



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

(11) PI 0512648-7 B1

(22) Data do Depósito: 07/09/2005

(45) Data de Concessão: 24/10/2017



(54) Título: SISTEMA DE AVANÇO DE AFIAÇÃO TENDO CONTROLE INTEGRAL DA FORÇA, TAXA E POSIÇÃO DE AVANÇO, E PROCESSO OPERACIONAL DO MESMO

(51) Int.Cl.: G06F 15/00; B23P 23/06; G05B 19/29

(30) Prioridade Unionista: 07/09/2004 US 60/607,742

(73) Titular(es): SUNNEN PRODUCTS COMPANY

(72) Inventor(es): DANIEL R.CLOUTIER; TIMOTHY P. HOTH; RUSSELL L. JACOBSMEYER

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para **"SISTEMA DE AVANÇO DE AFIAÇÃO TENDO CONTROLE INTEGRAL DA FORÇA, TAXA E POSIÇÃO DE AVANÇO, E PROCESSO OPERACIONAL DO MESMO"**.

5 Este pedido de patente reivindica o benefício do pedido de patente provisório de Nº 60/607.742, depositado em 7 de setembro de 2004.

CAMPO TÉCNICO

10 Esta invenção refere-se a um sistema de avanço para uma máquina de afiação e, mais particularmente, a um sistema de avanço operável automaticamente usando informações de força, taxa e de posição de avanço, para afiação de uma peça de trabalho a um ou mais parâmetros alvo, tais como um ou mais de tamanhos em processamento e tamanho final.

ANTECEDENTES DA INVENÇÃO

15 Os sistemas de avanço de afiação tradicionais podem ser classificados em dois tipos: 1) controlados por força; e 2) controlados por taxa. Em um sistema controlado por força, uma força controlada ou constante é aplicada à haste/cunha de avanço da ferramenta de afiação. A força pode ser aplicada por uma mola, cilindro ou outro meio. Um sistema de medida ou um disparador mecânico detecta quando a cunha tiver atingido um ponto, que é
20 conhecido ou inferido como sendo o tamanho de furo acabado. Em um sistema de avanço controlado por taxa, um motor, controlado tipicamente por realimentação de um codificador, movimenta a haste/cunha de avanço a uma taxa controlada ou constante. O tamanho do furo é inferido da contagem do codificador e pode ser calibrado ou compensado por uma interface
25 de usuário interativa.

 Cada tipo de sistema de avanço tem os seus respectivos poderes e limitações. Em um sistema de avanço controlado por força, uma vantagem é a velocidade. Uma expansão rápida (quase que instantânea) das pedras de afiação ao ponto de contato com o furo da peça de trabalho e, de
30 modo similar, uma rápida retração ao final do ciclo de afiação são possíveis. Em sistemas de força constante, as elasticidades da cunha e do sistema de avanço não afetam o tamanho do furo final. Não há quebra ou desgaste

excessivo da ferramenta, devido às forças de avanço excessivas. E, as peças de trabalho com menos material a ser removido vão ser afiadas mais rápido, isto é, nenhum tempo é perdido enquanto as pedras de afiação se expandem, a uma taxa relativamente lenta (selecionada para corte), por toda a faixa da remoção de material antecipada máxima. As desvantagens incluem que o tempo do ciclo não pode ser controlado, isto é, as pedras que vitrificam vão afiar com tempos de ciclo crescentemente mais longos. E, os abrasivos fazem contato mais rápido com os furos imperfeitos ou não redondos, provocando dano à ferramenta ou instalação e/ou abrasão excessiva às pedras abrasivas.

As vantagens de um sistema de avanço controlado por taxa incluem controle eletrônico de tamanho, e visualização eletrônica da posição de avanço, durante o ciclo, sem um sistema de medida separado. E, o tempo de ciclo de afiação vai ser consistente e não afetado pelas variações na condição abrasiva. As desvantagens incluem que a força da haste de avanço é desconhecida. As forças de avanço podem atingir níveis que comprometem a ferramenta, instalação ou operador. As variações no tamanho do furo pré-processamento vão resultar em tempo perdido ou condições de quebra perigosas. O processo de afiação deve começar com a ferramenta de afiação em algum tamanho inicial. Essa posição deve ser ajustada em algum ponto ligeiramente menor do que o menor tamanho de furo pré-processamento. A afiação de uma peça de trabalho, com um tamanho de furo inicial maior, deve incluir, portanto, algum tempo de "corte no ar" perdido. Qualquer peça de trabalho com um tamanho de furo inicial, que é menor do que o tamanho da ferramenta inicial, vai ser impactado violentamente na medida em que o abrasivo avança no furo com força total, durante a rápida expansão da ferramenta para o tamanho de partida. Esse impacto é similar ao dano da ferramenta ou peça de trabalho. E, uma vez que a força na haste/cunha de avanço é desconhecida, a elasticidade desses elementos, bem como a elasticidade de todo o sistema, introduzem um erro, quando inferindo o tamanho do furo da posição do codificador.

