



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

(11) PI 0710842-7 B1

(22) Data do Depósito: 25/12/2007

(45) Data de Concessão: 11/09/2018



(54) Título: AÇO ESTRUTURAL PARA MÁQUINAS

(51) Int.Cl.: C22C 38/00; C22C 38/60; C21D 8/00

(30) Prioridade Unionista: 25/12/2006 JP 2006-347928

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

(72) Inventor(es): KEI MIYANISHI; MASAYUKI HASHIMURA; ATSUSHI MIZUNO; KENICHIRO MIYAMOTO

(85) Data do Início da Fase Nacional: 06/10/2008

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "**AÇO ESTRUTURAL PARA MÁQUINAS**".

CAMPO DA INVENÇÃO

[001] A presente invenção refere-se a um aço estrutural para máquinas, que deve ser usinado e particularmente a um aço estrutural para máquinas excelente em propriedades de usinabilidade e resistência que seja receptivo à usinagem sobre um amplo espectro de velocidades de usinagem variando de usinagem a uma velocidade relativamente baixa com uma broca de aço de alta velocidade para uma usinagem de alta velocidade tal como um torneamento longitudinal com uma ferramenta revestida de um super aço.

DESCRIÇÃO DA ARTE RELATIVA

[002] Embora os últimos anos tenham visto o desenvolvimento de aços de maior resistência, têm ao mesmo tempo emergido o problema de declínio da capacidade de usinagem. Sente-se portanto uma necessidade crescente de desenvolvimento de aços que mantenham excelente resistência sem experimentar um declínio no desempenho de usinagem. A adição de elementos que aumentem a capacidade de usinagem tais como S, Pb e Bi é conhecida como sendo eficaz para melhorar a capacidade de usinagem do aço. Entretanto, enquanto Pb e Bi são conhecidos por melhorar a capacidade de usinagem e ter um efeito relativamente pequeno na capacidade de forjamento, eles são também conhecidos por degradar as propriedades de resistência.

[003] Além disso, o Pb está sendo usado atualmente em menores quantidades devido à tendência para evitar seu uso por causa da preocupação sobre a carga que o Pb coloca no ambiente natural. O S melhora a capacidade de usinagem pela formação de inclusões, tais como MnS, que amaciam em um ambiente de usinagem, mas os grãos de MnS são maiores que aqueles de Pb e similares, de forma que ele prontamente se torna um criador de concentração de estresse. Deve

ser particularmente notado no momento do alongamento por forjamento ou laminação, o MnS produz anisotropia, o que torna o aço extremamente fraco em uma direção particular. Torna-se também necessário levar essa anisotropia em conta durante o esboço do aço. Quando o S é adicionado, portanto, torna-se necessário utilizar a técnica para reduzir a anisotropia.

[004] Conforme apontado precedentemente, foi difícil alcançar boas propriedades de resistência e boa capacidade de usinagem simultaneamente porque a adição de elementos que aumentam a capacidade de usinagem degrada as propriedades de resistência. Também inovação tecnológica é, portanto, necessária para permitir simultaneamente a realização de capacidade de usinagem do aço e propriedades de resistência satisfatórias.

[005] Esta situação levou a esforços para fornecer um aço estrutural para máquinas permitindo o prolongamento da vida da máquina operatriz, por exemplo, pela incorporação de um total de 0,005% em massa ou mais de pelo menos um membro selecionado entre V soluto, Nb soluto e Al soluto e também incorporando 0,001% ou mais de N soluto, permitindo assim que nitretos formados pelo calor da usinagem durante a usinagem adiram à ferramenta para funcionar como um revestimento protetor da ferramenta (veja a Japanese Patent Publication (A) nº 2004-107787). Em adição, foi proposto um aço estrutural para máquinas que alcance uma remoção de fragmentos e propriedades mecânicas melhoradas pela definição dos teores de C, Si, Mn, S e Mg, definindo a razão do teor de Mg para o teor de S, e otimizando a razão de aspecto e o número de inclusões de sulfetos no aço (veja a Japanese Patent nº 3706560). O aço estrutural para máquinas ensinado pela patente nº 3706560 define o teor de Mg como 0,02% ou menos (não incluindo 0%) e o teor de Al, quando incluído, como 0,1% ou menos.

SUMÁRIO DA INVENÇÃO

[006] Entretanto, as tecnologias previamente existentes têm as desvantagens a seguir. O aço apresentado pela Japanese Patent Publication (A) nº 2004-107787 é susceptível de não originar o fenômeno supramencionado a menos que a quantidade de calor produzida pela usinagem exceda um certo nível. A velocidade de usinagem deve, portanto, ser um tanto alta para realizar o efeito desejado, então a invenção tem um problema no ponto em que o efeito não pode ser antecipado na faixa de baixa velocidade. A Japanese Patent nº 3706560 é totalmente omissa em relação às propriedades de resistência do aço que ela apresenta. Além disso, o aço dessa patente é incapaz de alcançar as propriedades de resistência adequadas porque não leva em consideração a vida da ferramenta de usinagem ou a a razão de elasticidade.

[007] A presente invenção foi alcançada à luz dos problemas precedentes e tem como seu objetivo fornecer um aço estrutural para máquinas que tenha boa capacidade de usinagem sobre uma ampla faixa de velocidades de usinagem e também tenha altas propriedades de impacto e uma alta a razão de elasticidade.

[008] O aço estrutural para máquinas excelente em capacidade de usinagem e propriedades de resistência conforme a presente invenção compreende, em % em massa, C: 0,1 a 0,85%, Si: 0,01 a 1,5%, Mn: 0,05 a 2,0%, P: 0,005 a 0,2%, S: 0,001 a 0,15%, Al total: maior que 0,05% e não maior que 0,3%, Sb: menos que 0,0150% (incluindo 0%), e N total: 0,0035 a 0,020%, N soluto sendo limitado a 0,0020% ou menos, e um saldo de Fe e as inevitáveis impurezas.

[009] O aço estrutural para máquinas pode também compreender, em % em massa, Ca: 0,0003 a 0,0015%.

[0010] O aço estrutural para máquinas pode também compreender, em % em massa, um ou mais elementos selecionados do grupo

consistindo em Ti: 0,001 a 0,1%, Nb: 0,005 a 0,2%, W: 0,01 a 1,0%, e V: 0,01 a 1,0%.

[0011] O aço estrutural para máquinas pode também compreender, em % em massa, um ou mais elementos selecionados do grupo consistindo em Mg: 0,0001 a 0,0040%, Zr: 0,0003 a 0,01%, e REMs (metais terras raras): 0,0001 a 0,015%.

[0012] O aço estrutural para máquinas pode também compreender, em % em massa, um ou mais elementos selecionados do grupo consistindo em Sn: 0,005 a 2,0%, Zn: 0,0005 a 0,5%, B: 0,0005 a 0,015%, Te: 0,0003 a 0,2%, Bi: 0,005 a 0,5%, e Pb: 0,005 a 0,5%.

[0013] O aço estrutural para máquinas pode também compreender, em % em massa, um ou dois elementos selecionados do grupo consistindo em Cr: 0,01 a 2,0% e Mo: 0,01 a 1,0%.

[0014] O aço estrutural para máquinas pode também compreender, em % em massa, um ou dois elementos selecionados do grupo consistindo em Ni: 0,05 a 2,0% e Cu: 0,01 a 2,0%.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

[0015] A figura 1 é um diagrama mostrando uma região da qual foi cortada um corpo de prova para um teste de impacto Charpy.

DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO

[0016] Configurações preferidas da presente invenção são explicadas em detalhes a seguir. O aço estrutural para máquinas, excelente em capacidade de usinagem e propriedades de resistência conforme a presente invenção alcança o objetivo precedente pelo fornecimento de um aço estrutural para máquinas onde o N soluto agindo para degradar a capacidade de usinagem e as propriedades de impacto é minimizado ajustando-se as quantidades adicionadas de N e dos elementos formadores de nitreto tais como Al, onde o desempenho de corte efetivo é estabelecida em relação a uma ampla faixa de velocidade de corte se estendendo da baixa até a alta velocidade pela garantia da pre-

sença de quantidades adequadas de Al soluto servindo para melhorar a propriedade de fragilização a alta temperatura e a capacidade de usinagem, e o Sb servindo para produzir um efeito de fragilização da matriz, e formar uma estrutura cristalina apresentando um efeito de fragilização a alta temperatura e segmentação, garantindo assim uma quantidade adequada de AlN servindo para melhorar a capacidade de usinagem, e onde altas propriedades de impacto são também realizadas pelo aumento da adição de Al de forma que na etapa de placa a segregação seja tornada menor e um MnS de capacidade de dispersão altamente uniforme (MnS tipo III pela análise SIMS) é tornado mais abundante que no aço convencional acalmado ao Al. Além disso, o aço também alcança uma alta razão de elasticidade devido à fina precipitação de AlN e à presença de Al soluto.

[0017] Especificamente, o aço estrutural para máquinas conforme a presente invenção compreende, em % em massa, C: 0,1 a 0,85%, Si: 0,01 a 1,5%, Mn: 0,05 a 2,0%, P: 0,005 a 0,2%, S: 0,001 a 0,15%, Al total: maior que 0,05% e não maior que 0,3%, Sb: menos que 0,0150% (incluindo 0%), e N total: 0,0035 a 0,020%, N soluto sendo limitado a 0,0020% ou menos, e um saldo de Fe e as inevitáveis impurezas.

[0018] Os elementos individuais constituintes do aço estrutural para máquinas da presente invenção e os seus teores serão inicialmente explicados. Na explicação a seguir, a composição da porcentagem em massa dos componentes do aço é denotada simplesmente pelo símbolo %.

[0019] C: 0,1 a 0,85%

[0020] O C tem um efeito principal na resistência fundamental do aço. Quando o teor de C é menor que 0,1%, uma resistência adequada não pode ser alcançada, de forma que grandes quantidade de outros elementos de ligação devem ser incorporadas. Quando o teor de

C excede 0,85%, a capacidade de usinagem cai notavelmente porque a concentração de carbono torna-se quase hipereutectóide para produzir uma pesada precipitação de carbonetos duros. Para alcançar uma resistência suficiente, a presente invenção, portanto, define o teor de C como 0,1 a 0,85%. O limite inferior preferido do teor de C é 0,2%.

