



República Federativa do Brasil
Ministério da Economia
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) PI 0417290-6 B1



(22) Data do Depósito: 08/03/2004

(45) Data de Concessão: 19/02/2019

(54) Título: MÉTODO PARA RETIFICAR UM CILINDRO FERROSO

(51) Int.Cl.: B21B 28/04; B24B 5/04; B24B 5/37; B24D 3/14; B24D 5/00.

(30) Prioridade Unionista: 23/12/2003 US 60/532,321.

(73) Titular(es): DIAMOND INNOVATIONS, INC..

(72) Inventor(es): KRIS V. KUMAR; BIJU VARGHESE.

(86) Pedido PCT: PCT US2004007071 de 08/03/2004

(87) Publicação PCT: WO 2005/068099 de 28/07/2005

(85) Data do Início da Fase Nacional: 20/06/2006

(57) Resumo: "MÉTODO PARA RETIFICAR UM CILINDRO FERROSO". Cilindros de ferro e aço são retificados para requisitos de qualidade de produção com um rebolo que requer mínima compensação de desgaste do disco, compensação de erro de perfil ou compensação de erro de conicidade durante o processo de retifica. O rebolo consiste essencialmente de um material superabrasivo selecionado de diamante natural, diamante sintético, nitreto de boro cúbico, e misturas dos mesmos, em um sistema aglutinado, para um rebolo com vida de rebolo prolongada, e que remove quantidade mínima de material do cilindro para conseguir a geometria desejada do cilindro.

"MÉTODO PARA RETIFICAR UM CILINDRO FERROSO"

Campo técnico

[001] A presente invenção relaciona-se com um rebolo para uso em aplicações de retífica de cilindro ferroso e um método para retificar cilindros para qualidade geométrica desejada. A invenção também se relaciona com rebolos compreendendo nitreto de boro cúbico como o abrasivo primário em um sistema de aglutinação.

Antecedentes da invenção

[002] Laminação é um processo de formação usado para produzir tiras, placas ou chapas de espessuras variadas em indústrias tais como as indústrias siderúrgicas, de alumínio, cobre e papel. Cilindros são produzidos em formatos (perfis) variados com tolerâncias geométricas específicas e especificações de integridade da superfície para atender às necessidades das aplicações de laminação. Os cilindros são tipicamente produzidos de ferro, aço, carbetto cementado, granito, ou compostos dos mesmos. Em operações de laminação, os cilindros sofrem desgaste considerável e mudanças na qualidade da superfície e portanto requerem re-conformação periódica por usinagem ou retífica, isto é, "retifica de cilindro" para trazer o cilindro de volta para as tolerâncias geométricas requeridas enquanto deixando a superfície livre de linhas de alimentação, marcas de trepidação e irregularidades superficiais tais como riscos e/ou degradação térmica da superfície do cilindro. Os cilindros são retificados com um rebolo cruzando a superfície do cilindro em vaivém em uma máquina de retífica de cilindro dedicada (fora de linha) ou como instalado em um laminador de tiras com um aparelho de retífica de cilindro (em linha) ligado à

gaiola dos cilindros em um laminador.

[003] O desafio com ambos destes métodos é restaurar o cilindro a sua geometria de perfil correta com mínima remoção de material e sem marcas de avanço visíveis, marcas de trepidação ou irregularidades superficiais visíveis. As linhas de avanço ou marcas de avanço são impressões da borda guia do rebolo sobre a superfície do cilindro correspondentes à distância que o rebolo avança por revolução do cilindro. Marcas de trepidação correspondem a linhas de contato de trabalho com rebolo que ocorrem periodicamente sobre a circunferência do cilindro quer devido a erro de desvio do rebolo ou devido a vibrações que surgem de múltiplas fontes no sistema de retífica tais como desbalanceamento do rebolo, mancais do eixo motriz, estrutura da máquina, eixos de alimentação da máquina, acionamentos por motor, impulsos hidráulicos e elétricos. Tanto marcas de avanço quanto marcas de trepidação são indesejáveis no cilindro, uma vez que elas afetam a durabilidade do cilindro em serviço e produzem uma qualidade superficial indesejável no produto acabado. As irregularidades superficiais no cilindro estão associadas com quer uma marca de risco e/ou degradação térmica da superfície de trabalho do cilindro seguindo a retífica. As marcas de risco são provocadas por quer partículas abrasivas soltas liberadas do rebolo ou material de cavaco de retífica riscando a superfície do cilindro de uma maneira randômica. Uma inspeção visual do cilindro é normalmente usada dependendo da aplicação para aceitar ou rejeitar o cilindro quanto a marcas de riscos. A degradação térmica da superfície do cilindro é provocada por calor excessivo no processo de retífica resultando em uma mudança na microestrutura do

material do cilindro na ou próximo à superfície retificada e/ou algumas vezes resultando em riscos no cilindro. Métodos de inspeção por corrente parasita e ultra-sônicos são empregados para detectar a degradação térmica nos cilindros seguindo a retífica.

[004] Tipicamente para um método de retífica de cilindro fora de linha, uma máquina de retifica é equipada tal que o eixo geométrico rotacional do rebolo seja paralelo ao eixo geométrico rotacional do cilindro de trabalho e o rebolo em contato com a superfície do cilindro rotativo é cruzado ao longo do eixo geométrico do cilindro em vaivém para produzir a geometria desejada. Máquinas retificadoras de cilindro estão comercialmente disponíveis de um número de vendedores que fornecem equipamentos para a indústria de retífica de cilindros incluindo a Pomini (Milão, Itália), Waldrich Siegen (Alemanha), Herkules (Alemanha), e outros. O formato do rebolo usado em retífica de cilindro fora de linha é tipicamente um disco Tipo 1, onde a face de diâmetro externo do disco executa retífica.

[005] É prática comum na indústria de retífica de disco retificar materiais de cilindros de ferro e aço com rebolos compreendendo abrasivos convencionais tais como óxido de alumínio, carbeto de silício, ou misturas dos mesmos, junto com cargas e abrasivos secundários em sistemas de discos aglutinados de resinas orgânicas, p. ex., uma resina tipo shellac ou uma matriz de resina fenólica. Também é sabido na indústria usar diamante como o abrasivo primário em um rebolo produzido com uma matriz aglomerada de resina fenólica para retificar materiais de cilindros produzidos de carbeto cementado, granito ou materiais de cilindro não ferrosos.

Discos abrasivos aglutinados inorgânicos ou vitrificados ou cerâmicos não têm tido sucesso em aplicações de retífica de cilindro comparado com discos aglutinados de resina orgânica, porque os primeiros têm uma resistência a impacto baixa e baixa resistência à trepidação comparadas com os últimos. Os discos aglutinados de resina orgânica são sabidos a funcionar melhor em aplicações de retífica por causa de seu baixo módulo E (1 GPa - 12 GPa) comparados com discos aglutinados vitrificados inorgânicos, que têm um módulo E mais alto (18 GPa - 200 GPa). Um outro problema associado com o sistema de disco convencional aglutinado vitrificado é que sua natureza quebradiça faz a borda do disco se partir durante o processo de retífica, resultando em marcas de riscos e irregularidades superficiais no cilindro de trabalho.

[006] A publicação do pedido de patente U.S. N° 20030194954A1 divulga rebolos de cilindro consistindo essencialmente de abrasivos convencionais tais como abrasivo de óxido de alumínio ou abrasivo de carbeto de silício e misturas dos mesmos, aglutinados com ligante selecionado e materiais de carga em um sistema de aglutinação de resina fenólica para proporcionar vida de rebolo melhorada em relação a um sistema aglutinado de resina shellac. Nos exemplos, uma razão de retífica cumulativa G de 2,093 após retificar 19 cilindros é demonstrada, representando uma melhoria de 2-3 vezes à G observada para discos aglutinados de resina shellac. A razão de retífica G representa a razão de volume do material do cilindro removido para o volume de desgaste do disco. Quanto mais alto o valor de G, mais longa será a vida do disco. Entretanto, mesmo com estes rebolos melhorados a taxa de desgaste de rebolo ainda é muito grande

na retífica de cilindros de aço, que compensação de desgaste radial de disco contínua (WWC) é empregada durante o ciclo de retífica para atender tolerâncias geométricas de conicidade (TT) no cilindro. Na técnica, a tolerância de conicidade TT corresponde à variação permissível de tamanho no cilindro de uma extremidade do cilindro à outra extremidade. WWC é feita movendo continuamente o eixo geométrico de avanço do rebolo na superfície do cilindro como uma função do cruzamento axial do disco. O requisito de WWC em retífica de cilindro dita a necessidade de controles sofisticados de máquina bem como complexidade adicionada ao ciclo de retífica.

[007] Existe uma segunda desvantagem com os rebolos empregando abrasivos convencionais da técnica anterior. Os discos sofrem rápido desgaste de disco durante o processo de retífica de cilindro, requerendo múltiplas passadas corretivas de retífica para gerar tanto um perfil de cilindro quanto conicidade dentro da tolerância desejada, a qual é tipicamente menor que 0,025 mm. Estas passadas adicionais de retífica resultam na remoção de material caro do cilindro, levando a uma redução na vida útil de trabalho do cilindro. Tipicamente na técnica anterior, a razão TT/WWC varia de 0,5 a 5 (onde TT e WWC são expressos em unidades consistentes) para atender às especificações de cilindro com abrasivos convencionais. Uma razão mais alta de TT para WWC é particularmente desejável para maximizar a vida útil do cilindro e vida do rebolo, e portanto melhorar a eficiência do processo de retífica de cilindro.

[008] A terceira desvantagem de passadas corretivas de retífica é o tempo aumentado do ciclo, reduzindo assim a produtividade do processo. A perda de tempo produtivo também

ocorre devido a freqüentes mudanças de disco que resultam de desgaste acelerado de discos aglutinados de resina orgânica. Ainda uma quarta desvantagem encontrada com discos abrasivos convencionais é que o diâmetro útil do disco tipicamente diminui de 914 - 610 mm (36-24 polegadas) durante a vida do disco, a compensação para a qual pode resultar em uma grande ação em balanço da ponta do fuso de retífica. O aumento contínuo em ação em balanço resulta em rigidez continuamente alterada do sistema de retífica, provocando inconsistências no processo de retífica de cilindro.