Em todos os tipos de sistemas de avanço de afiação, é desejá-

vel que a posição de avanço (isto é, a posição das pedras abrasivas) seja conhecida, durante o processo de afiação. Se o sistema de afiação não incluir algum meio de medida do furo durante o processamento, então o conhecimento preciso da posição de avanço é essencial, para a determinação de quando o tamanho de furo final desejado é atingido. A maior parte das máquinas de afiação usa algum tipo de codificador, ou outro transdutor de posição, no sistema de avanço para inferir a posição de avanço.

Para cada aplicação de avanço, o desempenho ótimo (determinado pela qualidade do furo e pelo custo por furo) vai requerer que a ferramenta de afiação opere dentro de certos limites de força e taxa de avanço. Além do mais, é possível que os valores ótimos desses parâmetros possam ser diferentes, em diferentes estágios, no ciclo de afiação. Não é possível controlar exatamente ambas a força e taxa de avanço. As muitas variáveis afetando o desempenho de afiação vão provocar a variação de um desses dois parâmetros, a qualquer tempo em que o outro é controlado com exatidão. No entanto, há vantagens significativas para um sistema de avanço, que monitore constantemente o parâmetro descontrolado, e depois use as informações para ajustar o parâmetro controlado, para mudar o método de controle, ou determinar mais precisamente a posição das pedras abrasivas.

Alguns sistemas híbridos já existem, mas carecem do controle total da invenção proposta, como descrito abaixo.

Nesse sentido, faz-se referência à patente U.S. 3.849.940 (Yoshino et al., "Honing Machine"), que descreve um sistema de avanço, que contém ambas um sistema de força constante e um de taxa constante acoplados mecanicamente, de modo que o mais rápido dos dois sistemas vai controlar a expansão das pedras de afiação. No entanto, se o sistema de taxa constante estiver no controle, então, não vai haver qualquer meio para medir a força de avanço ou para corrigir os erros dos furos provocados por variações na força de avanço. Também, não é possível selecionar o sistema mais lento, quando se deseja assim promover, por exemplo, o aperfeiçoamento da geometria do furo ao final do ciclo de afiação.

A patente U.S. 4.187.644 (Fitzpatrick, "Dual Feed Apparatus for

Multiple Spindle Honing Machine") descreve um sistema de avanço, no qual um cilindro (sistema de força constante) expande as pedras ao ponto no qual contatam o furo da peça de trabalho, e então o controle do avanço muda para um mecanismo de taxa constante. No entanto, esse sistema não inclui

5 qualquer meio para medir a força de avanço ou corrigir os erros dos furos provocados pelas variações na força de avanço. Também, não é possível selecionar o sistema de força controlada de modo diferente do que para a rápida expansão inicial das pedras.

A patente U.S. 4.397.658 (Vanderwal, "Feed Control for Honing or Like Machines") descreve um sistema amortecedor de óleo, para proporcionar uma taxa de avanço inicial mais lenta, ou mesmo uma taxa de avanço constante em todo o ciclo de afiação. No entanto, esse não inclui nenhum meio para medir a força de avanço, ou corrigir os erros de furos provocados pelas variações na força de avanço.

10

A patente U.S. 4.679.357 (Richter et al., "Method and Apparatus for Displacing a Honing Tool") descreve um sistema de avanço, no qual um limite de torque de baixo valor é imposto em um controle de motor de avanço, de modo que as pedras possam avançar, inicialmente, muito rapidamente, até o ponto de contato com o furo, e depois, um limite de torque mais alto

15

20 é permitido para afiação. O limite de torque do motor é aproximadamente equivalente a um limite na força de avanço, embora as ineficiências mecânicas limitem a precisão do uso de limites de torque, como limites da força de avanço. Esse sistema também não inclui um meio para medir a força de avanço, ou corrigir os erros dos furos provocados por variações na força de avanço. Mostra-se também que não há qualquer meio para controlar o avanço de afiação a uma força de avanço desejada, para meramente impedir que a força exceda algum limite.

25

A patente européia de Nº 0081383 (Fox, "Improvements Related to Honing") reivindica um sistema de controle, que usa realimentação de um meio para monitorar a posição e a velocidade de avanço e um meio para monitorar a força de avanço. No entanto, os detalhes da patente descrevem apenas um sistema de avanço hidráulico com um codificador de posição.

30

Nesse sistema, a força de avanço é inferida por medida de pressão hidráulica e sujeito a erros, tais como aqueles induzidos de forças de atrito, entre o pistão hidráulico e o seu furo. Embora a patente se refira ao meio para monitorar a força e a posição, o uso de uma célula de carga eletrônica, para medir diretamente a força de avanço, não é mencionado.

A patente européia EP 0 575 675 B1 (Grimm, et al., "Method and Machine for Finishing a Bore in a Work Piece") usa um dispositivo de medida de força de avanço, mas apenas com a finalidade de determinar o ponto final alvo (posição final do codificador) para o processo de afiação, por expansão da ferramenta de afiação em um anel de tamanho calibrado, com uma força de avanço equivalente àquela medida na peça de trabalho previamente acabada. De um modo limitado, isso compensa os erros provocados pela elasticidade da peça de trabalho e dos componentes do sistema de avanço, mas como a compensação é uma correção estática baseada nas medidas de força na peça de trabalho prévia, não descreve qualquer meio para corrigir dinamicamente as variações encontradas com a peça de trabalho sendo afiada no momento. Baseia-se na suposição de que cada peça de trabalho é virtualmente idêntica à peça de trabalho prévia, relativamente à dureza e à quantidade de material a ser removida. No entanto, na maior parte das aplicações, essa suposição não pode ser feita com segurança. Também, esse método não faz qualquer sugestão de que a força de avanço de afiação possa ser controlada por todo o ciclo de afiação.