[0021] Si: 0,01 a 1,5%

[0022] O Si é geralmente adicionado como elemento desoxidante, mas também contribui para o reforço da ferrita e na resistência revenido-amolecimento. Quando o teor de Si é menor que 0,01%, o efeito desoxidante é insuficiente. Por outro lado, um teor de Si acima de 1,5% degrada a fragilização do aço e outras propriedades e também prejudica a capacidade de usinagem. O teor de Si é, portanto, definido como 0,01 a 1,5%. O limite superior preferido do teor de Si é 1,0%.

[0023] Mn: 0,05 a 2,0%

[0024] O Mn é necessário pela sua capacidade de fixar e dispersar o enxofre (S) no aço na forma de MnS e também por se dissolver na matriz, para melhorar a capacidade de endurecimento e garantir uma boa capacidade de usinagem após o resfriamento. Quando o teor de Mn é menor que 0,05%, o aço é fragilizado porque o S combina com o Fe para formar FeS. Quando o teor de Mn é alto, especificamente quando excede 2,0%, a dureza do metal base aumenta para degradar a capacidade de trabalho a frio, enquanto seu efeito de melhorar a resistência e a capacidade de endurecimento satura. O teor de Mn é, portanto, definido como 0,05 a 2,0%.

[0025] P: 0,005 a 0,2%

[0026] O P tem um efeito favorável na capacidade de usinagem, mas o efeito não é obtido a um teor de P de menos de 0,005%. Quando o teor de P é alto, especificamente quando ele excede 0,2%, a dureza do metal base aumenta para degradar não apenas a capacidade de trabalho a frio, mas também a capacidade de trabalho a quente e

as propriedades de moldagem. O teor de P é, portanto, definido como 0,005 a 0,2%,

[0027] S: 0,001 a 0,15%

[0028] O S combina com o Mn para produzir MnS que está presente no aço na forma de inclusões. O MnS melhora a capacidade de usinagem, mas o S deve ser adicionado a um teor de 0,001% ou maior para alcançar esse efeito em um grau substancial. Quando o teor de S excede 0,15%, o valor de impacto do aço cai notavelmente, no caso de adição de S para melhorar a capacidade de usinagem, portanto, o teor de S é feito 0,001 a 0,15%.

[0029] Al Total: maior que 0,05% e não maior que 0,3%

[0030] O Al não apenas forma óxidos, mas também promove a precipitação de AlN, que contribui para controlar o tamanho de grão e a capacidade de usinagem, e também melhora a capacidade de usinagem ao passar na solução sólida. O Al deve ser adicionado até um teor maior que 0,05% para formar Al soluto na quantidade suficiente para aumentar a capacidade de usinagem. O Al também afeta a forma dos grãos/precipitação de MnS. Além disso, quando o Al é adicionado em um quantidade excedendo 0,05%, a segregação no estágio de placa pode ser tornada menor e o MnS de capacidade de dispersão altamente uniforme (MnS tipo II pela análise SIMS) ser tornado mais abundante que em um aço convencional acalmado ao Al. Isto torna possível obter-se um aço estrutural para máquinas tendo também altas propriedades de impacto e também alcançar uma alta razão de elasticidade devido à precipitação fina de AlN e à presença de Al soluto. Entretanto, a capacidade de usinagem começa a declinar quando o teor de Al total excede 0,3%. O teor de Al total é, portanto, definido como maior que 0,05% e não maior que 0,3%. O limite inferior do teor de Al total é preferivelmente 0,08% e mais preferivelmente 0,1%.

[0031] Sb: menos de 0,0150% (incluindo 0%)

[0032] O Sb melhora a capacidade de usinagem ao fragilizar adequadamente a ferrita. Esse efeito do Sb é particularmente pronunciado quando o teor de Al soluto é alto, mas não é observado quando o teor de Sb é menor que 0,0005%. Quando o teor de Sb é alto, especificamente quando ele atinge 0,0150% ou mais, a macro segregação do Sv torna-se excessiva, de forma que o valor de impacto do aço declina notavelmente. O teor de Sb é, portanto, definido como 0,0005% ou maior e menor que 0,0150%. Quando não for necessária uma alta capacidade de usinagem ou o Al total for maior que 0,1%, a adição de Sb pode ser omitida (teor de Sb de 0%).

[0033] N total: 0,0035 a 0,020%

[0034] O N, que está presente não apenas como N soluto, mas também em nitretos de Ti, Al, V e similares, suprime o crescimento do grão de austenita. Entretanto, nenhum efeito substancial é obtido com um teor de N total de menos de 0,0035%. Quando o teor de N total excede 0,020%, leva à ocorrência de marcas de cilindro durante a laminação. O teor de N total é, portanto, definido como 0,0035 a 0,020%.

[0035] N soluto: 0,0020% ou menos

[0036] O N soluto endurece o aço. Uma preocupação particular é que ele encurta a vida útil da ferramenta de corte ao fazer o aço próximo à borda de corte endurecer sob ação de pressão dinâmica. Ele também provoca a ocorrência de marcas de cilindro durante a laminação. Um alto teor de N soluto, especificamente um teor acima de 0,0020%, agrava o desgaste da ferramenta durante o corte porque a resistência ao corte aumenta devido à dureza local aumentada. O teor de N soluto é, portanto, mantido em 0,0020% ou menos. Isto ajuda a reduzir o desgaste da ferramenta. Além disso, um alto teor de N soluto também degrada as propriedades de impacto ao provocar a fragilização da matriz, mas tal fragilização da matriz pode também ser mitigada

pela manutenção do teor de N soluto em 0,0020% ou menos. O teor de N soluto conforme designado aqui significa o valor obtido subtraindo-se o teor de N de AlN, NbN, TiN, VN e outros nitretos do teor de N total. Ele pode ser calculado, por exemplo, de acordo com a equação (1) mostrada abaixo, usando-se o teor de N total determinado pelo método de condutividade térmica de fusão do gás inerte e o teor de N dos nitretos determinado pela análise SPEED (Causticação Potenciostática Seletiva por Dissolução Eletrolítica) e análise a absorvência de indofenol do resíduo extraído eletroliticamente usando-se um filtro de 0,1 µm.

$$(\text{Teor de N soluto}) = (\text{Teor de N total}) - (\text{Teor de N nos nitretos}) \dots (1)$$

[0037] O teor de N soluto pode ser reduzido pelos métodos explicados abaixo:

1) Manter o teor de N total em um baixo nível dentro da faixa definida pela presente invenção. Embora o N total seja definido como 0,020% ou menos, ele é preferivelmente mantido em 0,01% ou menos, mais preferivelmente em 0,006% ou menos.

2) Quando o teor de N total é alto, é de grande ajuda aumentar-se a quantidade de compostos de N pela adição de quantidades adequadas de Al, um elemento formador de nitretos, bem como de outros elementos formadores de nitretos.

3) A redução do N soluto pela precipitação fina de nitretos é preferível em um aço estrutural para máquinas do ponto de vista de inibir o embrutecimento do grão. Levando em conta que a redução do teor de N soluto pela precipitação fina de nitretos requer a manutenção a uma alta temperatura permitindo um tratamento da solução mais completa no N e no teor de elementos formadores de nitretos, um tratamento térmico da solução é conduzido a uma temperatura de 1100 °C ou maior, preferivelmente 1200 °C ou maior, e mais preferivelmente 1250 °C ou maior, após o que a precipitação é executada pela condução de um tratamento térmico tal como normalização ou

carburação. É de particular nota que no caso do AlN, o N soluto pode ser reduzido utilizando-se uma retenção prolongada próximo de 850 °C para aumentar a precipitação. Por "prolongado" aqui entende-se 0,8 hr ou mais, preferivelmente 1 hr ou mais e mais preferivelmente 1.2 hr ou mais.

[0038] O aço estrutural para máquinas da presente invenção pode conter Ca em adição aos componentes precedentes.

[0039] Ca: 0,0003 a 0,0015%

[0040] O Ca é um elemento desoxidante que forma óxidos no aço. No aço estrutural para máquinas da presente invenção, que tem um teor de Al total maior que 0,05% e não maior que 0,3%, o Ca forma aluminato de cálcio (CaOAl_2O_3). Como o CaOAl_2O_3 é um óxido tendo um ponto de fusão menor que o Al_2O_3 , ele melhora a capacidade de usinagem ao constituir uma película protetora da ferramenta durante o corte a alta velocidade. Entretanto, esse efeito de melhoria da capacidade de usinagem não é observado quando o teor de Ca é menor que 0,0003%. Quando o teor de Ca excede 0,0015%, o CaS se forma no aço, de forma que a capacidade de usinagem é, ao invés, degradada. Portanto, quando o Ca é adicionado, seu teor é definido como 0,0003 a 0,0015%.

[0041] Quando é preciso dar ao aço estrutural para máquinas da presente invenção uma alta resistência pela formação de carbonetos, pode ser incluído em adição aos componentes precedentes um ou mais elementos selecionados do grupo consistindo em Ti: 0,001 a 0,1%, Nb: 0,005 a 0,2%, W: 0,01 a 1,0%, e V: 0,01 a 1,0%.

[0042] Ti: 0,001 a 0,1%

[0043] O Ti forma carbonitretos que inibem o crescimento do grão e contribuem para o fortalecimento. Ele é usado como elemento de controle do tamanho do grão para evitar o embrutecimento do grão em aços que requeiram alta resistência e aços que requeiram baixa distor-

ção. O Ti é também um elemento desoxidante que melhora a capacidade de usinagem pela formação de óxidos frágeis. Entretanto, esses efeitos do Ti não são observados a um teor de menos de 0,001%, e quando o teor excede 0,1%, o Ti tem o efeito contrário de degradar as propriedades mecânicas por causar precipitação de carbonitretos brutos insolúveis que provocam fraturas a quente. Portanto, quando o Ti é adicionado, seu teor é definido como 0,001 a 0,1%.