[009] Um número de outras referências da técnica anterior, isto é documentos de patente européia EP03444610 e EP0573035 e patente U.S. N° 5.569.060 e patente U.S. N° 6.220.949, divulgam um método de retífica de cilindro em linha, o documento de patente japonesa JP06226606A divulga um aparelho e operação de retífica de cilindro fora de linha, sendo que um rebolo de face de disco plana (um disco de face em copo) Tipo 6A2 é usado para retificar o cilindro. O eixo geométrico do rebolo neste tipo de sistema de retífica é perpendicular ao eixo geométrico do cilindro de trabalho, tal que a face lateral axial (face de trabalho) do disco seja pressionada com uma força constante em contato deslizante friccional com a superfície circunferencial externa do cilindro. Neste design, o eixo geométrico do fuso do disco é ligeiramente inclinado tal que contato com a superfície de trabalho do cilindro ocorra sobre a face guia do disco. O rebolo neste método é quer passivamente acionado com a ajuda de torque do cilindro de trabalho, ou positivamente acionado por um motor de fuso de retífica.

[0010] Em uma outra referência da técnica anterior, o

documento de patente européia EP 0344610 divulga um disco com face em copo usado em retífica de cilindro em linha tendo dois membros de anel anular abrasivo ligados integralmente, sendo que os discos compreendem abrasivos de óxido de alumínio, carbetto de silício, CBN ou diamante em dois sistemas aglutinados diferentes tais como sistema aglutinado orgânico ou inorgânico para cada membro abrasivo respectivamente. A camada abrasiva aglomerada vitrificada (tendo módulo E mais alto de 19,7 - 60 GPa) é o membro de anel interno; e o membro de anel externo é produzido com um sistema aglutinado de resina orgânica (módulo E mais baixo de 1 - 9,8 GPa) para evitar lascamento e trincamento do disco. Uma vez que as taxas de desgaste de rebolo não são as mesmas para dois membros de diferentes sistemas aglutinados, erros de perfil, marcas de trepidação e de riscos podem freqüentemente ser experimentadas ao retificar o cilindro.

[0011] As patentes U.S. Nºs 5.569.060 e 6.220.949 divulgam um disco de CBN aglutinado de resina fenólica de face em copo com design diferente de corpo do disco flexível para absorver as pesadas vibrações induzidas nas gaiolas de laminação enquanto retificando o cilindro de trabalho. Com um design de corpo de disco flexível aqui, a força de contato entre a face do disco e a superfície do cilindro é tipicamente controlada em uma magnitude constante (entre 30 - 50 kgf/mm de largura da face do rebolo) durante o processo de retífica para conseguir contato uniforme ao longo da face de trabalho do disco.

[0012] Este tipo de design de disco flexível também é aplicado no método de retífica divulgado na publicação de patente do Japão JP06226606A. A retífica com um flexionamento

constante do disco ou uma carga constante do disco com um rebolo com face em copo significa que a taxa de remoção de material depende do afiamento do disco e do tipo de material do cilindro que está sendo retificado. Uma vez que o desgaste no cilindro de trabalho na operação do laminador não é sempre uniforme, pode ser muito desafiador quando o desgaste do cilindro de trabalho é grande (maior que 0,010 mm) uma vez que contato não uniforme entre a face do disco em copo e a superfície do cilindro se desenvolve. Isto resulta em um desgaste desigual de disco, afetando a capacidade de corte ou o afiamento do disco ao longo de sua face de trabalho, provocando remoção de material desigual no cilindro de trabalho ao longo de sua extensão axial e resultando em erros de perfil e trepidação no processo.

[0013] Um processo de retífica estável com um rebolo de CBN de face em copo é então possível retificando freqüentemente os cilindros e corrigindo as irregularidades superficiais antes que uma grande quantidade de desgaste se desenvolva no cilindro. Com esta solução é concebível que a razão TT/WWC pode ser aumentada além de 10 comparada com o disco Tipo 1 de abrasivo convencional que é usado no método de retífica fora de linha. Um fator limitante do design de disco de face em copo, entretanto, é que ele pode apresentar desafio considerável e dificuldades para manter a razão TT/WWC maior do que 10 quando retificando cilindros de vários formatos tais como um abaulado [crown] convexo, abaulado côncavo ou um perfil numérico contínuo ao longo do eixo geométrico do cilindro.

[0014] Os métodos de retífica fora de linha e em linha oferecem duas soluções diferentes para refazer a superfície

dos cilindros de trabalho e cilindros de encosto com seus diferentes arranjos cinemáticos e estratégias de processo de retífica. O artigo de retífica usado no método fora de linha é usado para retificar uma única especificação de material de cilindro de trabalho, ou mais freqüentemente múltiplas especificações de material de cilindro de trabalho tais como ferro, aço rápido-HSS, aço-liga de alto cromo, etc., durante a vida útil do disco. Por outro lado, o disco em linha retifica somente uma única especificação de material de cilindro de trabalho que é usado naquela gaiola durante a vida do disco. Portanto, especificações de artigo de rebolo e métodos de fabricação de discos usados para produzir um design de rebolo de disco planar de face em copo (Tipo 6A2) não podem ser transladadas para produzir um rebolo Tipo 1 uma vez que seus métodos de aplicação são significativamente diferentes.

[0015] Como mencionado anteriormente, retífica sem marcas de trepidação e marcas de avanço são extremamente importantes ao retificar cilindros de laminador. A patente japonesa JP11077532 divulga um dispositivo para retificar cilindros sem trepidação. Neste dispositivo, sensores de vibração montados no cabeçote do fuso de retífica e na gaiola de cilindros monitoram continuamente o nível de vibração durante o processo de retifica e ajustam o rebolo e velocidades rotacionais do cilindro tais que elas não excedam um nível-limite de vibração por trepidação. Este método, entretanto, requer que a razão de velocidades entre a velocidade de revolução do rebolo e a velocidade de revolução do cilindro seja mantida constante, o que acrescenta complexidade na retífica de cilindro de boa qualidade.

[0016] Existe uma necessidade de um método de retífica de cilindro melhorado e simplificado para retificar os cilindros de trabalho de vários formatos de perfis e especificações de materiais ferrosos com uma única especificação de disco tal que a razão TT/WWC seja maior que 10. Maximizar a TT/WWC garante economias significativas em custos em materiais de cilindro caros. Também existe uma necessidade de um rebolo tendo vida melhorada de rebolo para melhorar a qualidade do cilindro, reduzindo assim o custo total de consumíveis na oficina de cilindros e no laminador de tiras.

Sumário

[0017] A presente invenção é dirigida a resolver um ou mais dos problemas descritos acima. Configurações da invenção incluem um rebolo melhorado e um método de retífica simplificado para retificar uma ampla variedade de materiais ferrosos de cilindros (p. ex., ferro e ligas de aço) e formatos de cilindros usados em laminadores de tiras a quente e a frio. Em uma configuração, o rebolo é compreendido de nitreto de boro cúbico (CBN) em um sistema aglutinado, tendo uma vida prolongada de retífica tal que a razão TT/WWC possa ser significativamente maior do que 10 e o cilindro não exiba marcas de avanço e marcas de trepidação visíveis. Em uma outra configuração, um método para aplicar o rebolo de CBN tal que uma quantidade mínima de retífica menor que 0,2 mm seja removida do diâmetro do cilindro gasto para conseguir a especificação geométrica e visual desejadas do cilindro usinado. Em uma outra configuração da invenção, um método para aplicar um rebolo de CBN para retificar cilindros sem marcas de trepidação e de avanço permite variar a velocidade do rebolo e/ou a velocidade do cilindro sem monitorar os

níveis de vibração, e não tendo que manter uma razão constante de velocidades.

[0018] Em uma configuração, a invenção pertence a um método para retificar cilindros ferrosos de dureza maior que 65 HC (Dureza Shore C medida com um Escleroscópio) e tendo um diâmetro mínimo de pelo menos 10 polegadas e um comprimento de pelo menos 2 pés. Nesta configuração, o método pode incluir as etapas: a) montar o rebolo em um fuso de máquina e definir o ângulo entre o eixo geométrico rotacional do rebolo e o eixo geométrico rotacional do cilindro tal que os eixos sejam paralelos entre si ou tenham uma inclinação que seja menor que 25 graus; b) trazer o rebolo em contato com uma superfície de cilindro rotativa e cruzar o disco através da extensão axial do cilindro tal que a razão TT/WWC seja maior que 10; e c) retificar a superfície do cilindro tal que ela seja substancialmente livre de marcas de avanço e marcas de trepidação visuais.

[0019] Em uma outra configuração, a invenção se relaciona com um método para retificar cilindros ferrosos de dureza maior que 65 HC (Dureza Shore C medida com um Escleroscópio) que inclui as etapas de retificar os cilindros com um rebolo consistindo essencialmente de um material superabrasivo selecionado do grupo de diamante natural, diamante sintético, nitreto de boro cúbico, ou outros materiais com dureza Knoop maior que 3000 KHN e abrasivos secundários com dureza Knoop menor que 3000 KHN, em um aglutinado vitrificado inorgânico ou em um sistema aglutinado de resina, e sendo que a retificação é executada mantendo a razão TT/WWC maior que 10 para uma rugosidade superficial no cilindro que seja menor que 1,25 micrômetros Ra.

[0020] Em uma configuração da invenção, o material superabrasivo primário é nitreto de boro cúbico (CBN) na faixa de 15 a 50% em volume, em um aglutinado vitrificado ou sistema aglutinado de resina.

[0021] Em uma configuração, a invenção também se relaciona com um método para retificar cilindros sem marcas de trepidação e avanço visíveis, sendo que pelo menos uma de a velocidade rotacional do rebolo e a velocidade rotacional do cilindro seja variada em uma quantidade de 1 a 40% em amplitude, com um período de 1 a 30 segundos.

Descrição resumida dos desenhos

[0022] A figura 1 é uma vista de seção transversal de uma configuração do disco superabrasivo da invenção para uso em operações de retífica de cilindro.

[0023] As figuras 2A-2D são vistas de cortes transversais das diferentes configurações das configurações de discos da presente invenção, enquanto as figuras 2E-2F são modificações que podem ser aplicadas nas figuras 2A-2D.

[0024] A figura 3 é uma vista de seção transversal de uma configuração da invenção, para um disco superabrasivo tendo múltiplas seções.

[0025] As figuras 4A e 4B são diagramas ilustrando a diferença no ciclo de retífica entre um rebolo da técnica anterior empregando óxido de alumínio e/ou carbetto de silício convencional em aglutinado de resina orgânico, e uma configuração da presente invenção, empregando um aglutinado vitrificado ou disco de CBN aglutinado de resina.

[0026] As figuras 5A-5C ilustram a amplitude versus frequência de velocidade de vibração em operações de retífica de cilindro.

Descrição detalhada

[0027] Para propósitos de simplicidade e ilustrativos, os princípios da invenção são descritos para se referir principalmente com uma configuração da mesma. Em adição, na descrição seguinte, numerosos detalhes específicos são registrados para prover uma compreensão perfeita da invenção. Será aparente, entretanto, para alguém de experiência ordinária na técnica, que a invenção pode ser praticada sem limitações devido a estes detalhes específicos. Em outras instâncias, métodos e estruturas bem conhecidos não foram descritos em detalhes de modo a não obscurecer desnecessariamente a invenção.