Em todas as patentes da técnica anterior referidas acima, não aparece qualquer método para corrigir dinamicamente, em tempo real, os erros na inferência do tamanho do furo, que surgem devido às variações na força de avanço. Também, nenhuma das patentes da técnica anterior referidas propicia ao usuário da máquina de afiação a capacidade de selecionar entre modo controlado por taxa e modo controlado por força, ou programar um ciclo de afiação para alterar entre os dois modos, de uma maneira que possa otimizar o desempenho.

Conseqüentemente, o que se busca é um sistema de avanço para uma máquina de afiação, que proporcione uma capacidade de corrigir

dinamicamente, em tempo real, os erros no tamanho do furo inferidos, oriundos das variações na força de avanço, proporcione ao usuário a capacidade de selecionar entre os modos de afiação controlados por taxa e força, e que supere uma ou mais das desvantagens e deficiências dos sistemas da técnica anterior apresentados acima.

SUMÁRIO DA INVENÇÃO

O que se descreve é um sistema de avanço para uma máquina de afiação, que proporcione uma capacidade para corrigir dinamicamente, em tempo real, os erros no tamanho do furo inferidos, oriundos de variações na força de avanço, e um método operacional do mesmo, que permita que um usuário selecione entre os modos de afiação controlados por taxa e força, que proporcione uma ou mais das vantagens de ambos os tipos de sistemas de avanço discutidos acima, e que supere uma ou mais das desvantagens e deficiências dos sistemas apresentados acima. Esse sistema de avanço é previsto ter uma ampla aplicação para muitos tipos de ferramentas de afiação e aperfeiçoar a produtividade de muitas aplicações de afiação. O sistema também proporciona capacidades para detecção rápida de parede de furo automática, compensação para elasticidade de elementos do sistema de avanço e da ferramenta de afiação, e proteção automática da ferramenta.

De acordo com um aspecto preferido da invenção, um sistema básico vai incluir uma haste de avanço ou outro elemento de avanço, que é empurrado (ou puxado) por um parafuso ou parafuso esférico de avanço, acionado por um motor de avanço ou outro acionador, com um dispositivo para determinar uma posição do elemento de avanço, tal como um codificador. Um redutor de engrenagem, ou outro mecanismo e/ou outro controle, pode ser acoplado com o motor ou outro acionador, para obter o torque, a velocidade e a resolução de posição necessários pelas especificações do sistema. Na interface ou junta entre a haste de avanço e o parafuso (ou porca) vai haver uma célula de carga, ou algum outro meio para medir, diretamente, a força da haste de avanço. O motor pode ser controlado pela taxa de avanço, ou o motor pode ser controlado por uso de realimentação da cé-

lula de carga, para manter uma força de avanço constante, durante a afiação. Um controle computadorizado mais sofisticado pode ter o sistema de avanço seguindo um perfil programado de taxas de avanço, forças de avanço ou uma combinação de ambos.

5 No modo de controle de taxa de avanço da invenção, o sistema é operável automaticamente para manter o motor de avanço movimentando-se a uma taxa constante, ou controlar a taxa a algum perfil programado, que é uma função da posição de avanço. No modo de controle de força, o sistema mantém automaticamente o motor de avanço movimentando-se de uma
10 maneira tal que a força de avanço seja mantida constante, ou segue algum perfil programado, que é uma função da posição de avanço. Os perfis podem ser determinados, alternativamente, em função de outro parâmetro, tal como carga de eixo.

 O sistema da invenção também permite que esses dois modos
15 básicos sejam misturados dentro de um ciclo de afiação, por exemplo, afiação a uma taxa controlada, até alguma condição ser satisfeita, depois afiação a uma força controlada, até que o furo esteja no seu tamanho final. Além do mais, o sistema permite um alto grau de flexibilidade na programação do controle de avanço. Parâmetros, tais como taxa de avanço, força de avanço,
20 torque ou carga de eixo, tempo, número de golpes de movimento alternativo, temperatura da peça de trabalho, e outros podem ser usados em lógica de controle em tempo real, que adapta o parâmetro de avanço controlado, ou mesmo varia o método de controle de avanço de uma maneira programada simples ou complexa.

25 Os exemplos de situações de aplicações típicas, que podem ser resolvidas pelo sistema da invenção, incluem peças de trabalho que estão muito imperfeitas ou fora de redondeza do processo prévio. Para resolver esse problema, o sistema pode ajustar, automaticamente, uma taxa de afiação inicial, que é muito lenta, para fazer contato inicial com furo o mais brandamente possível. Quando o furo tiver sido aperfeiçoado suficientemente,
30 que o perigo de afiação mais rápida já passou, como determinado automaticamente por um retardo da taxa de avanço, ou passagem de um determina-

do período de tempo, então o controle da máquina pode aumentar automaticamente a taxa de avanço, ou mudar para um modo de avanço controlado por força.

