87	8,6	15	M	99	0,099	Ex. da Inv.
3	1118	112	13,3	82	M	99	0,069	Ex. da Inv.
4	1363	95	10,4	27	M	99	0,113	Ex. da Inv.
5	1142	105	11,2	80	M	99	0,063	Ex. da Inv.
6	1286	94	9,0	42	M	98	0,103	Ex. da Inv.
7	1186	101	10,1	72	M	98	0,086	Ex. da Inv.
8	1188	100	10,0	69	M	99	0,098	Ex. da Inv.
9	1297	90	7,9	43	M	98	0,060	Ex. da Inv.
10	1212	102	10,9	64	M	98	0,061	Ex. da Inv.
11	1255	94	8,6	49	M	99	0,067	Ex. da Inv.
12	1259	98	10,2	58	M	99	0,053	Ex. da Inv.
13	1278	96	9,5	49	M	99	0,077	Ex. da Inv.
14	1214	99	9,9	57	M	99	0,091	Ex. da Inv.
15	1232	102	11,3	58	M	99	0,078	Ex. da Inv.

Tabela 3 - continuação

Nº	Resistência à tração (MPa)	Energia absorvida (J/cm ²)	Tamanho de grão de cristal efetivo (µm)	VL1000 (m/min)	Estrutura	Razão de área martensita (%)	Quantidade de Al soluto (% em massa)	Classe
16	1277	97	10,0	43	M	98	0,089	Ex. da Inv.
17	985	109	10,5	102	M	98	0,093	Ex. Comp.
18	1612	12	12,9	-	M	97	0,088	Ex. Comp.
19	1340	95	10,1	21	M	99	<u>0,012</u>	Ex. Comp.
20	1221	32	10,3	29	M	99	<u>0,152</u>	Ex. Comp.
21	1287	105	13,0	27	M	98	<u>0,035</u>	Ex. Comp.
22	1205	66	<u>18,5</u>	38	M	99	<u>0,023</u>	Ex. Comp.
23	1238	58	<u>20,6</u>	36	M	99	<u>0,042</u>	Ex. Comp.
24	1522	14	13,2	-	M	98	0,113	Ex. Comp.
25	1155	33	12,9	65	<u>B</u>	<u>42</u>	0,089	Ex. Comp.
26	1414	12	11,5	8	M	98	0,103	Ex. Comp.
27	1312	18	10,6	28	M	99	0,087	Ex. Comp.
28	1295	16	9,4	37	M	99	0,068	Ex. Comp.
29	1226	12	12,5	48	M	98	0,075	Ex. Comp.

* Partes sublinhadas são condições fora do escopo da presente invenção.

Os nºs 1 a 16 mostrados na Tabela 3 acima são exemplos da invenção, enquanto os nºs 17 a 29 são exemplos comparativos. Conforme mostrado na Tabela 3, os materiais de aço dos exemplos da invenção nºs 1 a 16 apresentaram bons valores em todos os indicadores de avaliação da resistência à tração, energia absorvida e VL1000. Mesmo comparado com os exemplos comparativos, todos tiveram uma capacidade de usinagem superior quando vistos pelo mesmo nível de resistência e uma resistência superior quando vistos pelo mesmo nível de capacidade de usinagem. Tornou-se claro que não apenas as propriedades mecânicas tais como resistência e tenacidade, mas também a capacidade de usinagem foram melhoradas.

Por outro lado, nos materiais de aço dos exemplos comparativos nºs 17 a 29, pelo menos uma das três propriedades usadas como indicadores de avaliação foi inferior se comparada com aquela dos materiais de aço dos exemplos da invenção. Especificamente, o exemplo comparativo nº 17 não conteve o elemento essencial da presente invenção de C na quantidade necessária, então a resistência foi inferior àquela dos materiais da presente invenção. Além disso, o exemplo comparativo nº 18 teve o elemento essencial da presente invenção C adicionado em excesso, então a resistência foi maior que a do material da presente invenção e a tenacidade e capacidade de usinagem tornaram-se muito inferiores.

Os exemplos comparativos nºs 19, 22, e 23 continham o elemento essencial da presente invenção de Al na quantidade necessária, mas o exemplo comparativo nº 21 tinha N adicionado excessivamente, então em todos os casos a quantidade de Al soluto tornou-se menor que 0,05% em massa. Além disso, o exemplo comparativo nº 20 teve o elemento essencial da presente invenção de Al adicionado excessivamente, então os óxidos duros aumentaram. Em cada caso, conforme mostrado na Figura 1, quando visto pelo mesmo nível de resistência à tração, a VL1000 foi muito inferior se comparada com o material de aço da presente invenção.