[0028] Também deve ser notado que como usado aqui e nas reivindicações anexas, as formas singulares "um", "uma", e "o", "a" incluem a referência plural a menos que o contexto claramente dite o contrário. A menos que definido de outra maneira, todos os termos técnicos e científicos usados aqui têm os mesmos significados como comumente entendidos por alguém de experiência ordinária na técnica. Embora quaisquer métodos similares ou equivalentes àqueles descritos aqui possam ser usados na prática ou teste de configurações da presente invenção, os métodos preferidos são agora descritos. Todas as publicações e referências mencionadas aqui são incorporadas por referência. Nada aqui deve ser interpretado como uma admissão que a invenção não dá direito a antedatar tal divulgação por virtude de invenção anterior.

[0029] Os métodos aqui para uso contemplam uso profilático somente bem como uso curativo na terapia de uma condição existente. Como usado aqui, o termo "cerca de" significa mais ou menos 10% do valor numérico do número com o qual ele está

sendo usado. Portanto, cerca de 50% significa na faixa de 45%-55%. Para que a invenção aqui descrita possa ser mais completamente compreendida, a seguinte descrição detalhada é registrada.

[0030] Em uma configuração da invenção, um rebolo melhorado para aplicações de retífica de cilindro inclui um rebolo de aglutinado inorgânico, p. ex., sistema aglutinado vitrificado ou cerâmico, onde um material superabrasivo, p. ex., nitreto de boro cúbico, é usado como o material abrasivo primário.

[0031] Sistema aglutinado vitrificado. Exemplos de sistemas de aglutinado vitrificado para uso em certas configurações da invenção podem incluir os aglutinados caracterizados por resistência mecânica melhorada conhecidos na técnica, para uso com óxido de alumínio fundido convencional ou granas abrasivas de MCA (também referidas como alfa-aluminas de gel sol sinterizadas), tais como aquelas, como descritas nas patentes U.S. N^{os} 5.203.886; 5.401.284; 5.863.308; e 5.536.283, que são aqui incorporadas por referência.

[0032] Em uma configuração da invenção, o sistema aglutinado vitrificado consiste essencialmente de materiais inorgânicos incluindo, mas não limitados a argila, caulim, silicato de sódio, alumina, carbonato de lítio, pentahidrato de bórax, decahidrato de bórax ou ácido bórico, e cinza de soda, sílex, volastonita, feldspato, fosfato de sódio, fosfato de cálcio, e vários outros materiais que têm sido usados na fabricação de aglutinados vitrificados inorgânicos.

[0033] Em uma outra configuração, fritas são usadas em combinação com os materiais aglutinados vítreos em bruto ou

em lugar das matérias-primas. Em uma segunda configuração, os materiais aglutinados mencionados anteriormente em combinação incluem os seguintes óxidos: SiO_2 , Al_2O_3 , Na_2O , P_2O_5 , Li_2O , K_2O e B_2O_3 . Em uma outra configuração, eles incluem óxidos alcalino terrosos, tais como CaO , MgO e BaO , junto com ZnO , ZrO_2 , F , CoO , MnO_2 , TiO_2 , Fe_2O_3 , Bi_2O_3 , e/ou combinações dos mesmos. Em ainda uma outra configuração o sistema aglutinado compreende um vidro de silicato de alcaliboro.

[0034] Em uma configuração da invenção, o sistema aglutinado pode incluir teores otimizados de óxido fosforoso, óxido de boro, sílica, alcali, óxidos alcalinos, óxidos alcalino terrosos, silicatos de alumínio, silicatos de zircônio, silicatos hidratados, aluminatos, óxidos, nitretos, oxinitretos, carbetos, oxicarbets e/ou combinações e/ou derivados dos mesmos, mantendo as razões corretas de óxidos, para um aglutinado de baixa temperatura, duro (p. ex., resistente à propagação de trincas), de alta resistência.

[0035] Em uma outra configuração, o sistema aglutinado compreende pelo menos duas fases vítreas amorfas com a grana de CBN para produzir resistência mecânica mais alta para a base aglutinada. Em uma outra configuração da invenção, o disco superabrasivo compreende cerca de 10-40% em volume de materiais inorgânicos tais como frita de vidro, p. ex., vidro de borosilicato, feldspato e outras composições de vidro.

[0036] Composições de aglutinado vítreo adequado são comercialmente disponíveis de Ferro Corp. de Cleveland, Ohio, e outras.

[0037] Componentes superabrasivos. O material superabrasivo pode ser selecionado de qualquer material superabrasivo adequado conhecido na técnica. Um material

superabrasivo é um tendo uma dureza Knoop de pelo menos cerca de 3000 kg/mm², preferivelmente pelo menos cerca de 4200 kg/mm². Tais materiais incluem diamante sintético ou natural, nitreto de boro cúbico (CBN), e misturas dos mesmos. Opcionalmente, o material superabrasivo pode ser provido com um revestimento tal como níquel, cobre, titânio, ou qualquer metal resistente a desgaste ou condutivo que possa ser depositado sobre o cristal superabrasivo. Materiais de CBN superabrasivo revestidos são comercialmente disponíveis de uma variedade de fontes tais como Diamond Innovations, Inc., de Worthington, OH, sob o nome comercial Borazon CBN; Element Six sob o nome comercial ABN, e Showa Denko sob o nome comercial SBN.

[0038] Em uma configuração, os materiais superabrasivos são partículas de CBN monocristalinas ou microcristalinas, ou qualquer combinação dos tipos de CBN ou tenacidade diferente (veja, por exemplo, a publicação de pedido de patente internacional N° WO 03/043784A1). Em uma configuração da invenção, o material superabrasivo inclui CBN de um tamanho de grana variando de cerca de 60/80 mesh a cerca de 400/500 mesh de tamanho. Em ainda uma outra configuração, o componente superabrasivo compreende CBN ou diamante de um tamanho de grana variando de cerca de 80/100 mesh de tamanho a cerca de 22-36 microns de tamanho (equivalente a cerca de 700/800 mesh de tamanho).

[0039] Em uma configuração da invenção, o material superabrasivo tem um índice de friabilidade de pelo menos 30. Em uma segunda configuração, o material superabrasivo tem um índice de friabilidade de pelo menos 45. Em uma terceira configuração, o material superabrasivo tem um índice de

friabilidade de pelo menos 65. O índice de friabilidade é uma medida de tenacidade e é útil para determinar a resistência da grana de fraturar durante retífica. Os valores de índice de friabilidade dados são o percentual de grana retido em uma tela após o teste de friabilidade. Este procedimento inclui um teste de impacto de carga baixa, alta frequência e é usado por fabricantes de grana superabrasiva para medir a tenacidade da grana. Valores maiores indicam tenacidade maior.

[0040] Em uma configuração da invenção, o rebolo compreende cerca de 10 a cerca de 60% em volume de um material superabrasivo. Em uma segunda configuração, o material superabrasivo primário é nitreto de boro cúbico (CBN) na faixa de cerca de 20 a cerca de 40% em volume, em um sistema de aglutinado vitrificado ou de aglutinado de resina.

[0041] Exemplos de materiais que podem ser usados como o componente superabrasivo da invenção incluem, mas não estão limitados a, BORAZON® CBN Tipo I, graus 1000, 400, 500, e 550 disponíveis de Diamond Innovations, Inc., de Worthington, Ohio, EUA.

[0042] Componentes da porosidade. As composições dos rebolos de certas configurações da invenção contêm de cerca de 10 a cerca de 70% em volume de porosidade. Em uma configuração, de cerca de 15 a cerca de 60% em volume. Em uma outra configuração, de cerca de 20 a cerca de 50% em volume de porosidade.

[0043] A porosidade é formada por tanto o espaçamento natural provido pela densidade de compactação natural dos materiais e por meio indutor de poros convencional, incluindo, mas não limitado a, glóbulos de vidro ocos, cascas

de nozes moídas, glóbulos de material plástico ou compostos orgânicos, partículas de vidro espumadas e alumina em bolhas, grãos alongados, fibras e combinações dos mesmos.

[0044] Outros componentes. Em uma configuração da invenção, grãos de abrasivo secundário são usados para prover cerca de 0,1 a cerca de 40% em volume, e em uma segunda configuração, até 35% em volume. Os grãos de abrasivo secundário usados podem incluir, mas não estão limitados a, óxido de alumínio, carbetto de silício, sílex e grãos de granada, e/ou combinações dos mesmos.

[0045] Na fabricação dos rebolos contendo estes aglutinados, uma pequena quantidade de ligantes orgânicos pode ser adicionada aos componentes em pó da aglutinação, em frita ou brutos, como auxiliares de moldagem ou de processamento. Estes ligantes podem incluir dextrinas e outros tipos de cola, um componente líquido, tal como água ou etileno glicol, viscosidade ou modificadores de pH e auxiliares de mistura. O uso de ligantes melhora a uniformidade do rebolo e a qualidade estrutural do disco prensado pré-queimado ou cru e do disco queimado. Devido à maioria se não todos os ligantes serem apagados durante a queima, eles não se tornam parte do aglutinado acabado ou ferramenta abrasiva.

[0046] Processo para produzir os corpos de discos superabrasivos. O processo para fabricar um disco aglutinado vítreo é bem conhecido na técnica. Em uma configuração da invenção, a camada de abrasivo de CBN do aglutinado vítreo é fabricada com ou sem uma camada suporte cerâmica quer por um método de prensagem a frio e sinterização ou por um método de sinterização por prensagem a quente.

[0047] Em uma configuração do método de prensagem a frio, a mistura de disco aglutinado vítreo é prensada a frio em um molde para a forma do disco, e o produto moldado é então queimado em um forno de calcinação ou fornalha para sinterizar completamente o vidro.

[0048] Em uma configuração do método de prensagem a quente, a mistura do disco aglutinado vítreo é colocada em um molde e submetida a tanto pressão quanto temperatura simultaneamente para produzir um disco sinterizado. Em um exemplo, a carga na prensa para moldar varia de cerca de 25 t a cerca de 150 t. As condições de sinterização variam de cerca de 600°C a cerca de 1100°C, dependendo da química da frita de vidro, geometria da camada abrasiva e da dureza desejada no disco. A camada de abrasivo de CBN aglutinada vitrificada pode ser um produto de camada superficial contínua ou camada superficial segmentada que é aglutinada ou colada a um núcleo de corpo de disco.