[0044] Nb: 0,005 a 0,2%

[0045] O Nb também forma carbonitretos. Como tal, ele é um elemento que contribui para a resistência do aço através do endurecimento de precipitação secundária e para a inibição do crescimento do grão de austenita e para o fortalecimento. O Ti é, portanto, usado como um elemento de controle do tamanho de grão para evitar o embrutecimento do grão em aços requerendo alta resistência e aços requerendo baixa distorção. Entretanto, nenhum efeito de transmissão de alta resistência é observado a um teor de Nb de menos de 0,005%, e quando o Nb é adicionado a um teor excedendo 0,2%, ele tem o efeito contrário de degradação das propriedades mecânicas pela provocação da precipitação de carbonitretos brutos insolúveis que provocam fraturas a quente. Portanto, quando Nb é adicionado, seu teor é definido como 0,005 a 0,2%.

[0046] W: 0,01 a 1,0%

[0047] W é também um elemento que forma carbonitretos e pode fortalecer o aço através de endurecimento por precipitação secundária. Entretanto, nenhum efeito transmissor de alta resistência é observado quando o teor de W é menor que 0,01%. A adição de W acima de 1,0% tem o efeito contrário de degradar as propriedades mecânicas ao provocar a precipitação de carbonitretos brutos insolúveis que provocam fraturas a quente. Portanto, quando W é adicionado, seu teor é definido como 0,01 a 1,0%.

[0048] V: 0,01 a 1,0%.

[0049] V é também um elemento que forma carbonitretos e pode fortalecer o aço através de endurecimento por precipitação secundária. É adequadamente adicionado a aços que requeiram alta resistência. Entretanto, nenhum efeito transmitindo alta resistência é observado quando o teor de V é menor que 0,01. A adição de V acima de 1,0% tem o efeito contrário de degradar as propriedades mecânicas ao causar a precipitação de carbonetos brutos insolúveis que provocam fraturas a quente. Portanto, quando o V é adicionado, seu teor é definido como 0,01 a 1,0%.

[0050] Quando o aço estrutural para máquinas da presente invenção é submetido ao controle da desoxidação para controlar a morfologia do sulfeto, ele pode compreender em adição aos componentes precedentes um ou mais elementos selecionados do grupo consistindo em Mg: 0,0001 a 0,0040%, Zr: 0,0003 a 0,01%, e REMs: 0,0001 a 0,015%.

[0051] Mg: 0,0001 a 0,0040%

[0052] O Mg é um elemento desoxidante que forma óxidos no aço. Quando a desoxidação pelo Al é adotada, o Mg reforma o Al_2O_3 , e dispersa finamente MgO e Al_2O_3 -Mg. Além disso, seu óxido age prontamente como núcleo e precipitação do MnS e assim trabalha para dispersar finamente o MnS. Entretanto, esses efeitos não são observados a um teor de Mg de menos de 0,0001%. Além disso, enquanto o Mg age para tornar o MnS esférico pela formação de um complexo sulfeto metálico, uma adição excessiva de Mg, especificamente uma adição até um teor de mais de 0,0040%, degrada a capacidade de usinagem ao promover a formação de MgS simples. Portanto, quando o Mg é adicionado, seu teor é definido como 0,0001 a 0,0040%.

[0053] Zr: 0,0003 a 0,01%.

[0054] O Zr é um elemento desoxidante que forma um óxido no

ço. O óxido é considerado como sendo ZrO_2 , que age como um núcleo de precipitação para MnS. Uma vez que a adição de Zr, portanto, aumenta o número de locais de precipitação de MnS, ele tem o efeito de dispersar uniformemente o MnS. Além disso, o Zr se dissolve no MnS para formar um complexo sulfeto metálico, diminuindo assim a deformação de MnS e, portanto, também trabalha para inibir o alongamento do grão de MnS durante a laminação e do forjamento a quente. Dessa forma, o Zr reduz efetivamente a anisotropia. Mas nenhum efeito substancial a esse respeito é observado 0,0003%. Por outro lado, a adição de Zr acima de 0,01% degrada radicalmente o rendimento. Além disso, por provocar a formação de grandes quantidades de ZrO_2 , ZrS e outros compostos duros, ele tem o efeito contrário de degradar as propriedades mecânicas tais como a capacidade de usinagem, valor de impacto, propriedades de fadiga e similares. Portanto, quando o Zr é adicionado, seu teor é definido como 0,0003 a 0,01%.

[0055] REMs: 0,0001 to 0,015%

[0056] Os REMs (metais terras raras) são elementos desoxidantes que formam óxidos de baixo ponto de fusão que ajudam a evitar o entupimento dos bocais durante o lingotamento e também dissolve no MnS ou combina com ele para diminuir a deformação de MnS, agindo assim para inibir o alongamento da forma do MnS durante a laminação e forjamento a quente. As REMs servem assim para reduzir a anisotropia. Entretanto, esse efeito não aparece em um teor de REM de menos de 0,0001%. Quando o teor excede 0,015%, a capacidade de usinagem é degradada devido à formação de grandes quantidades de sulfetos de REM. Portanto, quando as REMs são adicionadas, seu teor é definido como 0,0001 a 0,015%.

[0057] Quando o aço estrutural para máquinas da presente invenção deve ser melhorado quando à capacidade de usinagem, ele pode incluir em adição aos componentes precedentes um ou mais elemen-

tos selecionados do grupo consistindo em Sn: 0,005 a 2,0%, Zn: 0,0005 a 0,5%, B: 0,0005 a 0,015%, Te: 0,0003 a 0,2%, Bi: 0,005 a 0,5%, e Pb: 0,005 a 0,5%.

[0058] Sn: 0,005 a 2,0%

[0059] O Sn prolonga a vida da ferramenta pela fragilização da ferrita e também melhora a rugosidade da superfície. Esses efeitos não são observados quando o teor de Sn é menor que 0,005%, e os efeitos saturam quando o Sn é adicionado acima de 2,0%. Portanto, quando o Sn é adicionado, seu teor é definido como 0,005 a 2,0%.

[0060] Zn: 0,0005 a 0,5%

[0061] O Zn prolonga a vida da ferramenta pela fragilização da ferrita e também melhora a rugosidade da superfície. Esses efeitos não são observados quando o teor de Zn for menor que 0,0005%, e os efeitos saturam quando o Zn é adicionado acima de 0,5%. Portanto, quando o Zn é adicionado, seu teor é definido como 0,0005 a 0,5%.

[0062] B: 0,0005 a 0,015%

[0063] O B, quando em solução sólida, tem um efeito favorável na resistência nos limites dos grãos e na capacidade de endurecimento. Quando ele precipita, ele o faz como BN e, portanto, ajuda a melhorar a capacidade de usinagem. Esses efeitos não são notáveis a um teor de B de menos de 0,0005%. Quando o B é adicionado a um teor maior que 0,015%, os efeitos saturam e as propriedades mecânicas são, ao contrário, degradadas, devido à precipitação excessiva de BN. Portanto, quando o B é adicionado, seu teor é definido como 0,0005 a 0,015%.

[0064] Te: 0,0003 a 0,2%

[0065] O Te melhora a capacidade de usinagem. Ele também forma MnTe e, quando copresente com MnS, reduz a deformação do MnS, agindo assim para inibir o alongamento da forma do MnS. O Te é assim um elemento eficaz para reduzir a anisotropia. Esses efeitos não

são observados quando o teor de Te é menor que 0,0003%, e quando o seu teor excede 0,2%, os efeitos saturam e a ductilidade na laminação a quente diminui, aumentando a possibilidade de falhas. Portanto, quando o Te é adicionado, seu teor é definido como: 0,0003 a 0,2%.

[0066] Bi: 0,005 a 0,5%

[0067] O Bi melhora a capacidade de usinagem. Esse efeito não é observado quando o teor de Bi é menor que 0,005%. Quando ele excede 0,5%, a melhoria da capacidade de usinagem satura, e a ductilidade na laminação a quente declina, aumentando a possibilidade de falhas. Portanto, quando o Bi é adicionado, seu teor é definido como 0,005 a 0,5%.

[0068] Pb: 0,005 a 0,5%

[0069] O Pb melhora a capacidade de usinagem. Esse efeito não é observado quando o teor de Pb é menor que 0,005%. Quando ele excede 0,5%, a melhoria da capacidade de usinagem satura e a ductilidade na laminação a quente declina, aumentando a possibilidade de falhas. Portanto, quando o Pb é adicionado, seu teor é definido como 0,005 a 0,5%.

[0070] Quando resistência deve ser transmitida ao aço estrutural para máquinas da presente invenção pela melhoria de sua capacidade de endurecimento e/ou resistência ao revenido/amolecimento, podem ser incluídos em adição aos componentes precedentes um ou dois elementos selecionados do grupo consistindo de Cr: 0,01 a 2,0% e Mo: 0,01 a 1,0%.

[0071] Cr: 0,01 a 2,0%

[0072] O Cr melhora a capacidade de endurecimento e também transmite resistência ao revenido/amolecimento. Ele é, portanto, adicionado a um aço que necessite alta resistência. Esses efeitos não são obtidos a um teor de Cr de menos que 0,01%. Quando o teor de Cr é alto, especificamente quando ele excede 2,0%, o aço é fragilizado de-

vido à formação de carbonetos de Cr. Portanto, quando o Cr é adicionado, seu teor é definido como 0,01 a 2,0%.

[0073] Mo: 0,01 a 1,0%

[0074] O Mo transmite resistência ao revenido/amolecimento e também melhora a capacidade de endurecimento. Ele é, portanto, adicionado a um aço que necessite alta resistência. Esses efeitos não são obtidos a um teor de Mo de menos de 0,01%. Quando o Mo é adicionado acima de 1,0%, seus efeitos saturam. Portanto, quando o Mo é adicionado, seu teor é definido como 0,01 a 1,0%.