5 Outro problema, que pode ser resolvido ou evitado, é a distorção das peças de trabalho que tenham seções transversais desuniformes. O sistema pode operar automaticamente, para remover, inicialmente material a uma força ou taxa de avanço relativamente alta, e depois, a uma alguma distância predeterminada, antes de atingir o tamanho final, a força ou taxa pode ser automaticamente diminuída, a um valor que relaxa a distorção da
10 peça de trabalho e propicia uma cilindridade de furo aperfeiçoada.

 A taxa de avanço ou força de avanço pode ser também automaticamente reduzida, a um valor muito baixo, no final do ciclo, por apenas um breve período de tempo ou por apenas uns poucos golpes, para aperfeiçoar o acabamento superficial resultante além da faixa normal do tamanho de
15 grão abrasivo em uso.

 Também, o sistema pode adaptar-se automaticamente, responsivo às variações na condição dos elementos de afiação, tal como quando as pedras de afiação ficam vitrificadas. Monitorando-se automaticamente o tempo do ciclo ou a taxa de avanço, essa condição pode ser detectada, e o
20 sistema pode tomar a decisão de aumentar ou diminuir a força de avanço, até que a condição indesejável tenha sido corrigida.

 O sistema também pode detectar automaticamente quando uma ou mais pedras abrasivas tenham ficado completamente gastas, por um aumento fora do comum na força de avanço ou por um tempo de ciclo excessivamente longo.
25 vamente longo.

 Ainda mais, a capacidade de compensação de elasticidade automática do sistema é útil, quando se deseja uma taxa de avanço substancialmente constante, para detectar e compensar automaticamente as deflexões no sistema de avanço, que produzem variações na taxa de avanço real
30 nas pedras abrasivas. Um valor para a elasticidade do sistema pode ser determinado a qualquer momento durante o processo de afiação, para permitir compensação para variações graduais nos elementos do sistema.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

A Figura 1 é uma vista em perspectiva simplificada de uma máquina de afiação, incluindo um sistema de avanço de acordo com a invenção.

5 A Figura 2 é uma representação esquemática simplificada de elementos da máquina de afiação da Figura 1.

A Figura 3 é uma representação esquemática simplificada de elementos do sistema de avanço da invenção.

10 A Figura 4 é uma representação gráfica simplificada da força de avanço versus a posição do codificador, para o sistema de avanço da invenção.

A Figura 5 é uma representação esquemática, mostrando as etapas de um método da invenção para ajuste da máquina.

A Figura 5a é uma continuação da Figura 5.

15 A Figura 6 é uma representação esquemática, mostrando as etapas de um método da invenção para operação da máquina.

A Figura 6a é uma continuação da Figura 6.

A Figura 7 é uma representação esquemática simplificada de um acionamento de avanço para o sistema da invenção.

20 DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO

Com referência agora aos desenhos, nos quais se mostra uma concretização preferida de um sistema de avanço e um método operacional dele, na Figura 1, uma máquina de afiação controlada por computador 10 é mostrada, incluindo aspectos do sistema de avanço de acordo com a presente invenção. A máquina de afiação 10 inclui, genericamente, um carrinho de eixo 12, que é móvel em uma ação de golpe em movimento alternativo, denotada pela seta A, por um sistema de movimento linear, tal como um mecanismo de conexão de came acionado por motor convencional, ou um parafuso esférico, rolo esférico, servomotor linear, engrenagem de cremalheira, cilindro hidráulico, corrente, ou correia, sob controle de um controlador principal baseado em processador 38. Aqui, o carrinho 12 é mostrado suportado para ação de golpe em movimento alternativo em uma direção

vertical, mas deve-se entender que o golpe em outras direções também é considerado de acordo com a presente invenção. O carrinho de eixo 12 inclui uma ferramenta de afiação 14, que pode ser ou não de construção e operação convencionais, incluindo, geralmente, um mandril alongado conduzindo um ou mais elementos de afiação, tais como pedras ou varetas abrasivas, que podem ser movimentadas radialmente para fora e para dentro relativamente ao mandril, e que desgastam e afiam uma superfície de uma peça de trabalho, na qual a ferramenta 14 é inserida, na medida em que a ferramenta 14 é girada, como denotado pela seta B. Em uma aplicação típica, na medida em que o carrinho de eixo 12 é golpeado em movimento alternativo, para cima e para baixo, como denotado pela seta A, a ferramenta de afiação 14 vai girar em uma direção ou outra, como denotado pela seta B, dentro de um orifício ou furo em uma peça de trabalho, para proporcionar um acabamento e/ou forma superficial, de tamanho desejado a uma ou mais superfícies definindo o orifício ou furo.