[0049] O material do núcleo do disco pode ser metálico (exemplos incluem liga de alumínio e aço) ou não metálico (exemplos incluem material cerâmico, aglutinado de resina orgânica ou um material composto), ao qual a camada segmentada ou segmento de camada de abrasivo de CBN aglutinada vítrea de trabalho é ligada ou colada com um adesivo epóxi. A escolha do material do núcleo é influenciada pelo peso máximo do disco que pode ser usado no fuso da máquina de retífica, velocidade máxima operacional do disco, rigidez máxima do disco para retificar sem trepidação e requisitos de balanceamento do disco para atender o grau G-1 pelo código ANSI S2.19.

[0050] Os materiais metálicos usados são tipicamente aço

liga de médio carbono ou uma liga de alumínio. Os corpos de núcleo metálico são usinados tal que o desvio radial e axial seja menor que 0,0125 mm ($<0,0005''$), e os corpos são adequadamente limpos para terem a camada de abrasivo de CBN aglutinada vitrificada ligada ou colada neles.

[0051] Materiais de corpo de disco não metálicos podem ter um aglutinado de resina orgânica ou um aglutinado vítreo inorgânico incluindo abrasivos de óxido de alumínio e/ou carbeto de silício que tenham tratamento de poros com materiais poliméricos para resistir à água ou absorção de refrigerante de retífica no núcleo. O material de núcleo não metálico pode ser fabricado do mesmo modo que um rebolo aglutinado de resina orgânica ou um rebolo aglutinado vítreo inorgânico, exceto que eles não são aplicados como uma superfície de rebolo.

[0052] A camada de abrasivo de CBN aglutinada vítrea pode ser ligada ao núcleo não metálico com um adesivo de epóxi, e o rebolo pode então ser acabado para a geometria correta e tamanho para a aplicação. Em um exemplo, o disco fabricado é acabado para dimensões de desenho do disco, velocidade testada para 60 m/s e balanceado dinamicamente para G-1 ou melhor de acordo com a código S2.19 da ANSI. O rebolo nesta invenção é então aplicado em um método de retífica fora de linha em máquinas de retífica de cilindro do tipo tal como produzidas por Waldrich Siegen. Pomini, Herkules e outros.

[0053] Neste exemplo, o rebolo de CBN vitrificado é montado em um adaptador de disco e preso ao fuso de retífica. O disco é então desempenado com um disco rotativo de diamante tal que o desvio radial no disco seja menor que 0,005 mm. O rebolo é então balanceado dinamicamente no fuso da máquina na

velocidade operacional máxima de 45 m/s, tal que a amplitude de desbalanceamento seja menor que 0,5 μm . É preferível ter uma amplitude de desbalanceamento de rebolo menor que 0,3 μm .

[0054] Rebolos superabrasivos. Em uma configuração da invenção, a camada abrasiva do rebolo é empregada em uma configuração como ilustrada na figura 1, a qual mostra uma seção transversal de um disco, com a periferia externa circular (na forma de um anel) compreendendo um sistema aglutinado vitrificado com uma composição superabrasiva, p. ex., abrasivo de CBN, sinterizado sobre um material base inorgânico tal como óxido de alumínio vitrificado ou um material não cerâmico como a camada suporte 12 para formar um membro único.

[0055] A camada suporte 12 também pode ser um membro separado produzido de um material inorgânico ou um material orgânico ao qual a camada de abrasivo de CBN é fixada por meio de um adesivo. A própria camada de CBN, ou junto com a 12 pode ser de um design segmentado de um membro em camada superficial contínua que é ligado por meio de uma camada de adesivo 13 ao núcleo do disco 14. Em uma configuração da invenção, um design de disco de camada abrasiva segmentada é usado.

[0056] O núcleo de disco 14 pode compreender materiais metálicos ou poliméricos, e a camada de ligação adesiva 13 pode compreender materiais de ligação orgânicos ou inorgânicos. Em uma outra configuração, o rebolo pode ser produzido sem a camada suporte 12.

[0057] Em outras configurações da invenção, o membro de disco superabrasivo pode ser de diferentes configurações de disco como ilustradas nas figuras 2A-2F, tais como discos de

alívio de cantos arredondados, abaulados (abaulado convexo ou abaulado côncavo), cilíndricos ou cônicos, e similares. Estas configurações podem ser conseguidas por desempenamento ou moldando os segmentos abrasivos no formato desejado com dimensões como mostradas na Tabela 1:

Tabela 1: configurações de rebolos de CBN exemplares para aplicações de retífica de cilindros

Diâmetro do disco, D	400 mm - 1000 mm
Largura do disco, W	6 mm - 200 mm
Espessura da camada de CBN, T	3 mm - 25 mm
Espessura da camada suporte, X	0 mm - 25 mm
A	0,002 mm - 1 mm
B	0,1 W - 0,9 W
C	0,005 mm - 3 mm
D	0,005 mm - 10 mm

[0058] Em uma configuração da invenção, o membro abrasivo de CBN do rebolo pode ter uma configuração como ilustrada na figura 3 com o uso de discos multisseção tendo diferentes composições de superabrasivo na camada abrasiva, em um sistema de aglutinado vitrificado inorgânico ou aglutinado de resina orgânica. O uso de discos de multisseção é ilustrado com as múltiplas seções 111, 112, 113 no disco, e/ou uso de larguras variadas de seção. As larguras de seção podem variar de 2% até 40% da largura total do disco (W).

[0059] Em outras configurações para maximizar a performance da retífica, uma combinação da configuração de disco (como ilustrado nas figuras 2A-2F) pode ser combinada com discos multisseção tendo variáveis variadas e otimizadas tais como composições superabrasivas de diferentes tamanhos de mesh, ou índices de friabilidade.

[0060] As mudanças no tamanho de mesh e concentração de abrasivo podem afetar o módulo elástico relativo das diferentes seções do disco. Portanto, em algumas aplicações o

uso de CBN de tamanho de mesh e concentração variados nas seções externas do disco e largura de seção diferente pode ser otimizado e/ou balanceado para performance ótima em termos de trepidação, marcas de avanço e/ou a capacidade para retificar perfis complexos. Em uma configuração da invenção, o uso de rebolos compreendendo uma concentração mais alta de CBN ou diamante provê um acabamento superficial melhorado e vida diminuída embora possam ser mais propensos a marcas de trepidação.

[0061] Aplicação dos rebolos da invenção. Em uma configuração da invenção, um disco de CBN é usado para retificar cilindros de geometrias de perfil de cilindro variadas, p. ex., perfil de cilindro abaulado ou um perfil numérico contínuo de amplitude e período variados ao longo do eixo geométrico do cilindro, em uma máquina de retífica acionada por CNC [controle numérico] tal que a razão TT/WWC seja maior que 10.

[0062] Deve ser notado que os métodos e princípios da presente invenção com o uso de um disco de CBN, também podem ser aplicados a sistemas aglutinados outros que aglutinação vitrificada inorgânica, p. ex., discos de CBN aglutinados de resina, para conseguir resultados similares na retífica de cilindros.

[0063] Em uma outra configuração, um disco de CBN vitrificado tendo a mesma especificação de disco e geometria de disco que um disco de retífica da técnica anterior, é usado para retificar diferentes materiais de cilindro de trabalho (tais como materiais de cilindro de ferro, cilindro de aço de alto cromo, cilindro de HSS forjado e de cilindro de HSS fundido) randomicamente com geometrias de perfis

variadas tendo que desempenhar o disco para mudança de material do cilindro ou uma mudança de geometria de perfil do cilindro, similar ao rebolo comparativo da técnica anterior.

[0064] Discos de retífica exemplares da invenção podem ser usados para retificar cilindros de trabalho em laminadores de tiras, que são tipicamente maiores que 610 mm de comprimento, com um diâmetro de pelo menos 250 mm. Os cilindros de trabalho podem ser de vários formatos, p. ex., cilindro reto, perfil abaulado, e outros perfis polinomiais complexos ao longo do eixo geométrico do cilindro. Eles são tipicamente retificados para tolerâncias requeridas tais como: tolerância de formato de perfil menor que 0,025 mm, tolerância de conicidade menor que 15 nanômetros por mm de comprimento, erro de redondeza menor que 0,006 mm, e com requisito de acabamento superficial de Ra menor que 1,25 microns, sem marcas visíveis de trepidação, marcas de avanço, degradação térmica do material do cilindro, e outras irregularidades superficiais tais como marcas de riscos e trincas térmicas sobre a superfície do cilindro. Em uma segunda configuração, o Ra do acabamento superficial é menor que 5 microns. Em uma terceira configuração, o acabamento superficial Ra é menor que 3 microns.

[0065] Em ainda uma outra configuração, um disco de CBN aglutinado vitrificado é usado para retificar materiais de cilindro de trabalho sem quaisquer marcas de trepidação e marcas de avanço discerníveis. A trepidação é suprimida balanceando dinamicamente o disco na máquina e escolhendo os parâmetros de retífica tais que frequências e harmônicos ressonantes não sejam gerados no sistema durante a retífica. As marcas de avanço sobre a superfície do cilindro são

eliminadas variando as taxas de cruzamento do rebolo em cada passada de retífica e/ou variando as taxas de remoção de material para cada passagem de retífica.

[0066] Em uma outra configuração, a trepidação de cilindro é suprimida induzindo uma variação controlada no disco de CBN aglutinado vitrificado e/ou velocidade rotacional do cilindro de trabalho, amplitude e período durante o processo de retífica, sendo que a razão da velocidade do rebolo para a velocidade do cilindro não é constante.

[0067] As figuras 4A e 4B são ilustrações mostrando a diferença no ciclo de retífica entre um disco da técnica anterior compreendendo óxido de alumínio convencional e/ou carbetto de silício em um sistema aglutinado de resina orgânica, e um rebolo aglutinado de CBN de uma configuração da invenção, respectivamente.

[0068] Como ilustrado na figura 4A, o rebolo W que está em contato com a superfície de cilindro R na posição A1 é avançado a uma profundidade de A2 (correspondente ao avanço da extremidade radial do disco $EI = A1 \text{ menos } A2$) e cruzado ao longo do eixo geométrico do cilindro para a posição B1 na outra extremidade do cilindro. Uma vez que o disco comparativo da técnica anterior se desgasta continuamente indo de A2 para B1, uma compensação de desgaste de disco (WWC) é adicionada para o cabeçote do rebolo deslizar para compensar a diminuição no raio do disco, tal que o resultado líquido de remover material ao longo do cilindro de trabalho seja igual à quantidade do avanço da extremidade EI. A trajetória da ferramenta T1 ilustra a compensação de desgaste do disco que é aplicada, com a magnitude sendo igual a A2 menos B1. Após o disco alcançar a posição B1, o rebolo é

adicionalmente avançado para a posição B2 e cruzado para a posição A3, com compensação de desgaste do disco ao longo da trajetória de ferramenta T2. O procedimento é aplicado em vaivém até que o cilindro de trabalho esteja acabado para a tolerância geométrica. Na prática da retífica de cilindro da técnica anterior, a razão TT/WWC tipicamente varia de 0,25 a 5 para uma tolerância de conicidade de cilindro de 0,025 mm.