[0075] Quando o aço estrutural para máquinas da presente invenção deve ser submetido ao reforço de ferrita, ele pode incluir em adição aos componentes precedentes um ou dois elementos selecionados do grupo consistindo em Ni: 0,05 a 2,0% e Cu: 0,01 a 2,0%.

[0076] Ni: 0,05 a 2,0%

[0077] O Ni reforça a ferrita, melhorando, portanto, a ductilidade, e é também eficaz para melhoria da capacidade de endurecimento e melhoria anticorrosão. Esses efeitos não são observados com um teor de Ni de menos de 0,05%. Quando o Ni é adicionado acima de 2,0%, o efeito de melhoria das propriedades mecânicas satura e a capacidade de usinagem é degradada. Portanto, quando o Ni é adicionado, seu teor é definido como 0,05 a 2,0%.

[0078] Cu: 0,01 a 2,0%

[0079] O Cu reforça a ferrita e é também eficaz para melhoria da capacidade de endurecimento e melhoria anticorrosão. Esses efeitos não são observados a um teor de Cu de menos de 0,01%. Quando o Cu é adicionado acima de 2,0%, o efeito de melhoria das propriedades mecânicas satura. Portanto, quando o Cu é adicionado, seu teor é definido como 0,01 a 2,0%. Uma preocupação particular em relação ao Cu é que seu efeito de diminuir a capacidade de laminação a quente pode levar à ocorrência de falhas durante a laminação. O Cu é, portan-

to, preferivelmente adicionado simultaneamente com o Ni.

[0080] Conforme explicado acima, o aço estrutural para máquinas da presente invenção é minimizado em teor de N soluto e, portanto, alcança melhores capacidade de usinagem e propriedades de impacto que os aços estruturais convencionais para máquinas. Além disso, os teores totais de Al e de Sb são controlados para níveis adequados para garantir a presença de quantidades adequadas de Al soluto, Sb e AlN servindo para melhorar a capacidade de usinagem, estabelecendo assim um desempenho de corte eficaz em relação a uma ampla faixa de velocidades de corte se estendendo de baixa a alta velocidade. O aço também alcança uma alta razão de elasticidade devido à precipitação fina de AlN e à presença de Al soluto. Em adição, excelentes propriedades de impacto são realizadas pelo controle adequado dos teores de elementos que afetam a precipitação de MnS de modo a obter uma abundância de MnS com uma capacidade de dispersão altamente uniforme.

[0081] O aço estrutural para máquinas excelente em capacidade de usinagem e propriedades de resistência conforme a presente invenção pode ser produzido pelo forjamento a quente de um tarugo tendo a composição de aço anteriormente mencionada em uma barra a uma temperatura de 1200°C ou maior, submetendo a barra ao tratamento térmico em solução a uma temperatura de 1100 °C ou maior, e então a um tratamento térmico tal como normalização ou carburação. Deve ser particularmente notado que no caso de um aço contendo o carboneto AlN, um aço estrutural para máquinas notavelmente reduzido em N soluto pode ser obtido pela retenção prolongada após o tratamento térmico em solução a 1100 °C ou maior por 0,8 h ou mais, preferivelmente 1 h ou mais, e mais preferivelmente 1,2 h ou mais.

EXEMPLOS

PRIMEIRO CONJUNTO DE EXEMPLOS

[0082] Os efeitos da presente invenção serão agora explicados especificamente através de Exemplos e Exemplos Comparativos. Nesse conjunto de Exemplos, os aços das composições mostradas na Tabela 1 e na Tabela 2, 150 kg cada, foram produzidos em um forno a vácuo, forjados a quente sob uma condição de temperatura de 1250°C, e alongadas por forjamento e barras de 65 mm de diâmetro. As propriedades dos aços do Exemplo e do Exemplo Comparativo foram avaliados pela sujeição dos mesmos ao teste de capacidade de usinagem, teste de impacto Charpy e teste de tração pelos métodos especificados abaixo. Na Tabela 2, o sublinhado indica um valor fora da faixa da invenção.

TABELA 1

	Nº	Composição(% em massa)												
		C	Si	Mn	P	S	Cr	V	Sb	Ca	Al Total	N Total	N Soluto	Outro
Exemplos da Invenção	1	0,42	0,19	0,80	0,014	0,022	-	-	0,0100	0,0012	0,110	0,0052	0,0012	
	2	0,40	0,25	0,76	0,012	0,034	-	-	0,0089	0,0008	0,051	0,0060	0,0013	
	3	0,41	0,24	0,76	0,013	0,038	-	0,1	0,0086	-	0,051	0,0060	0,0013	
	4	0,40	0,23	0,78	0,015	0,038	-	-	0,0067	-	0,052	0,0045	0,0014	
	5	0,43	0,23	0,75	0,011	0,022	-	-	0,0087	-	0,060	0,0049	0,0012	Mg:0,0020
	6	0,43	0,20	0,77	0,013	0,039	-	-	0,0074	-	0,051	0,0065	0,0013	Ti:0,04
	7	0,44	0,20	0,78	0,012	0,040	-	-	0,0068	-	0,052	0,0075	0,0016	Nb:0,02
	8	0,41	0,21	0,77	0,011	0,047	-	-	0,0083	-	0,090	0,0058	0,0014	W:0,2
	9	0,45	0,22	0,79	0,012	0,045	-	-	0,0058	-	0,080	0,0055	0,0013	Ni:0,2
	10	0,43	0,23	0,71	0,011	0,051	-	-	0,0071	-	0,110	0,0045	0,0017	Cu:0,5
	11	0,44	0,22	0,72	0,014	0,041	-	-	0,0087	-	0,053	0,0052	0,0010	Sn:0,05
	12	0,45	0,20	0,74	0,010	0,033	-	-	0,0069	-	0,070	0,0051	0,0014	Zn:0,007
	13	0,43	0,24	0,76	0,015	0,041	-	-	0,0077	-	0,090	0,0053	0,0019	B:0,002
	14	0,45	0,22	0,71	0,011	0,043	-	-	0,0073	-	0,080	0,0046	0,0015	Te:0,002
	15	0,43	0,19	0,74	0,011	0,051	1,0	-	0,0051	-	0,090	0,0047	0,0016	

CONTINUAÇÃO...

	Nº	Composição(% em massa)												
		C	Si	Mn	P	S	Cr	V	Sb	Ca	Al Total	N Total	N Soluto	Outro
Exemplos da Invenção	16	0,44	0,21	0,72	0,013	0,023	0,1	-	0,0085	-	0,070	0,0048	0,0013	
	17	0,42	0,21	0,73	0,012	0,048	-	-	0,0088	-	0,110	0,0071	0,0010	Ti:0,03, Mg:0,0025
	18	0,41	0,20	0,72	0,012	0,035	-	-	0,0059	-	0,090	0,0075	0,0011	Ti:0,04, Zn:0,004
	19	0,42	0,24	0,74	0,013	0,040	1,0	-	0,0083	-	0,060	0,0071	0,0012	Ti:0,03
	20	0,44	0,23	0,75	0,010	0,034	-	-	0,0089	-	0,110	0,0077	0,0015	Ti:0,03, Cu:0,3
	21	0,40	0,20	0,71	0,010	0,037	-	-	0,0074	-	0,110	0,0054	0,0010	Ti:0,02, Mg:0,0025, Sn:0,04
	22	0,42	0,21	0,73	0,012	0,053	1,1	-	0,0098	-	0,110	0,0074	0,0019	Ti:0,03, Mg:0,0025
	23	0,43	0,21	0,77	0,014	0,052	-	-	0,0071	-	0,070	0,0062	0,0019	Ti:0,03, Mg:0,0025, Cu:0,4

CONTINUAÇÃO...

	Nº	Composição(% em massa)												
		C	Si	Mn	P	S	Cr	V	Sb	Ca	Al Total	N Total	N Soluto	Outro
	24	0,41	0,19	0,74	0,013	0,054	1,0	-	0,0076	-	0,100	0,0061	0,0015	Ti:0,02, Mg:0,0025, Sn:0,04
	25	0,43	0,23	0,71	0,014	0,021	-	-	0,0058	-	0,060	0,0060	0,0012	Ti:0,03, Mg:0,0025, Sn:0,04, Cu:0,3
	26	0,43	0,25	0,76	0,013	0,024	1,0	-	0,0085	-	0,070	0,0074	0,0010	Ti:0,03, Mg:0,0025, Cu:0,4
	27	0,45	0,23	0,72	0,015	0,034	1,0	-	0,0086	-	0,100	0,0055	0,0012	Ti:0,03, Sn:0,04
	28	0,41	0,19	0,78	0,011	0,025	-	-	0,0087	-	0,080	0,0061	0,0016	Ti:0,03, Sn:0,04, Cu:0,3

CONTINUAÇÃO...

	Nº	Composição(% em massa)												
		C	Si	Mn	P	S	Cr	V	Sb	Ca	Al Total	N Total	N Soluto	Outro
	29	0,41	0,21	0,70	0,015	0,025	0,9	-	0,0057	-	0,051	0,0062	0,0017	Ti:0,04, Sn:0,04, Cu:0,3
	30	0,44	0,23	0,71	0,012	0,036	1,0	-	0,0052	-	0,060	6,0056	0,0012	Ti:0,03, Cu:0,3

TABELA 2

	Nº	Composição (% em massa)												
		C	Si	Mn	P	S	Cr	V	Sb	Ca	Al Total	N Total	N Soluto	Outro
Exemplos	31	0,44	0,20	0,77	0,014	0,055	-	-	0,0081	-	0,110	0,0047	0,0010	Mg:0,0025, Zn:0,003
	32	0,45	0,21	0,79	0,011	0,029	1,0	-	0,0099	-	0,060	0,0049	0,0013	Mg:0,0019, Zn:0,003
	33	0,43	0,21	0,74	0,010	0,038	-	-	0,0078	-	0,110	0,0048	0,0014	Mg:0,0022, Ca:0,3
	34	0,42	0,25	0,77	0,011	0,036	1,0	-	0,0087	-	0,090	0,0046	0,0014	Mg:0,0020, Sn:0,04
	35	0,44	0,25	0,78	0,015	0,055	-	-	0,0079	-	0,100	0,0050	0,0018	Mg:0,0025, Sn:0,04, Cu:0,1
	36	0,42	0,19	0,74	0,013	0,022	1,0	-	0,0062	-	0,052	0,0047	0,0019	Mg:0,0021, Sn:0,02, Cu:0,1
	37	0,41	0,19	0,77	0,010	0,025	1,1	-	0,0050	-	0,110	0,0049	0,0019	Mg:0,0029, Cu:0,1
	38	0,43	0,20	0,79	0,011	0,020	1,0	-	0,0060	-	0,060	0,0049	0,0010	Sn:0,04
	39	0,42	0,23	0,80	0,015	0,048	-	-	0,0086	-	0,070	0,0046	0,0016	Sn:0,03, Cu:0,1
	40	0,41	0,19	0,78	0,010	0,042	1,0	-	0,0069	-	0,100	0,0046	0,0009	Sn:0,04, Cu:0,1
	41	0,43	0,21	0,79	0,010	0,035	0,9	-	0,0080	-	0,080	0,0046	0,0014	Cu:0,2
	42	0,44	0,19	0,77	0,013	0,042	-	-	0,0087	-	0,060	0,0055	0,0014	Nb:0,01, Mg:0,0026, Sn:0,04, Ca:0,3

CONTINUAÇÃO...