Referindo-se também à Figura 2, uma representação esquemática simplificada de um possível aparelho de golpe da máquina de afiação 10 é mostrada. Aqui, a ferramenta 14 é mostrada inserida em um furo 18 de uma peça de trabalho 20, retida em um dispositivo 22 da máquina 10, para afiação de uma superfície interna 24 da peça de trabalho 20 definindo o furo 18. A ferramenta de afiação 14 é suportada por um eixo rotativo 26, para a rotação denotada pela seta C, e o movimento recíproco denotado pela seta A, como feito por um mecanismo de acionamento de parafuso esférico 16, para executar a afiação desejada da superfície 24 da peça de trabalho 20. O eixo 26 é acionado rotativamente por um acionamento 28 de um modo bem conhecido. A ferramenta de afiação 14 é radialmente expandida e retraída por um acionamento de avanço 86, sob controle de um sistema de avanço 30 da invenção, como vai ser explicado abaixo. O eixo 26 suportando a ferramenta 14, bem como o acionamento 28 e os elementos do acionamento 86, são suportados em um suporte de eixo 32, conectado a uma porca esférica 34 do parafuso esférico 16, de modo a ser móvel longitudinalmente ao longo do parafuso esférico 16, como executado por rotação de um servomotor 36 em

conjunto com ele. O parafuso esférico 16 é precisamente rotativo pelo servomotor 36, cujos número de rotações e posição rotativa são detectáveis precisamente por um codificador ou outro sensor (não mostrado). A porca esférica 34 é movimentada longitudinalmente ao longo do parafuso esférico 16 por rotação dele, e da contagem de rotações do parafuso esférico 16, a posição longitudinal da porca esférica 34 é determinada. O servomotor 36 é controlável por um controlador principal baseado em processador 38, para movimentação do carrinho de eixo 12 e da ferramenta de afiação 14, como desejado ou necessário para obter um parâmetro ou parâmetros desejados. Aqui, deve-se notar que considera-se ainda que o parafuso esférico 16 pode ser substituído com outro meio de conversão de movimento rotativo em linear (por exemplo, engrenagem de cremalheira), ou que o motor, codificador e parafuso esférico podem ser conjuntamente substituídos com um motor linear e um codificador linear, ou qualquer outro sistema de proporcionar movimento linear de posição controlada.

Voltando agora ao sistema de avanço 30 da invenção, na Figura 3, uma possível concretização de um acionamento de avanço 86 é mostrada. Um motor de avanço 40 do acionamento 86 é conectado a (ou integrado com) um codificador 42. Se for necessário proporcionar as características desejadas de torque de saída, velocidade de saída e movimento linear por contagem do codificador, um redutor de engrenagem 44 pode ser fixado no eixo do motor de avanço 40. O eixo de saída do redutor de engrenagem é conectado a uma montagem de parafuso esférico 46 por um acoplamento 48. A montagem de parafuso esférico 46 resiste ao movimento axial por meio do mancal esférico 50, retido em um alojamento de sistema de avanço 52. (O alojamento do sistema de avanço 52 pode consistir em várias peças, como necessário para facilidade de fabricação e montagem). O parafuso esférico acopla uma porca esférica 54, que é presa em um portador de porca esférica 56. O portador de porca esférica 56 é impedido de girar por uma chaveta 58, que se acopla a uma fenda 60 no alojamento do sistema de avanço 52. A rotação do motor de avanço 40 e, subseqüentemente, do eixo de saída do redutor de engrenagem 44, faz com que o parafuso esférico gi-

re, o que, por sua vez, confere um movimento linear à porca esférica 54 e ao seu portador 56. A chaveta 58, nessa concretização, é integral com um retentor 62, que tem uma bolsa para reter um disco redondo 64. O disco redondo 64 é preso em uma extremidade rosqueada de uma célula de carga 66. A bolsa tem um vão muito pequeno com o disco redondo 64, com a finalidade de permitir que o disco redondo 64 se alinhe por ele mesmo com os componentes abaixo, sem criar quaisquer tensões indesejáveis na célula de carga 66. A célula de carga 66 é presa em uma haste de avanço não rotativa 68, que é impedida de girar por uma chaveta 70, que também acopla o entalhe mencionado acima 60 no alojamento do sistema de avanço 52. A haste de avanço não rotativa 68 é presa em um tubo retendo uma disposição de mancais de contato angular 72. As pistas de rotação dos mancais 72 são presas em uma haste de avanço rotativa 74. A haste de avanço rotativa 74 é canelada ou chavetada por algum meio, de modo que vai girar com o eixo mecânico da máquina de afiação 76 e ainda permitir o movimento axial relativo entre o eixo mecânico da máquina de afiação 76 e a haste de avanço 74. O eixo mecânico 76 retém a ferramenta de afiação 14, que contém uma cunha 78, para expandir os elementos de afiação abrasivos 80 no furo da peça de trabalho 20. A cunha 78 é presa na haste de avanço 74 e é deixada movimentar-se axialmente com a haste de avanço 74, enquanto a ferramenta 14 é impedida de movimento axial por sua conexão ao eixo mecânico 76. Esse movimento axial relativo da cunha 78 e da ferramenta 14 cria o movimento de expansão/retração dos elementos de afiação abrasivos 80. O alojamento do sistema de avanço 52 e o eixo mecânico 76 são ambos conectados ao carrinho 12 (Figuras 1 e 2), que os movimentam conjuntamente, para gerar o movimento alternativo axial do processo de afiação.

A força axial da cunha 78, para expandir os elementos de afiação 80, é desenvolvida do torque do motor de avanço 40 e convertida em uma força linear pelos parafuso e porca esféricos, e depois transmitida pela célula de carga 66 para a haste de avanço 74 e cunha 78. A célula de carga 66, portanto, sempre detecta a força de avanço axial integral do processo de afiação. O cabo da célula de carga 82 é conduzido por um condutor de cabo

para um amplificador 84 (se necessário). A energia para e os sinais da célula de carga 66 passam por esses cabo 82 e amplificador 84 para um controle de avanço baseado em processador 146 e um servocontrolador 148 do acionamento de avanço 86, em conjunto com o motor 40 e codificador 42 do acionamento 86. O controle desses dispositivos, como descrito nos métodos abaixo, resultam em sinais que controlam, precisamente, o movimento do motor de avanço 40.