[0069] A figura 4B ilustra uma configuração da presente invenção com um disco de CBN aglutinado vitrificado, e com zero ou mínima compensação de desgaste de disco que é menor do que 1 nanômetro por mm de comprimento do cilindro. Ao rebolo W que está em contato com a superfície de cilindro R é dada uma quantidade de avanço de extremidade $EI = A1$ menos $A2$, e cruzado ao longo do eixo geométrico do cilindro para a posição B1. Como ilustrado, a trajetória de ferramenta T1 é reta e requer pouca, se alguma, compensação de desgaste de disco, à medida que o rebolo nesta invenção remove material uniformemente ao longo do eixo geométrico do cilindro de trabalho correspondente à quantidade de avanço de extremidade EI. Na posição de disco B1, o rebolo é adicionalmente avançado para dentro da superfície do cilindro para a posição B2 e cruzado ao longo do cilindro para a posição A3. A trajetória de ferramenta T2 é paralela a T1 e não envolve compensação de desgaste do disco. Este processo é repetido até que a quantidade de desgaste no cilindro de trabalho seja removida e a geometria desejada do cilindro de trabalho seja alcançada. A razão TT/WWC nesta configuração é maior que 10.

[0070] Em uma configuração da invenção para uma tolerância de conicidade de cilindro de 0,025 mm, a razão TT/WWC é maior que 10 (comparada com uma razão menor que 3 como divulgado na

publicação de patente US N° 20030194954). Em uma segunda configuração da invenção, a razão TT/WWC é maior que 25. Em ainda uma terceira configuração da invenção, a razão de TT/WWC é maior que 50.

[0071] Em uma configuração de uma operação de retífica de cilindro, o rebolo é dinamicamente balanceado no fuso da máquina de retífica para amplitude de desbalanceamento menor que 0,5 μm na velocidade operacional. A velocidade operacional pode variar de 20 m/s a 60 m/s. Os discos superabrasivos da invenção podem ser usados em retífica de cilindro a quente e a frio de cilindros de ferro e aço (materiais ferrosos em geral), opcionalmente de dureza maior que 65 HC, tal como aqueles usados em indústrias siderúrgicas, de alumínio, cobre e papel. O ângulo entre o eixo geométrico rotacional do rebolo e o eixo geométrico rotacional do cilindro é preferivelmente cerca de 25 graus ou menor e opcionalmente, próximo de zero grau, embora outros ângulos sejam possíveis. Os discos podem ser usados para retificar cilindros de diferentes perfis, incluindo mas não limitados a cilindros retos, cilindros abaulados, e cilindros de perfil numérico contínuo para atender tolerâncias geométricas e de tamanho tal que a razão de TT/WWC seja maior que 10.

[0072] A resistência ao desgaste extremamente alta dos materiais superabrasivos, p. ex., CBN, garante que a quantidade de material removido será muito próxima da remoção de material teórica (aplicada). Portanto em uma configuração da invenção, a quantidade de material de retífica de cilindro removido usando rebolos de CBN é definida de modo a minimizar a perda de material do cilindro, enquanto alcançando a

tolerância do perfil do cilindro ao mesmo tempo. Isto é realizado definindo o material de cilindro a ser removido baseado no perfil de desgaste inicial do cilindro e desvio radial no cilindro.

[0073] Em uma configuração, o processo de retifica de cilindro é preparado de modo a utilizar a velocidade de retífica mais alta possível sem provocar desbalanceamento adverso do disco durante tanto as passadas de desbaste quanto de acabamento, p. ex., a velocidade do rebolo de 18 m/s a 60 m/s para discos de CBN com diâmetro até 30". Em uma outra configuração com discos de CBN tendo diâmetros variando de 30" a 40", a velocidade do rebolo é limitada a 45 m/s baseada no design da máquina e limite de segurança na máquina de retífica de cilindro. Em ainda uma outra configuração de máquinas de retífica de cilindro empregando rebolos de CBN maiores que 30" de diâmetro, as velocidades de retífica são definidas a serem maiores que 45 m/s. As velocidades de (cilindro) de trabalho podem ser selecionadas tal que as taxas de cruzamento possam ser maximizadas. A velocidade do rebolo e velocidades das taxas de cruzamento podem ser reduzidas nas passadas de acabamento para conseguir uma superfície de cilindro que seja livre de marcas de avanço e marcas de trepidação, e ainda atender requisitos de rugosidade superficial.

[0074] Em uma configuração, as velocidades de trabalho usadas para a retífica de cilindros empregando os discos superabrasivos estão na faixa de 18 m/min até 200 m/min. Em uma outra configuração de rebolos compreendendo CBN em um sistema aglutinado vitrificado inorgânico, a performance do disco em termos de razão de Retífica (G) varia de 35 a 1200,

para retificar uma combinação de materiais de cilindro variando de cilindros de ferro resfriado a aço de alta velocidade. Isto é comparado com a razão de Retífica típica (G) nos discos da técnica anterior empregando óxido de alumínio, de 0,5 a 2,093. O processo de retífica de cilindro pode ser realizado usando múltiplas passadas com rápido cruzamento através do cilindro (retífica transversal) ou em uma única passada com grande profundidade de corte usando taxas de cruzamento baixas (retífica de avanço-fluência). Redução substancial em tempo de ciclo pode ser obtida usando método de retífica de avanço-fluência para retífica de cilindro.

[0075] Em uma configuração da operação de retífica de cilindro, uma quantidade mínima de material é removida do cilindro de trabalho para trazer o cilindro para a geometria correta de perfil a partir da condição desgastada, com o material removido no diâmetro do cilindro sendo menor do que cerca de 0,2 mm (mais desgaste do cilindro) comparado com uma remoção maior que 0,25 mm (mais desgaste do cilindro) com um disco da técnica anterior empregando óxido de alumínio em uma aglutinação de resina orgânica. Preferivelmente, a remoção de material é menor do que cerca de 0,1 mm, menor do que cerca de 0,05 mm, e ainda mais preferivelmente, menor que cerca de 0,025 mm. Isto representa um aumento de pelo menos 20% na utilização de cilindro útil no laminador de tiras a quente antes de ser substituído por um novo cilindro.

[0076] Em ainda uma outra configuração da invenção, um aumento em qualidade superficial pode ser alcançado eliminando marcas de trepidação e/ou marcas de avanço controlando a amplitude e período da frequência rotacional do

rebolo, e/ou controlando a amplitude e período da frequência rotacional do cilindro de trabalho continuamente durante o processo de retífica.

[0077] Em ainda uma outra configuração da invenção, a operação de retífica do cilindro empregando o disco de CBN vitrificado da invenção pode ser executada com mínima ou nenhuma compensação de erro de perfil e compensação de erro de conicidade. No evento que a compensação seja necessária, a compensação de erro de perfil e compensação de conicidade são aplicadas somente para corrigir desalinhamento do cilindro na máquina ou variações de temperatura no sistema da máquina ou devido a outros erros de cilindro tais com desvios axial e radial quando montado na máquina.

[0078] EXEMPLOS. Exemplos são providos aqui para ilustrar a invenção mas não são intencionados a limitar o escopo da invenção. Em alguns dos exemplos, a performance de retífica de uma configuração do CBN vitrificado aglutinado inorganicamente da invenção é comparada contra um estado comercialmente disponível e representativo do rebolo abrasivo convencional da técnica (óxido de alumínio ou uma mistura de óxido de alumínio e carbetto de silício como o material abrasivo primário) que é usado em uma oficina de retífica de cilindro de produção.

[0079] Dados do disco de teste: Nos Exemplos 1 e 2, os discos comparativos C1 são discos tipo 1A1 com 32" de diâmetro x 4" de largura x 12" de furo. Deve ser notado que discos de retífica de cilindro abrasivos convencionais tipicamente têm um diâmetro utilizável mínimo de 24".

[0080] Os discos deste exemplo têm uma dimensão de 30" de D x 3,4" de L x 12" de Ø, com camada de CBN utilizável de

1/8" de espessura, design de camada abrasiva de CBN segmentada colada a um núcleo de alumínio. Três discos de retífica de CBN vitrificado comerciais produzidos com as formulações especificadas pela Diamond Innovations, Inc., de Worthington, OH, foram usados para os discos deste exemplo para a avaliação:

CBN-1: CBN Borazon Tipo I, baixa concentração, dureza média de aglutinação

CBN-2: CBN Borazon Tipo I, baixa concentração, dureza alta de aglutinação

CBN-2: CBN Borazon Tipo I, baixa concentração, dureza alta de aglutinação.

[0081] Os discos de CBN vitrificado nos exemplos são desempenados com um disco rotativo de diamante, tal que o desvio radial seja menor que 0,002 mm (em algumas corridas, menor que 0,001 mm) sob as seguintes condições:

Dispositivo: desbastador rotativo com motor de 1/2 HP

Tipo de disco: disco de diamante aglutinado metálico 1A1

Tipo de diamante: MBS-950 de Diamond Innovations, Inc., de Worthington, OH.

[0082] Tamanho do disco: 6,0" (DE) x 0,1" (L)

[0083] Velocidade do disco: maior que 18 m/s

[0084] Razão de velocidade de desbaste: 0,5 unidirecional

[0085] Avanço/rev.: 0,127 mm/rev.

[0086] Entrada/passe: 0,002 mm/passe

[0087] Após desempenar, os discos de CBN vitrificado são dinamicamente balanceados no fuso de retífica em uma velocidade de disco de 45 m/s e amplitude de desbalanceamento menor que 0,5 μm (preferivelmente menor que 0,3 μm).

[0088] O disco comparativo C-1 é nivelado com uma

ferramenta de diamante de ponto único como pela prática normal na indústria. O disco comparativo também é balanceado na mesma extensão que os discos de CBN vitrificados da invenção nos testes.