	Nº	Composição (% em massa)												
		C	Si	Mn	P	S	Cr	V	Sb	Ca	Al Total	N Total	N Soluto	Outro
Exemplos Comparativos	43	0,45	0,24	0,78	0,010	0,025	-	-	0,0069	-	<u>0,025</u>	0,0052	0,0018	
	44	0,43	0,25	0,76	0,010	0,041	-	-	0,0092	-	<u>0,035</u>	0,0051	0,0019	
	45	0,41	0,24	0,73	0,011	0,035	-	-	0,0098	-	<u>0,040</u>	0,0053	0,0017	
	46	0,44	0,25	0,78	0,014	0,022	-	-	0,0059	-	<u>0,030</u>	0,0034	0,0019	
	47	0,41	0,24	0,72	0,011	0,051	-	-	0,0087	-	<u>0,003</u>	0,0049	<u>0,0034</u>	
	48	0,44	0,25	0,77	0,015	0,052	-	-	0,0062	-	<u>0,358</u>	0,0062	0,0011	
	49	0,41	0,21	0,72	0,013	0,021	-	-	0,0055	-	0,103	0,0058	<u>0,0025</u>	
	50	0,42	0,20	0,73	0,013	0,037	-	-	0,0077	-	0,153	0,0057	<u>0,0026</u>	
	51	0,44	0,24	0,79	0,013	0,038	-	-	<u>0,0157</u>	-	0,067	0,0054	0,0016	
	52	0,45	0,23	0,76	0,010	0,036	-	-	<u>0,0175</u>	-	0,103	0,0049	0,0010	
	53	0,44	0,19	0,73	0,014	0,044	-	-	<u>0,0211</u>	-	0,243	0,0046	0,0016	
	54	0,45	0,19	0,71	0,010	0,025	-	-	<u>0,0223</u>	-	0,060	0,0046	0,0009	

TESTE DE CAPACIDADE DE USINAGEM

[0083] O teste de capacidade de usinagem foi conduzido em relação aos aços dos Exemplos e dos Exemplos Comparativos que foram alongados por forjamento sob aquecimento a 1250°C e submetê-los inicialmente a um tratamento térmico consistindo em normalização sob condições de temperatura de 850 °C por 1 h, 0,5 hr no caso dos Exemplos Comparativos nº 49 e nº 50, seguido de resfriamento a ar. Um corpo de prova do teste de avaliação da capacidade de usinagem foi então cortado de cada aço termicamente tratado e a capacidade de usinagem dos aços dos Exemplo e dos Exemplos Comparativos foram avaliados conduzindo-se testes de perfuração com broca sob as condições de corte mostradas na Tabela 3 e testes de torneamento longitudinal sob as condições mostradas na Tabela 4. A velocidade máxima de corte VL1000 que permite o corte até uma profundidade cumulativa de furo de 1000 mm foi usada como índice de avaliação no teste de perfuração com broca, e a largura máxima VB_max de desgaste do flanco de relevo após 10 minutos foi usada como o índice de avaliação do teste de torneamento longitudinal.

TABELA 3

Condições de corte	Velocidade: 10 - 120 m/min
	Alimentação: 0,25 mm/rev
	Fluido de corte: Óleo de corte solúvel em água
Broca	Diâmetro da broca: 3 mm
	Broca comum NACHI
	Protuberância: 45 mm
Outra	Profundidade do furo: 9 mm
	Vida da ferramenta: até a quebra

TABELA 4

Condições de corte	Velocidade de corte: 250 m/min
	Alimentação: 0,3 mm/rev
	Profundidade do corte: 1,5 mm
	Corte a seco

Ferramenta	Fixador: PTGNR2525M16
	Forma da ferramenta: TNMG160408N-UZ
	Material: AC2000

TESTE DE IMPACTO CHARPY

[0084] A figura 1 é um diagrama mostrando uma região da qual foi cortado um corpo de prova para o teste de impacto Charpy. No teste de impacto Charpy, inicialmente, conforme mostrado na figura 1, um cilindro 2 medindo 25 mm de diâmetro foi cortado de um aço 1 tratado termicamente pelo mesmo método e sob as mesmas condições que o corpo de prova do anteriormente mencionado teste de capacidade de usinagem de forma que seu eixo fosse perpendicular à direção do forjamento de alongamento do aço 1. A seguir, o cilindro 2 foi mantido sob condições de temperatura de 850 °C por 1 h, 0,5 h no caso dos Exemplos Comparativos nº 49 e nº 50, e então resfriados a óleo pelo resfriamento até 60°C, e posteriormente submetido a um revenido com resfriamento a água no qual ele foi mantido sob condições de temperatura 550 °C por 30 minutos. A seguir, o cilindro 2 foi usinado para fabricar um corpo de prova do teste Charpy 3 em conformidade com a norma JIS Z 2202, que foi submetido a um teste de impacto Charpy à temperatura ambiente de acordo com o método prescrito pela norma JIS Z 2242. A energia absorvida por unidade de área (J/cm^2) foi adotada como índice de avaliação.

TESTE DE TRAÇÃO

[0085] Um cilindro 2 amostrado paralelamente à direção de alongamento por forjamento, foi resfriado a óleo e revenido pelos mesmos métodos e sob as mesmas condições que no teste de impacto Charpy anteriormente mencionado, posteriormente ele foi processado em um corpo de prova para um teste de tração medindo 8 mm no diâmetro da seção paralela e 30 mm no comprimento da seção paralela, e então testado quanto à tração à temperatura ambiente de acordo com o método prescrito pela norma JIS Z 2241. A a razão de elasticidade

= (0,2% do estresse de prova YP) / (limite de resistência à tração TS)
foi adotado como índice de avaliação.

[0086] Os resultados dos testes acima estão mostrados nas Tabelas 5 e 6.

TABELA 5

	Nº	VL1000 (m/min)	VB_max (µm)	Valor de im- pacto (J/cm ²)	YP / TS
Exemplos	1	87	118	27	0,85
	2	89	119	22	0,83
	3	85	124	20	0,89
	4	88	126	25	0,82
	5	85	125	20	0,84
	6	89	123	21	0,86
	7	89	128	22	0,83
	8	92	129	22	0,86
	9	89	126	20	0,86
	10	92	122	21	0,82
	11	91	121	21	0,83
	12	87	130	22	0,84
	13	90	127	22	0,82
	14	90	125	21	0,84
	15	90	125	24	0,86
	16	85	121	26	0,87
	17	93	128	24	0,86
	18	86	124	22	0,85
	19	90	128	25	0,86
	20	89	126	20	0,82
	21	89	121	24	0,84
	22	96	125	21	0,82
	23	93	129	22	0,83
	24	94	126	23	0,82
	25	82	126	26	0,82
	26	86	120	25	0,84

CONTINUAÇÃO...

	Nº	VL1000 (m/min)	VB_max (µm)	Valor de im- pacto (J/cm ²)	YP / TS
Exemplos	27	89	130	26	0,85
	28	86	127	20	0,86
	29	83	129	20	0,84
	30	86	122	24	0,86
	31	95	129	26	0,86
	32	89	130	22	0,83
	33	89	123	21	0,87
	34	90	126	24	0,85
	35	94	121	22	0,82
	36	83	127	20	0,85
	37	83	121	20	0,85
	38	82	127	30	0,83
	39	93	127	21	0,83
	40	90	124	27	0,86
	41	89	127	23	0,84
42	91	126	21	0,87	

TABELA 6

	Nº	VL1000 (m/min)	VB_max (µm)	Valor de im- pacto (J/cm ²)	YP / TS
Exemplos Comparativos	43	<u>54</u>	<u>149</u>	21	<u>0,68</u>
	44	<u>62</u>	<u>141</u>	24	<u>0,66</u>
	45	<u>60</u>	<u>142</u>	25	<u>0,67</u>
	46	<u>53</u>	<u>158</u>	22	<u>0,68</u>
	47	<u>64</u>	<u>178</u>	9	<u>0,65</u>
	48	<u>48</u>	<u>178</u>	22	0,82
	49	<u>62</u>	<u>149</u>	<u>16</u>	0,83

CONTINUAÇÃO...