Há dois métodos básicos de controle de avanço. O primeiro é o controle da taxa de avanço, em que o sistema de controle mantém o motor de avanço 40 movimentando-se a uma taxa constante, ou controlando a taxa a algum perfil programado, que é, pelo menos parcialmente, uma função da posição de avanço. O segundo método básico de controle de avanço é o controle de força, no qual o sistema de controle mantém o motor de avanço 40 movimentando-se de uma maneira tal que a força de avanço é mantida constante ou segue algum perfil programado, que é, pelo menos parcialmente, uma função da posição de avanço.

O controle computadorizado também permite que esses dois métodos básicos sejam misturados dentro de um ciclo de afiação, por exemplo, afiação a uma taxa controla, até alguma condição ser satisfeita, depois afiação a uma força controlada até o furo estar no seu tamanho final. Adicionalmente, o controle computadorizado propicia um alto grau de flexibilidade na programação de controle de avanço. Parâmetros, tais como taxa de avanço, força de avanço, torque do eixo, tempo, número de golpes de movimento alternativo, temperatura da peça de trabalho e outros podem ser usados em uma lógica de controle em tempo real, que adapta o parâmetro de avanço controlado ou mesmo muda o método de controle de avanço, de uma maneira programada simples ou complexa. Os seguintes exemplos são situações de aplicação típicas, que podem ser resolvidas desse modo por programação.

As peças de trabalho que estão muito imperfeitas ou fora de redondeza do processo prévio podem criar impactos perigosos, quando o avanço da afiação é controlado por força, ou mesmo quando a taxa de afia-

ção é mantida muito alta. Uma taxa de afiação inicial pode ser mantida muito baixa, para fazer contato com o furo inicial da forma mais branda possível. Quando o furo fica suficientemente limpo, que o perigo de afiação mais rápida já passou, determinado por um retardo da taxa de avanço ou passagem de um determinado período de tempo, então o controle da máquina pode aumentar a taxa de avanço ou mudar para um modo de avanço controlado por força.

As peças de trabalho, que têm seções transversais desuniformes, tendem a sofrer distorção sob altas forças de avanço. A maior parte do material pode ser removida a uma força ou taxa de avanço relativamente alta, e depois a alguma distância predeterminada, antes de atingir o tamanho final, a força ou taxa pode ser diminuída a um valor que relaxa a distorção da peça de trabalho e propicia uma cilindridade do furo aperfeiçoada.

A taxa de avanço ou força de avanço pode ser reduzida a um valor muito baixo, ao final do ciclo, por apenas um breve período de tempo ou por uns poucos golpes, para aperfeiçoar o acabamento superficial resultante além da faixa normal do tamanho de grão abrasivo sendo usado. Isso permite algumas vezes o uso de grãos mais grosseiros, para remoção de material mais rápida, e obter ainda os requisitos de acabamento superficial.

Durante o processo de afiação, a superfície das pedras abrasivas pode variar em condição, alternando-se de corte livre e aberto para vitrificadas. Monitorando-se o tempo de ciclo ou taxa de avanço, essa condição pode ser eliminada, e o sistema de controle pode tomar a decisão de aumentar ou diminuir a força de avanço, até que a condição indesejável tenha sido corrigida.

Quando uma ou mais pedras abrasivas tiverem sido completamente gastas, esse sistema pode detectar que a condição por um aumento fora do comum na força de avanço ou por um tempo de ciclo excessivamente longo.

Se uma taxa de avanço realmente constante for desejada, o sistema de controle pode compensar as deflexões no sistema de avanço, que produzem variações na taxa de avanço real nas pedras abrasivas. (Vide

Compensação de elasticidade abaixo).

Em determinadas aplicações, pode ser vantajoso manter um nível constante ou perfilado de torque do eixo. Isso pode ser feito por realimentação do acionamento do eixo, para controlar o movimento do motor de avanço. Nessa aplicação, a força de avanço não é controlada e pode variar. A presente invenção vai compensar os erros dos tamanhos dos furos, devido à elasticidade do sistema.

Como com os outros sistemas de controle de afiação existentes, esse sistema pode incluir aspectos tais como compensação de desgaste de pedra automático, ajuste de tamanho de furo manual e/ou integração com um calibre de processo durante e após o processo, para compensar o desgaste abrasivo e aperfeiçoar a cilindridade do furo.

Além desses e muitos outros esquemas de controle úteis, o monitoramento e o controle em tempo real contínuos da força de avanço e da posição de avanço, integrados com o controle da máquina de afiação, permitem três outros aspectos de melhoria de desempenho: detecção de parede de furo automática; compensação de elasticidade; e proteção de ferramenta automática.