Em particular os nºs. 22 e 23 tiveram ambos estruturas de 95% ou mais razões de área de martensita, mas as taxas de resfriamento foram lentas, nenhum efeito de supressão do embrutecimento dos grãos de cristal

efetivos pelos nitretos de Al foi obtido, o tamanho do grão de cristal efetivo foi de mais de 15 μm em cada caso e portanto for a da faixa prescrita, e a tenacidade foi inferior àquela do material da presente invenção. Por outro lado, os exemplos da invenção n^os 13 e 14 controlados quanto aos teores de

5 Ti e B sob substancialmente as mesmas condições dos n^os 22 e 23 foram lentos em suas taxas de resfriamento, mas um efeito de supressão do embrutecimento dos grãos de cristal efetivos pelos nitretos de Al foi obtido, o tamanho dos grãos de cristal efetivos foi de 15 μm ou menos, e uma alta tenacidade foi garantida.

10 O exemplo comparativo n^o 24 teve o elemento essencial da presente invenção de Si adicionado excessivamente, então a resistência tornou-se maior que a do material da presente invenção e a tenacidade e a capacidade de usinagem tornaram-se muito inferiores.

15 O exemplo comparativo n^o 25 não incluiu o elemento essencial da presente invenção de Mn na quantidade necessária, então a capacidade de resfriamento rápido diminuiu, a estrutura principal se tornou bainita, e a tenacidade tornou-se muito inferior àquela do material da presente invenção.

20 Os exemplos comparativos n^os 26 a 29 tiveram os elementos essenciais da presente invenção de Mn, Cr, Ti, B, e P excessivamente adicionados, então a tenacidade e a capacidade de usinagem tornaram-se muito inferiores.

APLICABILIDADE INDUSTRIAL

25 O aço não-tratado termicamente para uso em forjamento quente do tipo martensita usando a presente invenção contém como ingredientes do aço Al em uma quantidade de mais de 0,1 a 0,20%, que é mais que aquela do aço não-tratado termicamente comum, e N em uma quantidade 0,0020 a 0,0080%, que é menor que aquela do aço não-tratado termicamente comum, então pode melhorar não apenas as propriedades mecânicas tais como re-

30 sistência e tenacidade, mas também a capacidade de usinagem, e portanto apresentar o efeito de permitir o uso para aço a ser trabalhado em peças para automóveis, maquinário industrial, etc onde alta resistência e alta tena-

cidade são necessárias e para peças feita daquele aço. Em particular, na presente invenção, o resfriamento controlado após a conformação por forjamento a quente permite que a estrutura principal do aço seja feita martensita mesmo sem o subsequente reaquecimento e tratamento térmico por resfriamento rápido e encruamento, de forma que seja possível reduzir os custos do tratamento térmico.

REIVINDICAÇÕES

1. Aço não-tratado termicamente para uso em forjamento a quente do tipo martensita caracterizado por conter, em % em massa, C: 0,10 a 0,20%, Si: 0,10 a 0,50%, Mn: 1,0 a 3,0%, P: 0,001 a 0,1%, S: 0,005 a 0,8%, Cr: 0,10 a 1,50%, Al: acima de 0,1 a 0,20%, e N: 0,0020 a 0,0080% e tendo um saldo de substancialmente Fe e as inevitáveis impurezas.

5
10
15
20
25

C: 0,10 a 0,20%,
Si: 0,10 a 0,50%,
Mn: 1,0 a 3,0%,
P: 0,001 a 0,1%,
S: 0,005 a 0,8%,
Cr: 0,10 a 1,50%,
Al: acima de 0,1 a 0,20%, e
N: 0,0020 a 0,0080% e

15 tendo um saldo de substancialmente Fe e as inevitáveis impurezas.

2. Aço não-tratado termicamente para uso em forjamento a quente do tipo martensita de acordo com a reivindicação 1 também contendo, em % em massa,

20
25

B: 0,0005 a 0,0050% e
Ti: 0,005 a 0,030%.

3. Aço não-tratado termicamente para uso em forjamento a quente do tipo martensita de acordo com a reivindicação 1 ou 2 também contendo, em % em massa, um ou mais entre