[0089] Exemplo 1 - Performance de retífica de cilindros de ferro: Neste exemplo, os testes de comparação de retífica de cilindros são conduzidos em uma máquina de retífica de cilindros por CNC Waldrich Siegen de 100 HP onde o eixo geométrico rotacional do rebolo é substancialmente paralelo ao eixo geométrico rotacional do cilindro, tal que o ângulo seja menor que cerca de 25 graus. As dimensões do cilindro de ferro são 760 D x 1850 L, mm. Um refrigerante sintético solúvel em água em uma concentração de 5% em volume é aplicado durante a retifica. A taxa de fluxo de refrigerante e condições de pressão são as mesmas para o disco convencional e o disco de CBN vitrificado nesta avaliação. Os discos de ferro temperado têm uma quantidade de desgaste radical de 0,23 mm que tem que ser corrigida na operação de retífica tal que a tolerância de conicidade seja menor que 0,025 mm e a tolerância de perfil seja menor que 0,025 mm. As condições de retífica para o disco convencional comparativo e o disco de CBN vitrificado são aproximadamente equivalentes para velocidade do disco, taxa de cruzamento, velocidade de trabalho e profundidade de corte por passe. Os resultados da retífica são dados abaixo na Tabela 2.

Tabela 2

Parâmetros da retífica	Disco Comp. C-1	Discos de CBN vitrificado, CBN-1, CBN-2, CBN-3
Material do cilindro	Ferro temp. 70 HC	Ferro temp. 70 HC
TT/WWC mm	0,5 - 5	>2000
# de cilindros de trabalho retificados	4	4
Resultados da retífica:		
Média de mat. removido no diâmetro, mm	0,4	0,2
Potência máx. retífica, kW/mm	0,45	0,29
Qualidade do perfil abaulado e conicidade	Dentro espec.	Dentro espec.
Marcas de trep. e entr.	Dentro espec.	Dentro espec.
Marcas de riscos visuais	Dentro espec.	Dentro espec.
Rugosidade superf., Ra	Dentro espec.	Dentro espec.
Degradação térmica	Dentro espec.	Dentro espec.
Razão de Retífica, T	Disco C1 = 2,62	CBN-1 = 100 CBN-2 = 400 CBN-3 = >2000

[0090] Como mostrado na tabela, para rebolos deste exemplo, CBN-1, CBN-2 e CBN-3 produzem uma razão de retífica G muito alta, variando de 38 vezes a 381 vezes aquela do disco comparativo C-1 da técnica anterior. Também, a razão de TT/WWC para rebolos de CBN é 400 vezes maior do que aquela do disco comparativo para retificar os cilindros para a especificação.

[0091] Também como mostrado, a potência máxima de retífica por largura unitária do disco para discos de CBN é 35% mais baixa do que o disco comparativo. Os resultados também mostram que 50% menos remoção de material é requerida com discos de CBN comparado com o disco comparativo da técnica anterior para corrigir o cilindro para a geometria desejada. Esta remoção reduzida de material aumenta a vida útil de serviço do cilindro de ferro em 50%; uma economia significativa de custo para a usina de cilindros.

[0092] Exemplo 2 - Performance de retífica de cilindros de

HSS forjados: Neste exemplo, os mesmos discos do Exemplo 1 são usados para retificar um cilindro de trabalho de HSS forjado tendo um perfil polinomial complexo ao longo do eixo geométrico do cilindro.

[0093] Os discos não são desempenados e continuam na mesma condição após retificar os cilindros de ferro temperado na mesma máquina de retífica. Os cilindros de HSS têm um desgaste radial inicial de 0,030 mm e têm que ser retificados tal que as tolerâncias de forma de conicidade e perfil sejam menores que 0,025 mm. As condições de retífica em termos da velocidade do disco, velocidade de trabalho, taxa de cruzamento e profundidade de corte são equivalentes ao disco comparativo e ao disco de CBN vitrificado. As dimensões do cilindro de HSS usado são 760,5 D x 1850 L, mm.

[0094] As condições de retífica e resultados são dados abaixo na Tabela 3.

Tabela 3

Parâmetros da retífica	Disco Comp. C-1	Discos de CBN vitrificado, CBN-1, CBN-2, CBN-3
Material do cilindro	HSS forj. 80 HC	HSS forj. 80 HC
TT/WWC mm	0,5 - 5	>2000
# de cilindros de trabalho retificados	4	4
Resultados da retífica:		
Média de mat. removido no diâmetro, mm	0,36	0,2
Potência máx. retífica, kW/mm	0,5	0,35
Qualidade do perfil abaulado e conicidade	Dentro espec.	Dentro espec.
Marcas visuais de trep. e entr.	Dentro espec.	Dentro espec.
Marcas de riscos visuais	Dentro espec.	Dentro espec.
Rugosidade superf., Ra	Dentro espec.	Dentro espec.
Degradação térmica	Dentro espec.	Dentro espec.
Razão de Retífica, T	Disco C1 = 1,27	CBN-1 = 36 CBN-2 = 200 CBN-3 = 1000

[0095] Ao retificar os cilindros de HSS, as razões de

retífica G para os discos CBN-1, CBN-2 e CBN-3 variam de 27 a 787 vezes aquela do disco comparativo C-1 com abrasivos convencionais aglutinados de resina orgânica. A razão de TT/WWC é pelo menos 400 vezes maior para rebolos de CBN do que aquela do disco comparativo para retificar os cilindros dentro da especificação. A potência máxima de retífica por largura unitária de retífica para todos os três discos de CBN é 30% menor do que aquela do disco comparativo C-1. Também é observado que menos remoção de material é requerida pelo disco de CBN vitrificado para acabar o cilindro de trabalho gasto para a geometria final desejada. A vida do cilindro de HSS pode portanto ser estendida adicionalmente em pelo menos 35%, resultando em economia de custo significativa para a usina de cilindros e oficina de cilindros.

[0096] Portanto, múltiplos materiais de cilindros podem ser eficientemente retificados com o disco de CBN aglutinado vitrificado inorgânico da invenção, neste exemplo provendo vida de disco prolongada em mais do que duas ordens de magnitude em relação à prática da técnica anterior empregando um disco aglutinado de resina orgânica contendo abrasivos convencionais como o material abrasivo primário.

[0097] Exemplo 3 - Método de supressão de trepidação para um disco de CBN vitrificado: Neste exemplo, o efeito da variação da velocidade rotacional do disco para o disco de CBN aglutinado vitrificado durante o processo de retífica para suprimir trepidação é demonstrado. Uma vez que o sistema de CBN aglutinado vitrificado inorgânico tipicamente tem um módulo E alto (10-200 GPa), comparado com discos aglutinados de resina orgânica da técnica anterior (módulo E entre 1-10 GPa) e a taxa de desgaste de disco de CBN da invenção é bem

baixa, os harmônicos da máquina devido a auto-vibração excitada durante a retífica são prontamente observados no cilindro como marcas de trepidação em frequências de harmônicos distintas do sistema da máquina.

[0098] Como ilustrado nas figuras 5A-5C, os depositantes surpreendentemente descobriram que é possível evitar marcas de trepidação discerníveis dissipando as amplitudes de harmônicos através de um espectro de frequências mais amplo, ao invés de ficarem concentradas em certas frequências.

[0099] Em um exemplo, um acelerômetro piezelétrico é montado no alojamento suporte do fuso da máquina de retífica e a vibração gerada durante o processo de retífica é monitorada. A figura 5A mostra a amplitude versus frequência da velocidade de vibração medida quando retificando um cilindro de trabalho com um disco de CBN vitrificado da invenção, em uma velocidade de disco de 942 rpm. As amplitudes de vibração estão concentradas em 3084, 4084 e 5103 ciclos por minuto. A magnitude da velocidade de vibração é um máximo em 0,002 ips a 4084 cpm.

[00100] Na figura 5B, a amplitude da rpm do fuso do rebolo é flutuada em 10% em um período de 5 segundos. É visto que a velocidade da vibração é ligeiramente diminuída e é dispersada através de uma frequência mais ampla ao invés de ficar concentrada.

[00101] Na figura 5C, a rpm do fuso é flutuada em amplitude de 20% e um período de 5 segundos. É visto que a amplitude da velocidade de vibração é adicionalmente diminuída para menos que 0,001 ips, e está distribuída através de uma faixa de frequências mais ampla sem harmônicos distintos.

[00102] Em uma configuração do método da invenção, esta

técnica de variação da velocidade do fuso é empregada em conjunção com o disco de CBN aglutinado vitrificado para suprimir trepidação. A técnica de variação de velocidade do fuso é aplicada em uma amplitude de variação de velocidade entre 1-40% e em um período de 1 a 30 segundos durante o processo de retífica. A variação de velocidade pode ser na velocidade rotacional do rebolo, na velocidade do cilindro de trabalho, ou em ambas as velocidades. Em um exemplo, a técnica é aplicada com uma variação de frequência rotacional de disco (rpm) em uma amplitude de $\pm 20\%$ com um período de 5 segundos.

[00103] Em uma outra configuração, a supressão de trepidação é obtida flutuando a velocidade do cilindro de trabalho independentemente ou simultaneamente com a flutuação da velocidade do rebolo. Em uma terceira configuração, a supressão de trepidação é surpreendentemente obtida usando a técnica de variação de velocidade do fuso em conjunção com um rebolo convencional da técnica anterior, isto é, um disco empregando abrasivos primariamente convencionais.

[00104] A Tabela 4 é um sumário dos resultados obtidos ao retificar uma ampla variedade de materiais de cilindro (8 cilindros de ferro, 4 cilindros de HSS forjados e 4 cilindros de HSS fundidos) usando uma configuração do disco da presente invenção, CBN-2, em um ambiente típico de produção.

Tabela 4

Resultados da retífica	Disco comp. C-1	Disco de CBN vitrificado CBN-2
Média de mat. removido no diâmetro, mm	0,35	0,2
Potência máx. da retífica, kW/mm	0,5	0,35
Qualidade do perfil e conicidade	Dentro espec.	Dentro espec.
Marcas de trepidação e de avanço	Dentro espec.	Dentro espec.
Marcas de riscos	Dentro espec.	Dentro espec.
Rugosidade superficial, Ra	Dentro espec.	Dentro espec.
Degradação térmica	Dentro espec.	Dentro espec.
Razão de Retífica Média, G	1,27	200

[00105] Os resultados na Tabela 4 demonstram a capacidade de performance do disco de CBN neste exemplo para retificar uma ampla variedade de materiais de cilindro de uma maneira significativamente mais eficiente do que o disco comparativo da técnica anterior. Os resultados mostram que os cilindros podem ser retificados com CBN-2 para especificações de cilindro acabado com mais que 40% de redução em material médio removido e com 30% menos de potência de retífica em relação ao disco comparativo C-1. Em adição a razão de retífica G para CBN-2 é pelo menos 150 vezes aquela do disco comparativo C-1.

[00106] Embora a invenção tenha sido descrita com referência a uma configuração preferida, aqueles experientes na técnica compreenderão que várias mudanças podem ser feitas e equivalentes podem ser substitutos para elementos da mesma sem se desviar do escopo da invenção. É pretendido que a invenção não seja limitada à configuração particular divulgada como o melhor modo para executar esta invenção, mas que a invenção inclua todas as configurações caindo dentro do escopo das reivindicações anexas.