Detecção de parede de furo automática

Antes do início do ciclo de afiação, a ferramenta de afiação é retraída a um tamanho que permite a fácil entrada no furo. Se o ciclo de afiação depois começar com o motor de avanço movimentando-se na taxa de avanço de afiação, pode levar vários segundos de "corte de ar", antes que o abrasivo comece de fato a contatar a parede ou superfície do furo. Para minimizar isso, freqüentemente, a ferramenta é rapidamente expandida a um tamanho pouco menor do que o furo da peça de trabalho esperado menor, antes de retardar a taxa de afiação. No entanto, os furos antes do processo variam, consideravelmente, em tamanho, e aqueles que são maiores do que o menor furo esperado vão ainda ter tempo perdido, na medida em que a ferramenta de afiação se movimenta lentamente dessa posição para o ponto de contato. Também, se um furo antes do processo for menor do que o menor furo esperado, então a pedra vai ser avançada para a parede do furo a

uma alta taxa de velocidade. O impacto pode danificar a ferramenta, ou o abrasivo, ou o suporte fixador da peça de trabalho.

O controle da afiação a uma força de avanço pode eliminar o tempo perdido, mas se o diâmetro da ferramenta retraída for muitíssimo menor do que o tamanho do furo, o sistema de avanço pode ter uma distância
5 demasiada para acelerar as pedras, sob nenhuma carga, e quando atingirem a parede do furo, têm uma velocidade suficiente para criar um impacto. De novo, o impacto pode danificar a ferramenta, ou o abrasivo, ou o suporte fixador da peça de trabalho.

O impacto a alta velocidade das pedras com a parede do furo é
10 potencialmente danoso, porque o eixo está girando e as pedras vão prender a peça de trabalho por contato. Se o eixo não estiver girando, então as máquinas de afiação, sem qualquer dispositivo de medida de força de avanço, não têm meios para detectar quando a parede do furo tiver sido contatada.
15 Portanto, no passado, era uma necessidade ter-se o eixo girando, quando o sistema de avanço não estava na fase de avanço rápido.

Com a presente invenção, no entanto, o eixo pode ficar fora, enquanto que o sistema de avanço se movimenta a uma taxa de velocidade alta. O contato com o furo, parede ou superfície é observado por um aumento imediato na força de avanço medida. Nesse ponto, a posição de avanço é
20 retraída muito ligeiramente, para apenas remover a pressão das pedras contra a parede do furo, e depois o eixo é colocado em ação, e o ciclo de afiação pode começar, sem tempo perdido de "corte no ar". A alta velocidade do motor de avanço e a rápida resposta do sistema de controle permitem que
25 essa etapa ocorra em um período de tempo muito curto, muito menor do que o tempo que seria necessário para que as pedras se aproximem com segurança da parede do furo. Uma vez que o eixo não está girando, o impacto pode ser feito a uma alta velocidade, sem qualquer perigo de dano à ferramenta ou peça de trabalho (exceto, possivelmente, quando ferramentas delicadas
30 foras do comum estão envolvidas).

Um benefício auxiliar desse método é que o sistema de controle é capaz de determinar ou identificar as informações do codificador represen-

tativas do tamanho do furo, no momento do impacto. Se um furo for observado como já maior do que o furo afiado acabado, então o sistema de controle pode responder conseqüentemente, para alertar o operador, ou remover, automaticamente a peça de trabalho defeituosa do fluxo operacional.

5 Medida e realimentação de compensação de elasticidade para aperfeiçoar a precisão de controle de tamanho

Se a força de avanço não for mantida a um valor constante, de um ciclo para o seguinte, a diferença na força de avanço resulta em diferentes graus de deflexão de todos os componentes do sistema de avanço, inclu-
10 indo a ferramenta, a cunha e a peça de trabalho. Essa variação na compressão (ou tração para as ferramentas do tipo de puxar) do sistema incorpora um erro aos resultados de controle de tamanho, quando a posição do codificador é usada como um meio de conhecimento do tamanho do furo final. Esse erro é mais importuno para o processo controlado por taxa, quando as
15 peças de trabalho têm uma ampla variação na quantidade de material que deve ser removida.

Com uma célula de carga usada em conjunto com o codificador, esse sistema vai ter a capacidade de medir e compensar a elasticidade de todo o sistema. Um valor representativo da elasticidade dos componentes do
20 sistema de avanço pode ser calculado das leituras do codificador e da célula de carga, feitas durante uma rotina de inicialização automática (descrita em detalhes abaixo).

No passado, quando do ajuste de uma máquina de afiação, o sistema de controle precisava "mostrar" o local do sistema de avanço (inclu-
25 indo a ferramenta, a cunha e as pedras), em relação ao furo da peça de trabalho. Essa etapa de dimensionamento é a que requer sempre que o operador trabalhe em conjunto com o controle da máquina, e uma determinada habilidade ou "treinamento" é necessário para executar com precisão essa operação. A operação é denominada "inicialização de dimensionamento" ou
30 "acomodação", porque o operador movimenta o sistema de avanço por uma entrada manual, até que sinta que a peça de trabalho está acomodada na ferramenta. A precisão dessa operação depende da capacidade do operador

em sentir quando a peça de trabalho está tão acomodada na ferramenta quanto vai estar quando o tamanho acabado for atingido no ciclo de afiação.