	Nº	<u>VL1000</u> (m/min)	<u>VB_max</u> (μ m)	<u>Valor de im-</u> <u>pacto</u> (J/cm ²)	YP / TS
Exemplos Comparativos	50	<u>69</u>	<u>150</u>	<u>15</u>	0,85
	51	99	122	<u>14</u>	0,85
	52	98	124	<u>11</u>	0,87
	53	104	128	<u>12</u>	0,84
	54	100	128	<u>13</u>	0,85

[0087] Os aços nº 1 a nº 42 mostrados nas Tabelas 1, 2 e 5 são Exemplos da presente invenção e os aços nº 43 a nº 51 mostrados nas Tabelas 2 e 6 são aços dos Exemplos Comparativos. Conforme mostrado nas Tabelas 5 e 6, os aços dos Exemplos nº 1 a nº 42 apresentaram bons valores para todos os índices de avaliação, a saber, VL1000, VB_max, valor de impacto (energia absorvida), e YP / TS (a razão de elasticidade), mas os aços dos Exemplos Comparativos foram inferiores aos aços dos Exemplos em pelo menos uma das propriedades. Especificamente, os aços dos Exemplos Comparativos nº 43 a nº 46 tiveram teores de Al total abaixo da faixa da presente invenção e foram, portanto, inferiores aos aços dos Exemplos no índice de avaliação da capacidade de usinagem VL1000 e a razão de elasticidade (YP / TS). Além disso, o aço do exemplo Comparativo nº 47 teve um teor de Al total bem abaixo da faixa da presente invenção, de forma que seu teor de N soluto estava da faixa da presente invenção, e o aço era, portanto, inferior aos aços dos Exemplos em capacidade de usinagem (VL1000, VB_max), valor de impacto, e a razão de elasticidade (YP / TS).

[0088] O aço do Exemplo Comparativo nº 48 teve um teor de Al total acima da faixa da presente invenção, de forma que sua dureza aumentou, e o aço foi, portanto, inferior em capacidade de usinagem (VL1000, VB_max). Os aços dos Exemplos Comparativos nº 49 e nº

50 foram mantidos a 850 °C, à temperatura na qual o AIN se precipita prontamente, por um tempo de manutenção mais curto que nos aços dos Exemplos, de forma que seus teores de N soluto estivessem acima da faixa da presente invenção. E os aços foram, portanto, inferiores aos aços dos Exemplos em capacidade de usinagem (VL1000, VB_max) e valor de impacto. Os aços dos Exemplos Comparativos nº 51 a nº 54 tiveram teores de Sb acima da faixa da presente invenção e foram, portanto, inferiores aos aços dos Exemplos em valor de impacto.

SEGUNDO CONJUNTO DE EXEMPLOS

[0089] Nesse conjunto de Exemplos, aços das composições mostradas na Tabela 7 e na Tabela 8, 150 kg de cada, foram produzidos em um forno a vácuo, forjados a quente sob uma condição de temperatura de 1250 °C, e alongados por forjamento em barras de 65 mm de diâmetro. As propriedades dos aços dos Exemplos e dos Exemplos Comparativos foram avaliadas submetendo-se os mesmos a um teste de capacidade de usinagem, a um teste de impacto Charpy, e a um teste de tração pelos métodos estipulados abaixo. Nas Tabelas 7 e 8, o sublinhado indica um valor for a da faixa da invenção.

TABELA 7

	Nº	Composição (% em massa)										
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Ca	Al total	N total	N soluto	Outro
Exemplos	1	0,44	0,25	0,76	0,015	0,017	-	0,0000	0,121	0,0052	0,0012	
	2	0,44	0,26	0,76	0,015	0,012	-	0,0006	0,101	0,0052	0,0012	
	3	0,44	0,25	0,75	0,016	0,010	-	0,0008	0,250	0,0060	0,0013	
	4	0,44	0,25	0,76	0,015	0,008	-	0,0010	0,075	0,0045	0,0011	
	5	0,46	0,26	0,76	0,015	0,013	-	0,0006	0,099	0,0049	0,0012	Mg:0,0020
	6	0,44	0,24	0,74	0,015	0,011	-	0,0008	0,193	0,0065	0,0013	Ti:0,04
	7	0,45	0,25	0,74	0,015	0,013	-	0,0008	0,178	0,0075	0,0016	Nb:0,02
	8	0,44	0,24	0,74	0,015	0,011	-	0,0006	0,169	0,0058	0,0014	W:0,2
	9	0,45	0,24	0,74	0,016	0,010	-	0,0012	0,175	0,0055	0,0013	Ni:0,2
	10	0,46	0,26	0,76	0,015	0,014	-	0,0005	0,142	0,0045	0,0017	Cu:0,5
	11	0,44	0,26	0,75	0,015	0,015	-	0,0007	0,127	0,0052	0,0010	Sn:0,05
	12	0,44	0,25	0,76	0,015	0,011	-	0,0004	0,147	0,0051	0,0014	Zn:0,007
	13	0,45	0,24	0,76	0,014	0,011	-	0,0012	0,144	0,0053	0,0019	B:0,002
	14	0,45	0,26	0,75	0,015	0,011	-	0,0012	0,187	0,0046	0,0015	Te:0,002
	15	0,41	0,24	0,78	0,015	0,014	1,0	0,0010	0,108	0,0047	0,0016	

CONTINUAÇÃO...

	Nº	Composição (% em massa)										
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Ca	Al total	N total	N soluto	Outro
Exemplos	16	0,44	0,25	0,76	0,015	0,013	0,1	0,0012	0,112	0,0048	0,0013	
	17	0,44	0,24	0,74	0,015	0,010	-	0,0006	0,131	0,0071	0,0010	Ti:0,03, Mg:0,0025
	18	0,45	0,26	0,75	0,016	0,010	-	0,0009	0,109	0,0075	0,0010	Ti:0,04, Zn:0,004
	19	0,41	0,24	0,75	0,016	0,010	1,0	0,0008	0,168	0,0071	0,0012	Ti:0,03
	20	0,44	0,26	0,74	0,016	0,010	-	0,0011	0,113	0,0077	0,0015	Ti:0,03, Cu:0,3
	21	0,44	0,24	0,75	0,016	0,014	-	0,0008	0,104	0,0054	0,0010	Ti:0,02, Mg:0,0025, Sn:0,04
	22	0,41	0,25	0,75	0,015	0,010	1,1	0,0005	0,192	0,0074	0,0019	Ti:0,03, Mg:0,0025
	23	0,45	0,24	0,75	0,015	0,013	-	0,0009	0,119	0,0062	0,0019	Ti:0,03, Mg:0,0025, Cu:0,4

CONTINUAÇÃO...

	Nº	Composição (% em massa)										
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Ca	Al total	N total	N soluto	Outro
Exemplos	24	0,40	0,26	0,75	0,015	0,012	1,0	0,0005	0,198	0,0061	0,0015	Ti:0,02, Mg:0,0025, Sn:0,04
	25	0,44	0,26	0,75	0,014	0,015	-	0,0008	0,169	0,0060	0,0012	Ti:0,03, Mg:0,0025, Sn:0,04, Cu:0,3
	26	0,42	0,24	0,75	0,014	0,013	1,0	0,0011	0,116	0,0074	0,0010	Ti:0,03, Mg:0,0025, Cu:0,4
	27	0,41	0,24	0,74	0,015	0,014	1,0	0,0004	0,198	0,0055	0,0012	Ti:0,03, Sn:0,04
	28	0,46	0,25	0,75	0,015	0,010	-	0,0010	0,179	0,0061	0,0016	Ti:0,03, Sn:0,04, Cu:0,3

CONTINUAÇÃO...

	Nº	Composição (% em massa)										
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Ca	Al total	N total	N soluto	Outro
Exemplos	29	0,41	0,25	0,75	0,016	0,011	0,9	0,0008	0,156	0,0062	0,0017	Ti:0,04, Sn:0,04, Cu:0,3
	30	0,41	0,26	0,75	0,014	0,012	1,0	0,0009	0,137	0,0056	0,0012	Ti:0,03, Cu:0,3
	31	0,45	0,24	0,75	0,015	0,013	-	0,0013	0,109	0,0047	0,0010	Mg:0,0025, Zn:0,003
	32	0,41	0,25	0,76	0,016	0,015	1,0	0,0011	0,104	0,0049	0,0013	Mg:0,0019, Zn:0,003
	33	0,45	0,24	0,75	0,015	0,011	-	0,0013	0,109	0,0048	0,0014	Mg:0,0022, Cu:0,3
	34	0,40	0,25	0,75	0,016	0,015	1,0	0,0008	0,105	0,0046	0,0014	Mg:0,0020, Sn:0,04
	35	0,45	0,24	0,74	0,015	0,014	-	0,0009	0,110	0,0050	0,0018	Mg:0,0025, Sn:0,04, Cu:0,1

CONTINUAÇÃO...

	Nº	Composição (% em massa)										
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Ca	Al total	N total	N soluto	Outro
Exemplos	36	0,42	0,25	0,75	0,014	0,012	1,0	0,0012	0,107	0,0047	0,0019	Mg:0,0021, Sn:0,02, Cu:0,1
	37	0,41	0,24	0,75	0,015	0,014	1,1	0,0005	0,104	0,0049	0,0019	Mg:0,0029, Cu:0,1
	38	0,42	0,25	0,76	0,015	0,011	1,0	0,0009	0,102	0,0049	0,0010	Sn:0,04
	39	0,44	0,24	0,76	0,015	0,012	-	0,0010	0,110	0,0046	0,0016	Sn:0,03, Cu:0,1
	40	0,41	0,25	0,75	0,015	0,011	1,0	0,0009	0,108	0,0046	0,0009	Sn:0,04, Cu:0,1
	41	0,41	0,25	0,75	0,015	0,011	0,9	0,0003	0,102	0,0046	0,0014	Cu:0,2
	42	0,46	0,25	0,76	0,015	0,011	-	0,0003	0,102	0,0055	0,0014	Nb:0,01, Mg:0,0026, Sn:0,04, Cu:0,3

CONTINUAÇÃO...