[00107] Todas as citações referidas aqui são expressamente

incorporadas aqui por referência.

REIVINDICAÇÕES

1. Método para retificar um cilindro ferroso, tendo uma superfície de cilindro rotativa com um rebolo rotativo, o cilindro ferroso tendo uma dureza superior a 65 SHC e um diâmetro mínimo de pelo menos 254 mm e um comprimento de pelo menos 609,6 mm, caracterizado pelo fato de compreender:

- a) montar um rebolo em um fuso de máquina e definir o ângulo entre o eixo geométrico rotacional do rebolo e o eixo geométrico rotacional do cilindro inferior a 25 graus;
- b) trazer o rebolo em contato com uma superfície de cilindro rotativa e cruzar o rebolo através da extensão axial do cilindro, enquanto mantendo uma tolerância de conicidade axial (TT) para compensação de desgaste radial do rebolo (WWC) superior a 10; e
- c) retificar a superfície do cilindro para uma rugosidade superficial Ra inferior a 5 micrômetros enquanto deixando a superfície do cilindro substancialmente livre de marcas de avanço, marcas de trepidação, e irregularidades superficiais, sendo que o citado rebolo inclui uma camada compreendendo um material superabrasivo tendo uma dureza Knoop superior a 3000 KHN, selecionado do grupo de diamante natural, diamante sintético, nitreto de boro cúbico e misturas dos mesmos, com ou sem um abrasivo secundário com dureza Knoop inferior a 3000 KHN, em um sistema aglutinado; sendo que o material superabrasivo compreende nitreto de boro cúbico e a quantidade de nitreto de boro cúbico, no citado sistema aglutinado de rebolo, estar na faixa de 10 a 60% em volume; sendo o rebolo girado de 18 a 60 m/s e tendo uma taxa de cruzamento de pelo menos 50 mm/min, sendo que o material do cilindro é removido em uma taxa superior a 2 cm³/min e sendo

a retífica executada em uma razão G de pelo menos 20.

2. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de o cilindro ser retificado para uma rugosidade superficial Ra inferior a 3 micrômetros.

3. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 e 2, caracterizado pelo fato de a superfície do cilindro ferroso ser substancialmente livre de degradação térmica do material do cilindro.

4. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, caracterizado pelo fato de a razão de TT para WWC ser superior a 25.

5. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 4, caracterizado pelo fato de o sistema aglutinado ser um de:
a) um aglutinado vitrificado compreendendo pelo menos um de argila, feldspato, cal, bórax, soda, frita de vidro, materiais em frita e combinações dos mesmos; e b) um sistema aglutinado de resina compreendendo pelo menos uma de uma resina fenólica, uma resina epóxi, uma resina de poliimida e misturas destas.

6. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 5, caracterizado pelo fato de, adicionalmente, compreender a etapa de remover material do cilindro ferroso em uma passada ou múltiplas passadas.

7. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 6, caracterizado pelo fato de o rebolo ter um eixo geométrico de rotação que é substancialmente paralelo ao eixo geométrico rotacional do cilindro.

8. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 7, caracterizado pelo fato de o citado cilindro ferroso ser um sólido de revolução tendo uma geometria superficial

selecionada de um de: um abaulamento convexo, um abaulamento côncavo, um perfil numérico contínuo, e um formato polinomial ao longo do eixo geométrico do cilindro, retificado para uma tolerância de perfil de forma inferior a 0,05 mm.

9. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 8, caracterizado pelo fato de o citado rebolo remover uma quantidade de material inferior a 0,2 mm do diâmetro mínimo de cilindro desgastado.

10. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 9, caracterizado pelo fato de o citado rebolo conseguir a retífica do cilindro ferroso com ou sem uma passada para correção de erro de perfil ou conicidade.

11. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 10 caracterizado pelo fato de compreender ainda, durante a retífica, a etapa de manter pelo menos uma ou ambas as condições de velocidade rotacional do rebolo e de velocidade rotacional do cilindro do laminador, variada em uma quantidade de ± 1 a 40% em amplitude, por um período de 1 a 30 segundos.

12. Método, de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato de a citada frequência rotacional do rebolo ser variada em uma amplitude de $\pm 20\%$ por um período inferior a 5 segundos.

13. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 12, caracterizado pelo fato de o cilindro ter um diâmetro de pelo menos 457,2 mm e um comprimento de pelo menos 609,6 mm.

14. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 13, caracterizado pelo fato de o material do cilindro ser removido em uma taxa superior a 20 cm³/min.

15. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a

14, caracterizado pelo fato de o material do cilindro ser removido em uma taxa superior a 35 cm³/min.