25
30

Nb: 0,05 a 0,30%,
V: 0,05 a 0,30%, e
Mo: 0,05 a 1,0%

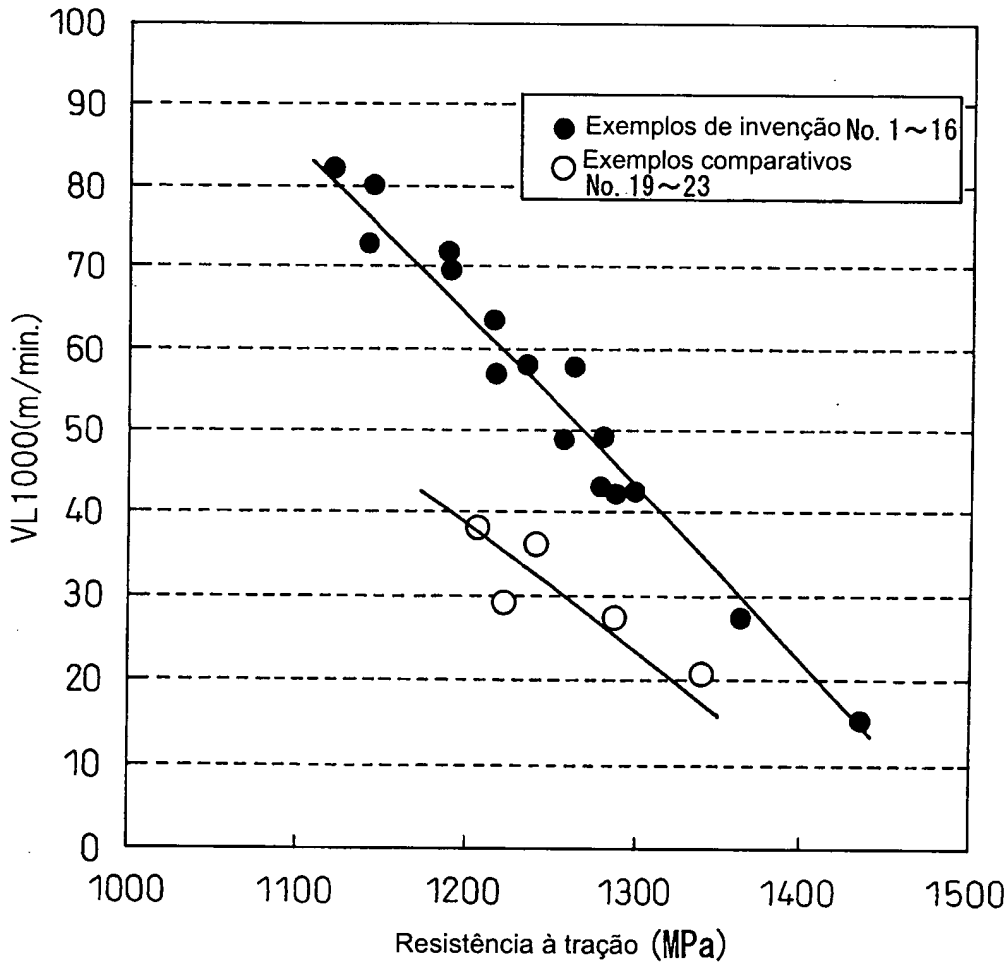
4. Peça de aço não-tratado termicamente forjada a quente feita de um aço não-tratado termicamente para uso em forjamento a quente do tipo martensita como definido em qualquer uma das reivindicações 1 a 3, a dita peça de aço não-tratado termicamente forjada a quente caracterizada pelo fato de que a estrutura de aço de toda a seção transversal em parte da peça ou em toda a peça é substancialmente uma estrutura de martensita

com um tamanho de grão de cristal efetivo de 15 μm ou menos.

5. Peça de aço não-tratado termicamente forjada a quente de acordo com a reivindicação 4, caracterizada pelo fato de que a quantidade de Al soluto no aço é 0,05 a 0,18 % em massa no aço em um local onde a
- 5 estrutura do aço de toda a seção transversal em parte da peça ou em toda a peça é substancialmente uma estrutura de martensita com um tamanho de grão de cristal efetivo de 15 μm ou menos.

1/1

Fig. 1



RESUMO

Patente de Invenção: "AÇO NÃO-TRATADO TERMICAMENTE PARA USO EM FORJAMENTO A QUENTE DO TIPO MARTENSITA E PEÇA DE AÇO NÃO-TRATADA TERMICAMENTE FORJADA A QUENTE".

5 A presente invenção refere-se a um aço não-tratado para forjamento a quente onde o resfriamento controlado após a conformação pelo forjamento a quente é usado para tornar martensita a estrutura principal do aço mesmo sem os subsequentes resfriamento e tratamento térmico por resfriamento rápido e encruamento e dando assim uma peça de aço com alta
10 resistência e alta tenacidade e superior capacidade de usinagem e uma peça de aço não-tratada termicamente forjada a quente feita daquele aço, em particular refere-se a um aço não-tratado termicamente para uso em forjamento a quente do tipo martensita caracterizado por conter, em % em massa, C: 0,10 a 0,20%, Si: 0,10 a 0,50%, Mn: 1,0 a 3,0%, P: 0,001 a 0,1%, S:
15 0,005 a 0,8%, Cr: 0,10 a 1,50%, Al: acima de 0,1 a 0,20%, e N: 0,0020 a 0,0080% e tendo um saldo de substancialmente Fe e as inevitáveis impurezas e uma peça de aço não-tratada termicamente forjada a quente feita de tal aço e caracterizada pelo fato de que a estrutura de aço de toda a seção transversal em parte da peça ou em toda a peça é substancialmente uma
20 estrutura de martensita com um tamanho de grão de cristal efetivo de 15 μ m ou menos.