	Nº	Composição (% em massa)										
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Ca	Al total	N total	N soluto	Outro
Exemplos Comparativos	43	0,44	0,24	0,76	0,014	0,011	-	0,0006	0,025	0,0052	0,0018	
	44	0,45	0,25	0,76	0,015	0,014	-	0,0006	0,035	0,0051	0,0019	
	45	0,45	0,24	0,75	0,015	0,014	-	0,0008	0,040	0,0053	0,0017	
	46	0,45	0,25	0,76	0,014	0,011	-	0,0010	0,030	0,0034	0,0019	
	47	0,46	0,25	0,74	0,016	0,011	-	0,0008	0,003	0,0043	0,0034	
	48	0,44	0,24	0,75	0,014	0,009	-	0,0007	0,103	0,0058	0,0025	

TABELA 8

	Nº	Composição (% em massa)										
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Ca	Al Total	N Total	N Soluto	Outro
Exemplos	52	0,45	0,26	0,75	0,016	0,025	-	0,0002	0,101	0,0052	0,0012	
	53	0,44	0,25	0,76	0,015	0,030	-	0,0000	0,250	0,0060	0,0013	
	54	0,45	0,25	0,74	0,015	0,042	-	0,0001	0,123	0,0048	0,0012	
	55	0,45	0,24	0,75	0,015	0,090	-	0,0002	0,106	0,0049	0,0013	
	56	0,45	0,24	0,75	0,014	0,042	-	0,0001	0,102	0,0052	0,0011	Mg:0,0020
	57	0,45	0,24	0,74	0,015	0,042	-	0,0001	0,190	0,0065	0,0016	Ti:0,04
	58	0,46	0,25	0,76	0,016	0,047	-	0,0001	0,154	0,0075	0,0012	Nb:0,02
	59	0,45	0,25	0,74	0,015	0,044	-	0,0001	0,129	0,0058	0,0017	W:0,2
	60	0,44	0,25	0,76	0,015	0,044	-	0,0001	0,109	0,0055	0,0015	Ni:0,2
	61	0,45	0,26	0,74	0,016	0,041	-	0,0001	0,148	0,0045	0,0015	Cu:0,5
	62	0,46	0,25	0,75	0,016	0,047	-	0,0000	0,111	0,0052	0,0013	Sn:0,03
	63	0,46	0,25	0,75	0,015	0,051	-	0,0001	0,188	0,0051	0,0012	Zn:0,007
	64	0,45	0,24	0,76	0,015	0,073	-	0,0002	0,197	0,0053	0,0011	B:0,002
	65	0,44	0,25	0,75	0,015	0,092	-	0,0002	0,109	0,0046	0,0010	Te:0,002
	66	0,45	0,25	0,74	0,015	0,062	-	0,0000	0,200	0,0046	0,0011	Cr:0,1

CONTINUAÇÃO...

	Nº	Composição (% em massa)										
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Ca	Ttl Al	Ttl N	Sol N	Outro
Exemplos	67	0,45	0,26	0,76	0,014	0,049	-	0,0001	0,109	0,0070	0,0012	
	68	0,45	0,26	0,76	0,016	0,040	-	0,0000	0,172	0,0072	0,0010	Ti:0,03, Mg:0,0025
	69	0,45	0,25	0,75	0,014	0,040	-	0,0001	0,110	0,0068	0,0010	Ti:0,04, Zn:0,004
	70	0,41	0,25	0,75	0,015	0,043	0,9	0,0000	0,125	0,0075	0,0009	Ti:0,03
	71	0,45	0,25	0,76	0,015	0,043	-	0,0002	0,110	0,0069	0,0009	Ti:0,03, Cu:0,3
	72	0,45	0,24	0,76	0,015	0,047	-	0,0000	0,125	0,0062	0,0018	Ti:0,03, Mg:0,0015, Sn:0,04
	73	0,40	0,26	0,75	0,014	0,049	1,0	0,0001	0,142	0,0065	0,0017	Ti:0,03, Mg:0,0025
	74	0,45	0,24	0,75	0,015	0,044	-	0,0001	0,149	0,0062	0,0017	Ti:0,03, Mg:0,0025, Cu:0,4

CONTINUAÇÃO...

	Nº	Composição (% em massa)										
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Ca	Ttl Al	Ttl N	Sol N	Outro
Exemplos	75	0,41	0,26	0,76	0,016	0,041	1,0	0,0001	0,129	0,0059	0,0019	Ti:0,05, Mg:0,0025, Sn:0,04
	76	0,44	0,24	0,76	0,015	0,043	-	0,0001	0,188	0,0061	0,0014	Ti:0,03, Mg:0,0025, Sn:0,04, Cu:0,3
	77	0,40	0,26	0,75	0,016	0,046	0,9	0,0001	0,172	0,0064	0,0013	Ti:0,03, Mg:0,0025, Cu:0,4
	78	0,41	0,25	0,75	0,016	0,042	1,0	0,0000	0,111	0,0063	0,0013	Ti:0,03, Sn:0,04
	79	0,46	0,25	0,76	0,015	0,047	-	0,0001	0,151	0,0067	0,0012	Ti:0,03, Sn:0,04, Cu:0,3
	80	0,40	0,26	0,76	0,016	0,043	0,9	0,0001	0,120	0,0072	0,0017	Ti:0,02, Sn:0,04, Cu:0,3
	81	0,41	0,26	0,74	0,015	0,046	1,1	0,0001	0,144	0,0069	0,0010	Ti:0,03, Cu:0,3

CONTINUAÇÃO...

	Nº	Composição (% em massa)										
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Ca	Ttl Al	Ttl N	Sol N	Outro
Exemplos	82	0,46	0,24	0,76	0,014	0,040	-	0,0001	0,105	0,0051	0,0010	Mg:0,0028, Zn:0,003
	83	0,41	0,24	0,76	0,014	0,047	0,9	0,0000	0,102	0,0052	0,0013	Mg:0,0019, Zn:0,003
	84	0,45	0,24	0,76	0,015	0,041	-	0,0001	0,102	0,0069	0,0011	Mg:0,0022, Cu::0,3
	85	0,41	0,26	0,75	0,016	0,041	1,0	0,0000	0,109	0,0055	0,0012	Mg:0,0020, Sn:0,04
	86	0,44	0,25	0,76	0,016	0,047	-	0,0001	0,103	0,0062	0,0010	Mg:0,0025, Sn:0,04, Cu:0,1
	87	0,42	0,26	0,75	0,015	0,042	1,0	0,0001	0,101	0,0057	0,0011	Mg:0,0017, Sn:0,04, Cu:0,1
	88	0,41	0,25	0,75	0,015	0,046	1,1	0,0001	0,106	0,0067	0,0013	Mg:0,0025, Cu::0,1
	89	0,41	0,25	0,74	0,014	0,046	1,0	0,0000	0,109	0,0059	0,0016	Sn:0,02
	90	0,45	0,26	0,75	0,015	0,042	-	0,0001	0,100	0,0066	0,0013	Sn:0,04, Cu:0,1

CONTINUAÇÃO...

	Nº	Composição (% em massa)										
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Ca	Ttl Al	Ttl N	Sol N	Outro
Exemplos	91	0,41	0,24	0,74	0,015	0,046	1,1	0,0001	0,105	0,0065	0,0012	Sn:0,04, Cu:0,1
	92	0,41	0,26	0,75	0,015	0,040	1,1	0,0000	0,109	0,0058	0,0014	Cu:0,1
	93	0,44	0,24	0,75	0,015	0,057	-	0,0001	0,101	0,0051	0,0017	Nb:0,01, Mg:0,0025, Sn:0,04, Cu:0,3
Exemplos Comparativos	94	0,45	0,25	0,74	0,014	0,026	-	0,0001	0,025	0,0051	0,0017	
	95	0,45	0,24	0,75	0,014	0,043	-	0,0001	0,024	0,0052	0,0018	
	96	0,46	0,24	0,75	0,016	0,046	-	0,0002	0,032	0,0051	0,0019	
	97	0,46	0,24	0,76	0,015	0,046	-	0,0002	0,104	0,0078	0,0034	
	98	0,45	0,25	0,74	0,016	0,043	-	0,0001	0,103	0,0058	0,0025	
	99	0,44	0,26	0,76	0,016	0,051	-	0,0000	0,243	0,0057	0,0026	
	100	0,45	0,24	0,75	0,014	0,073	-	0,0001	0,111	0,0067	0,0031	
	101	0,46	0,25	0,75	0,014	0,099	-	0,0001	0,142	0,0077	0,0035	

TESTE DE CAPACIDADE DE USINAGEM

[0090] O teste de capacidade de usinagem foi conduzido em relação aos aços dos Exemplos e dos Exemplos Comparativos que foram alongados por forjamento sob aquecimento a 1250 °C inicialmente pela sujeição dos mesmos a um tratamento térmico consistindo em normalização sob condições de temperatura de 850 °C por 1 h, 0,5 h no caso dos Exemplos Comparativos nº 48, nº 49 e nº 97 a nº 101, seguido de resfriamento a ar. Um corpo de prova do teste de avaliação da capacidade de usinagem foi então cortado de cada aço tratado termicamente e as capacidades de usinagem dos aços dos Exemplos e dos Exemplos Comparativos foram avaliados conduzindo-se o teste de perfuração com brocas sob as condições de corte mostradas na Tabela 9 e para o teste de torneamento longitudinal sob as condições mostradas na Tabela 10. A velocidade máxima de corte VL1000 que permite o corte até uma profundidade cumulativa de furo de 1000 mm foi usada como índice de avaliação no teste de perfuração com brocas, e a largura máxima VB_max de desgaste do flanco de relevo após 10 minutos foi usado como índice de avaliação no teste de torneamento longitudinal.