1/7

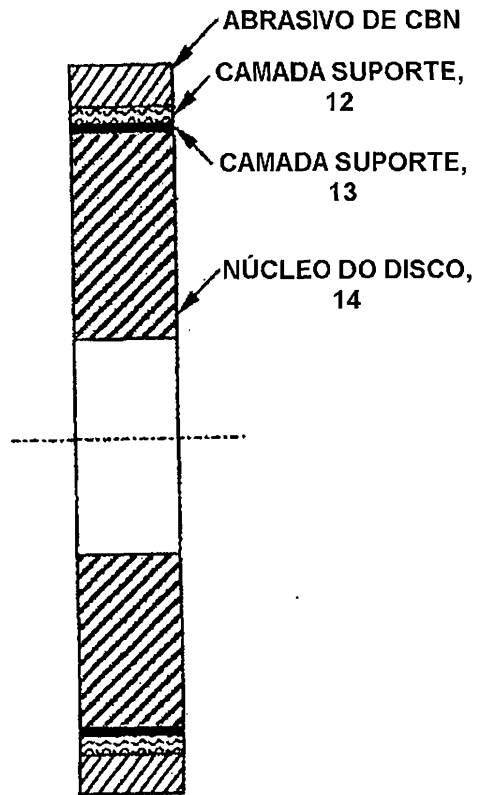


FIG.1

2/7

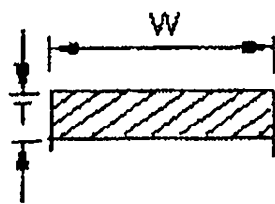


FIG. 2A

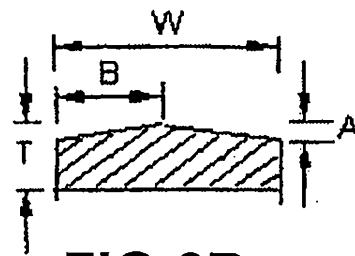


FIG. 2B

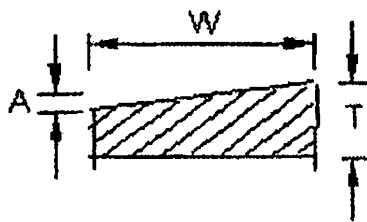


FIG. 2C

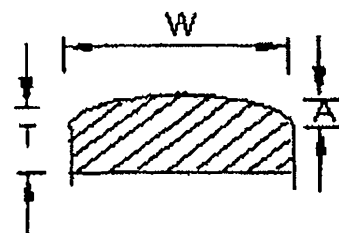


FIG. 2D

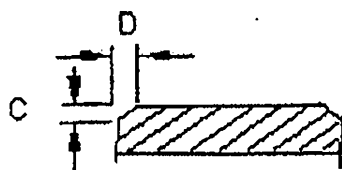


FIG. 2E

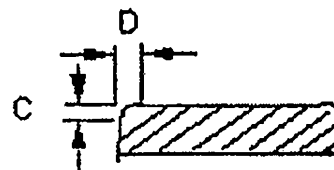


FIG. 2F

3/7

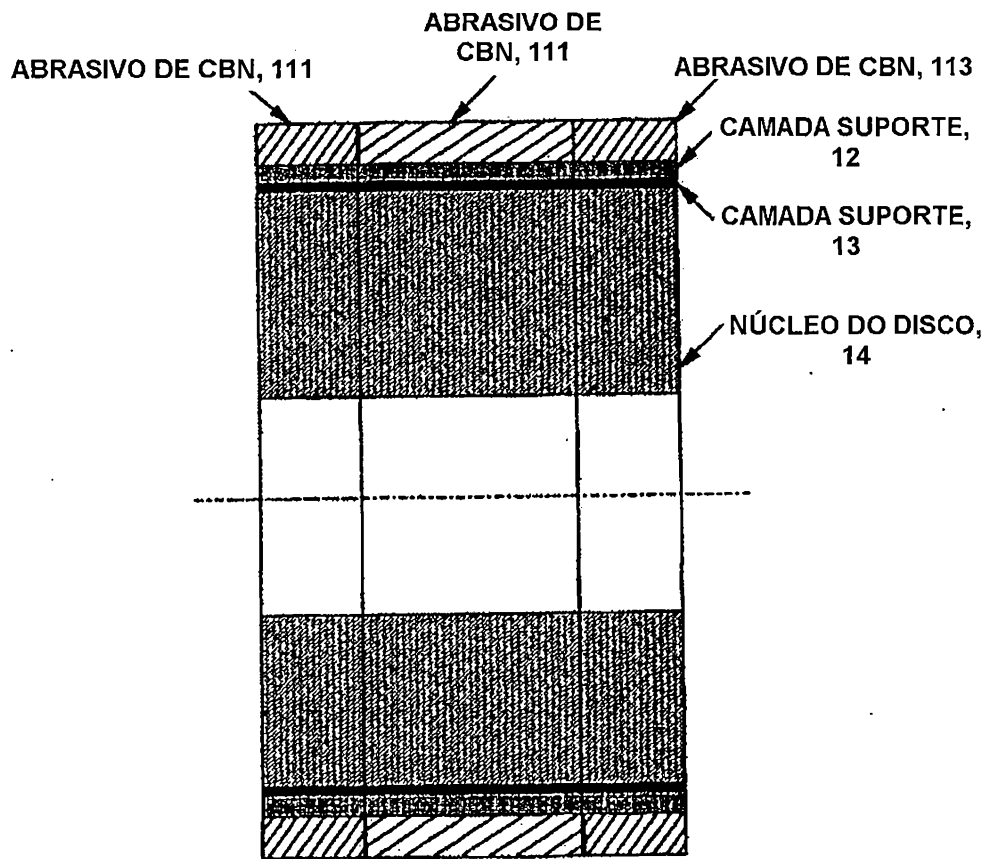


FIG.3

4/7

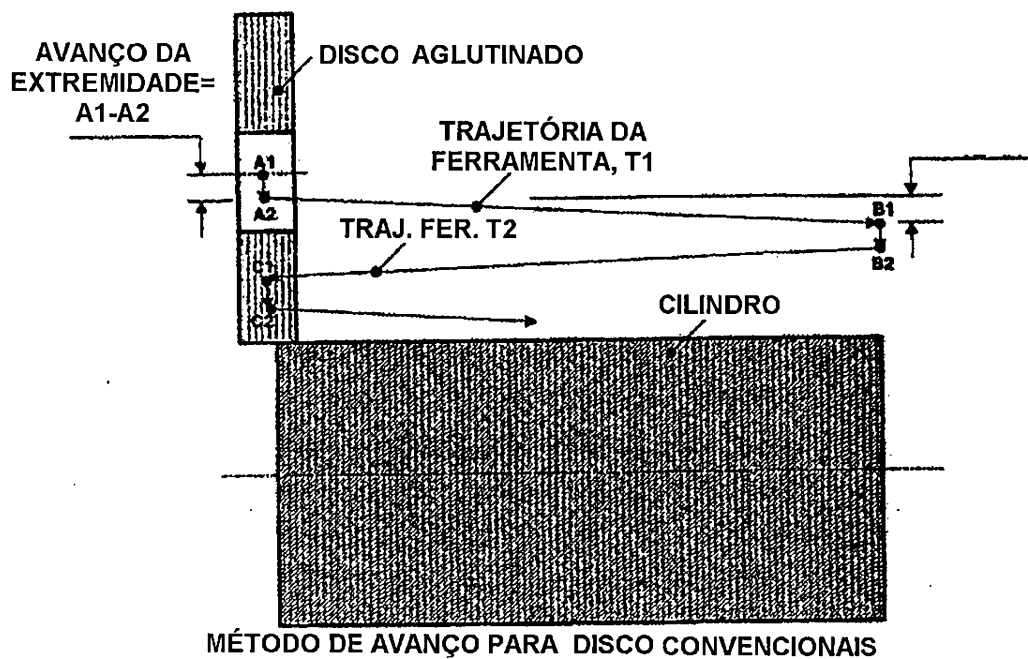


FIG.4A

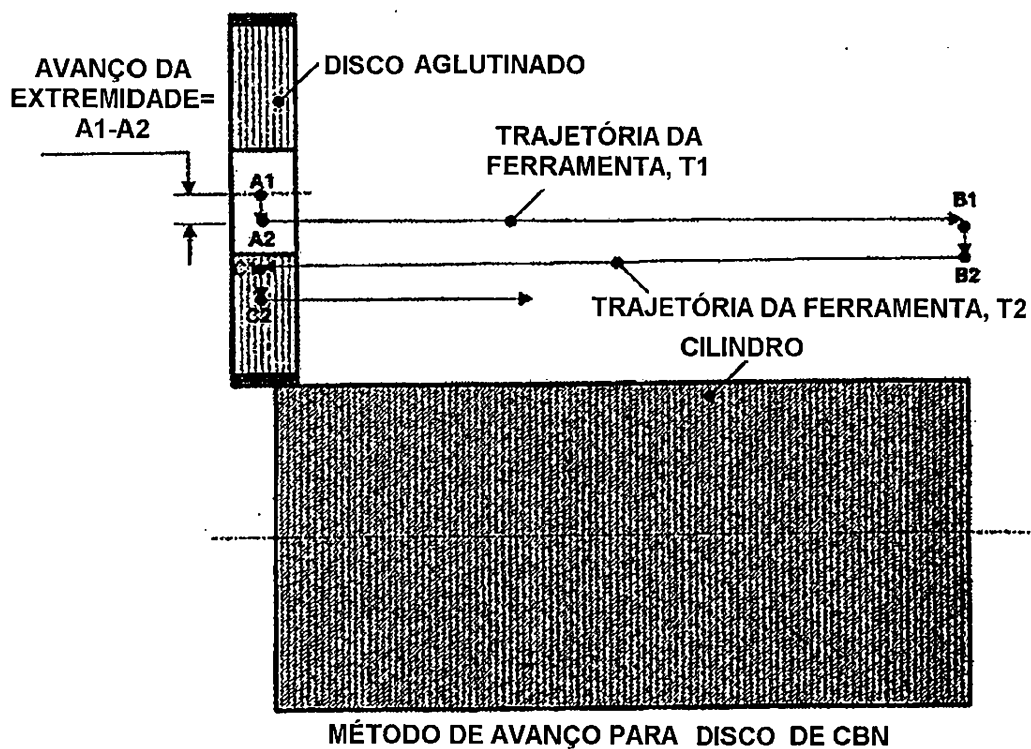


FIG.4B

5/7

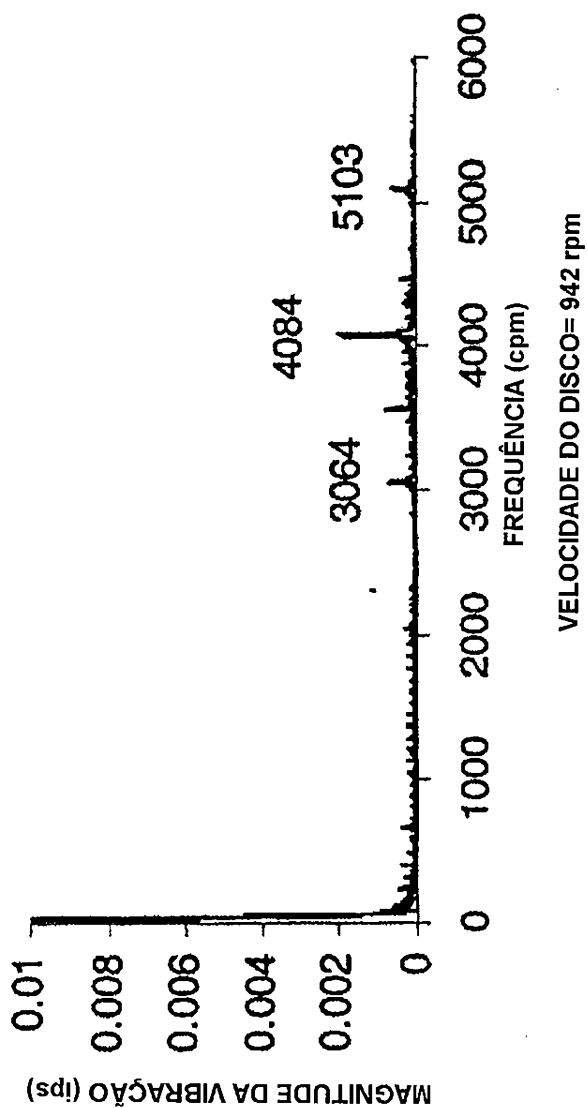


FIG.5A

6/7

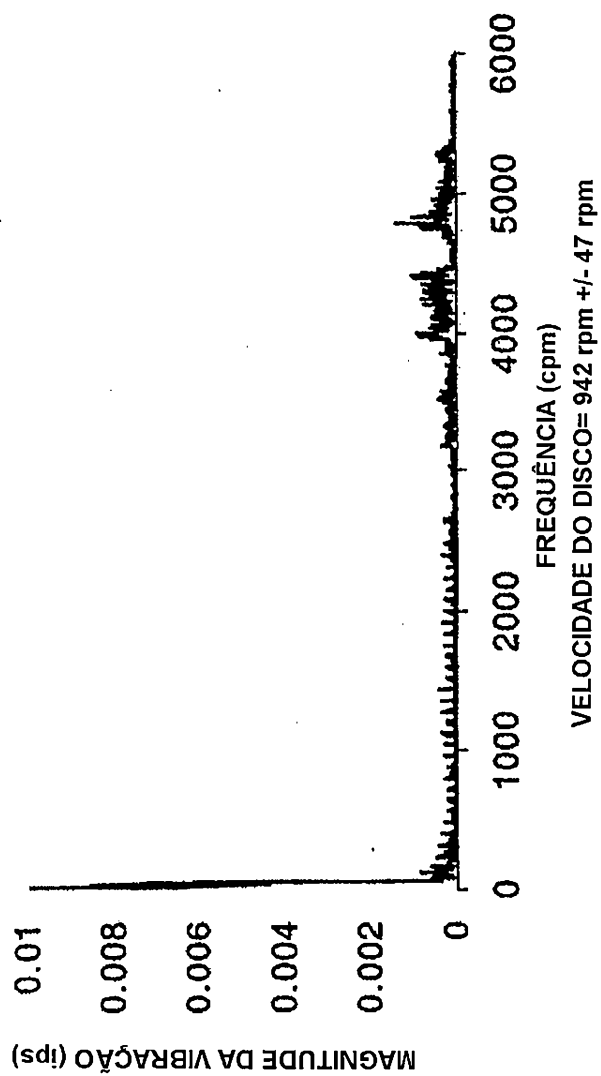


FIG.5B

7/7

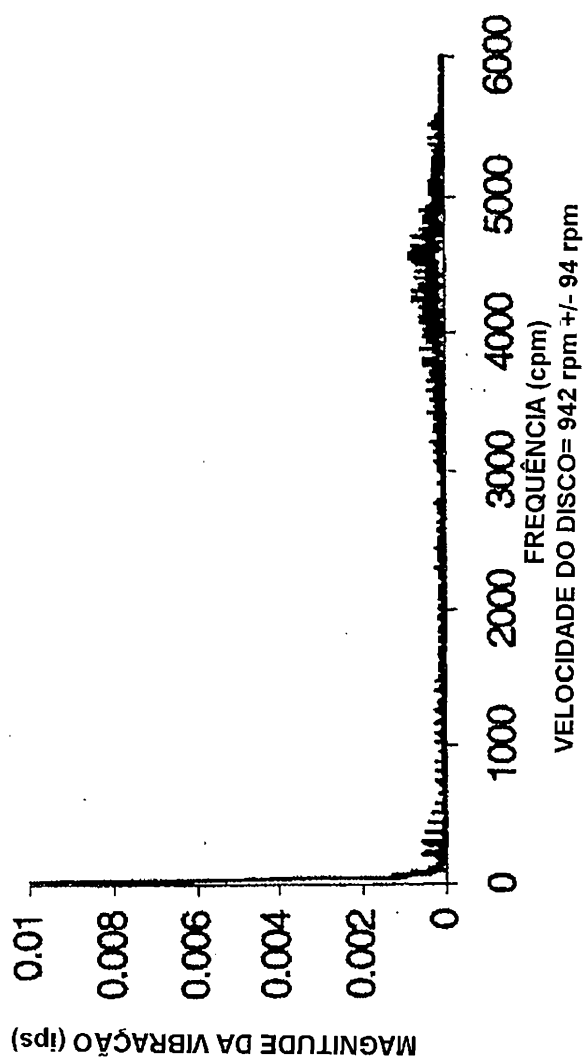


FIG.5C