TABELA 9

Condições de Corte	Velocidade	10 - 120 m/min
	Alimentação	0,25 mm/rev
	Fluido de corte	Óleo de corte solúvel em água
Broca	Diâmetro da broca (ϕ)	3 mm
	NACHI	Broca comum
	Protuberância	45 mm
Outro	Profundidade do furo	9 mm
	Vida da ferramenta	Até a quebra

TABELA 10

Condições de Corte	Velocidade de corte	250 m/min
	Alimentação	0,3 mm/rev
	Modo	Corte seco

Ferramenta	Fixador	PTGNR2525M16
	Forma	TNMG160408N-UZ
	Material	AC2000

TESTE DE IMPACTO CHARPY

[0091] A figura 1 é um diagrama mostrando uma região da qual foi cortado um corpo de prova para o teste de impacto Charpy. No teste de impacto Charpy, inicialmente, conforme mostrado na figura 1, um cilindro 2 medindo 25 mm de diâmetro foi cortado de um aço 1 termicamente tratado pelo mesmo método e sob as mesmas condições do corpo do acima mencionado teste de capacidade de usinagem de forma que seu eixo fosse normal à direção de alongamento por forjamento do aço 1. A seguir, o cilindro 2 foi mantido sob condições de temperatura de 850 °C por 1 h, 0,5 h no caso dos Exemplos Comparativos nº 48, nº 49 e nº 97 a nº 101, então resfriado a óleo pelo resfriamento até 60°C, e também submetido ao revenido com resfriamento a água no qual ele foi mantido sob condições de temperatura de 550 °C por 30 minutos. A seguir, o cilindro 2 foi usinado para fabricar um corpo de prova do teste de impacto Charpy 3 em conformidade com a norma JIS Z 2202, que foi submetido a um teste de impacto Charpy à temperatura ambiente de acordo com o método prescrito pela norma JIS Z 2242. A energia absorvida por unidade de área (J/cm^2) foi adotada como índice de avaliação.

TESTE DE TRAÇÃO

[0092] Um cilindro 2 resfriado a óleo e revenido pelos mesmos métodos e sob as mesmas condições que no acima mencionado teste de impacto Charpy foi processado em um corpo de prova de tração medindo 8 mm no diâmetro da seção paralela e 30 mm no comprimento da seção paralela, e então testado quanto à tração à temperatura ambiente de acordo com o método prescrito pela norma JIS Z 2241. A razão de elasticidade = (0,2% do estresse de prova Y_P) / (limite de resistência à tração T_S) foi adotado como índice de avaliação.

[0093] Os resultados dos testes acima estão mostrados nas tabelas 11 e 12.

TABELA 11

	Nº	VL1000 (m/min)	VB_max (µm)	Valor de Impacto (J/cm ²)	YP / TS
Exemplos	1	70	121	39	0,87
	2	65	121	40	0,82
	3	65	123	41	0,84
	4	65	125	42	0,80
	5	70	115	39	0,83
	6	65	121	42	0,83
	7	65	123	41	0,86
	8	65	120	40	0,85
	9	65	116	42	0,85
	10	65	122	43	0,86
	11	70	123	44	0,85
	12	70	120	38	0,83
	13	70	119	39	0,84
	14	70	120	40	0,85
	15	55	132	37	0,89
	16	65	124	40	0,86
	17	65	125	40	0,82
	18	70	124	39	0,85
	19	55	131	39	0,84
	20	65	126	38	0,82
	21	70	118	39	0,83
	22	55	133	39	0,84
	23	70	128	38	0,83
	24	60	130	39	0,85
	25	70	119	39	0,83
	26	55	131	40	0,83
	27	65	132	40	0,83
	28	70	121	40	0,84

CONTINUAÇÃO...

	Nº	VL1000 (m/min)	VB_max (µm)	Valor de Impacto (J/cm ²)	YP / TS
Exemplos	29	60	131	39	0,86
	30	55	131	38	0,85
	31	70	120	41	0,83
	32	55	133	37	0,86
	33	70	125	40	0,87
	34	60	134	39	0,86
	35	70	120	39	0,87
	36	60	133	41	0,87
	37	55	131	41	0,84
	38	60	130	38	0,86
	39	70	119	39	0,86
	40	60	131	38	0,84
	41	55	132	37	0,84
	42	65	124	41	0,83
Exemplos Comparativos	43	45	122	41	0,66
	44	45	116	40	0,67
	45	45	117	41	0,67
	46	50	110	42	0,67
	47	35	156	22	0,68
	48	50	149	30	0,87
	49	50	140	29	0,85

TABELA 12

	Nº	VL1000 (m/min)	VB_max (µm)	Valor de Impacto (J/cm ²)	YP / TS
Exemplos	52	85	121	25	0,85
	53	85	123	24	0,85
	54	95	121	23	0,82
	55	105	112	21	0,85

CONTINUAÇÃO...

	Nº	VL1000 (m/min)	VB_max (µm)	Valor de Impacto (J/cm2)	YP / TS
Exemplos	56	95	120	22	0,85
	57	95	123	22	0,85
	58	90	123	22	0,85
	59	95	121	22	0,83
	60	90	124	22	0,83
	61	95	120	22	0,87
	62	95	115	22	0,83
	63	95	125	22	0,85
	64	100	117	21	0,84
	65	105	113	21	0,84
	66	95	121	20	0,86
	67	80	131	20	0,83
	68	95	122	25	0,87
	69	100	120	24	0,84
	70	80	131	20	0,84
	71	95	122	23	0,85
	72	100	118	26	0,83
	73	80	130	21	0,84
	74	95	122	25	0,85
	75	85	128	20	0,85
	76	100	119	25	0,86
	77	80	132	22	0,83
	78	85	128	20	0,82
	79	100	120	24	0,82
80	85	126	21	0,84	
81	80	133	21	0,83	
82	105	120	23	0,84	
83	80	130	21	0,83	
84	95	124	24	0,86	

Continuação...

	Nº	VL1000 (m/min)	VB_max (µm)	Valor de Impacto (J/cm2)	YP / TS
Exemplos	85	85	129	22	0,87
	86	95	117	23	0,87
	87	85	128	21	0,84
	88	80	129	21	0,86
	89	85	126	20	0,83
	90	95	119	21	0,86
	91	85	125	20	0,87
	92	80	133	20	0,83
	93	100	112	22	0,86
Exemplos Comparativos	94	60	180	22	0,68
	95	65	179	20	0,69
	96	65	174	19	0,68
	97	70	157	18	0,84
	98	75	149	18	0,82
	99	70	143	18	0,86
	100	75	152	15	0,79
	101	75	163	12	0,86

[0094] Os aços nº 1 nas Tabelas 7 e 11 são modalidades da reivindicação 1 e os aços nº 2 a nº 42 nas mesmas tabelas são modalidades da reivindicação 2. Os aços nº 52 a nº 93 na Tabela 8 e na Tabela 12 são configurações da reivindicação 1. Os aços comparativos nº 43 a nº 49 satisfazem os requisitos do teor de S e do teor de Ca da reivindicação 2, e os aços comparativos nº 94 a nº 101 satisfazem os requisitos de teor de S e de teor de Ca da reivindicação 1.

[0095] Conforme mostrado nas Tabelas 11 e 12, os aços dos exemplos nº 1 a nº 42 e nº 52 a nº 93 apresentaram bons valores para todos os índices de avaliação, isto é, VL1000, VB_max, valor de impacto (energia absorvida), e YP / TS (a razão de elasticidade), mas os aços dos Exemplos Comparativos foram inferiores aos aços dos Exemplos em pelo menos uma das propriedades. Especificamente, os

aços dos Exemplos Comparativos nº 43 a nº 46 tiveram teores de Al total abaixo da faixa da presente invenção e foram, portanto, inferiores aos aços dos Exemplos em capacidade de usinagem (VL1000) e a razão de elasticidade (YP / TS). Além disso, o aço do Exemplo Comparativo nº 47 teve um teor de Al total abaixo da faixa da presente invenção, de forma que seu teor de N soluto estava acima da faixa da presente invenção, e o aço era, portanto, inferior aos aços dos Exemplos em capacidade de usinagem (VL1000, VB_max), valor de impacto, e a razão de elasticidade (YP / TS).

[0096] Os aços dos Exemplos Comparativos nº 48 e nº 49 foram mantidos a 850 °C, temperatura na qual o AIN se precipita prontamente, por um período de tempo mais curto que os aços dos Exemplos, de forma que seus teores de N soluto estivessem acima da faixa da presente invenção, e os aços foram, portanto, inferiores aos aços dos Exemplos em capacidade de usinagem (VL1000, VB_max) e valor de impacto. Além disso, os aços dos Exemplos Comparativos nº 94 a nº 96 tiveram teores de Al total 96 abaixo da faixa da presente invenção e foram, portanto, inferiores aos aços dos Exemplos em capacidade de usinagem (VL1000, VB_max) e razão de elasticidade (YP / TS). Além disso, os aços dos Exemplos Comparativos nº 97 a nº 101 foram mantidos a 850 °C, temperatura na qual o AIN precipita prontamente, por um tempo de manutenção mais curto que o dos aços dos Exemplos, de forma que seus teores de N soluto estivessem acima da faixa da presente invenção, e os aços foram, portanto, inferiores aos aços dos Exemplos em capacidade de usinagem (VL1000, VB_max) e valor de impacto.

APLICABILIDADE INDUSTRIAL

[0097] A presente invenção fornece um aço estrutural para máquinas que tenham boa capacidade de usinagem sobre uma ampla faixa de velocidade de usinagem e também tenha altas propriedades de impacto e alta razão de elasticidade.

REIVINDICAÇÕES

1. Aço estrutural para máquinas, caracterizado pelo fato de compreender, em % em massa:

C: 0,1 a 0,85%,

Si: 0,01 a 1,5%,

Mn: 0,05 a 2,0%,

P: 0,005 a 0,2%,

S: 0,001 a 0,15%,

Al total: maior que 0,1% e não maior que 0,3%, e

N total: 0,0035 a 0,020%,

N soluto sendo limitado a 0.0020% ou menos, e um saldo de Fe e as inevitáveis impurezas.

2. Aço estrutural para máquinas, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que compreende, em % em massa, um ou mais de:

Ca: 0,0003 a 0,0015%,

Ti: 0,001 a 0,1%,

Nb: 0,005 a 0,2%,

W: 0,01 a 1,0%,

V: 0,01 a 1,0%,

Mg: 0,0001 a 0,0040%,

Zr: 0,0003 a 0,01%,

REMs: 0,0001 a 0,015%,

Sn: 0,005 a 2,0%,

Zn: 0,0005 a 0,5%,

B: 0,0005 a 0,015%,

Te: 0,0003 a 0,2%,

Bi: 0,005 a 0,5%,

Pb: 0,005 a 0,5%,

Cr: 0,01 a 2,0%,

Mo: 0,01 a 1,0%,

Ni: 0,05 a 2,0% e

Cu: 0,01 a 2,0%.

Fig.1