Com esse sistema de avanço, é possível usar uma técnica para inicialização de dimensionamento, que elimina o efeito da habilidade do operador e, ao mesmo tempo, reúne dados que podem ser usados para tornar o processo de afiação mais preciso. O controle da máquina vai instruir o operador para movimentar o sistema de avanço a um ponto no qual a peça de trabalho está quase acomodada na ferramenta. Depois, o operador vai apertar um botão para fazer com que o controle da máquina inicie a seqüência de inicialização. A seqüência começa pelo sistema de alimentação retraindo-se automaticamente por um grau suficiente para que garanta que as pedras abrasivas não fiquem mais em contato com o furo. Depois, o sistema de avanço vai começar, automaticamente a expandir a uma taxa que é similar à taxa de afiação esperada. Após movimentação a uma distância suficiente para acomodar qualquer recuo no sistema, o sistema de controle vai começar, automaticamente, a armazenar pontos de dados da posição do codificador e da força de avanço. Esses pontos vão ajustar-se ao longo de uma curva, que tem a fórmula geral mostrada na Figura 4.

Examinando-se a Figura 4, a curva mostrada pode ser dividida em duas regiões. A primeira região, que é substancialmente plana, é a região de não contato. Nessa região, as pedras abrasivas ainda não foram expandidas ao ponto em que contatam a parede do furo. O nível da força medido nessa região representa um valor de referência da força. Esse valor de referência é uma composição de várias coisas. Primeiro, devido ao atrito vai haver sempre algum arrasto no sistema de avanço, na medida em que ele se movimenta. Em segundo lugar, se o sistema for vertical, o peso dos componentes do sistema de avanço vai colocar uma carga estática no dispositivo de medida. Por fim, o próprio dispositivo de medida pode produzir algum valor diferente de zero, sem qualquer carga, devido às pequenas imprecisões na montagem, ou devido à variação nas características eletrônicas do dispositivo de medida. Esse nível de força de referência é registrado, de modo que possa ser subtraído dos valores de força na segunda região da curva,

para determinar os valores de força reais, em função da posição do codificador.

Na segunda região da curva, as pedras abrasivas fazem contato com a parede do furo, e a força de avanço aumenta na medida em que o motor de avanço continua a avançar. Essa é a região de contato elástico. A curva não é perfeitamente linear nessa faixa, como pode sugerir a teoria elástica. Isso é devido ao fato de que alguns componentes ficam em contato, e a área das suas regiões de contato aumenta com a carga (por exemplo, as esferas e pistas nos mancais de empuxo, e as pedras abrasivas imperfeitas contra a parede do furo imperfeita).

O sistema de controle deve decidir quando o sistema de avanço atinge a região de contato. Devido a algum nível de ruído nas medidas, é conveniente definir o início da região de contato como o ponto, no qual a força aumenta a algum nível pequeno, mas significativo, em relação à força de referência. Na figura, esse nível de força é denominado F_c , e a posição do codificador correspondente x_c . Por conveniência, esse ponto é considerado como a origem de um outro conjunto de coordenadas marcado X' e F' , em que:

$$x' = x - x_c$$

e

$$F' = F - F_c$$

Embora o gráfico tenha sido desenhado com a posição do codificador como a variável independente, vai ser mais útil, para fins de controle, dizer que a posição relativa do codificador é uma função da força de avanço:

$$X' = f(F')$$

ou talvez um meio mais adequado de descrever isso seja que, uma vez que as pedras abrasivas estão em contato com a parede do furo, a distância adicional que o codificador pode ser movimentado é uma função da força necessária para comprimir (ou estender) os componentes do sistema de avanço, para atingir essa posição.

Uma expressão matemática aproximada para essa função pode ser determinada por uso dos pontos de dados com qualquer número de téc-

nicas de ajuste de curva. A função resultante pode ser linear, não linear ou parcialmente linear. A técnica mais simples é considerar a linearidade, e usar dois pontos para determinar a linha. Essa técnica pode ser freqüentemente suficiente, uma vez que a força de avanço, durante o ciclo de afiação, tem usualmente uma pequena variação. Se a faixa operacional da força é conhecida ou pode ser estimada da experiência, então dois pontos podem ser usados nas, ou próximo das, extremidades dessa faixa. No gráfico, esses pontos são mostrados como (x_1, F_1) e (x_2, F_2) . Nesse caso, a inclinação da linha é dada por:

$$k = (F_2 - F_1)/(x_2 - x_1)$$

em que k é uma constante de mola no sentido clássico, quantificando a elasticidade do sistema.

Uma vez expresso matematicamente, o sistema de controle vai ser capaz de usar essa função para fazer, automaticamente, as correções dos tamanhos dos furos no tamanho do furo inferido pelo codificador, com base na força de avanço medida em tempo real, em qualquer ponto no ciclo de afiação. Para fazer isso, uma vez que ambos o valor da força da célula de carga e a leitura do codificador são valores relativos, vai ser necessário ter algum ponto de referência. Esse ponto de referência pode ser qualquer ponto na região de contato da curva. No gráfico, mostra-se como o ponto (x_r, F_r) . Então, em geral, a função descrevendo a curva pode ser expressa como:

$$x - x_r = f(F - F_r)$$

se a linearidade for considerada, fica:

$$x - x_r = (F - F_r)/k$$

O sistema de controle pode então usar essa função durante afiação, para saber mais precisamente o diâmetro do furo em qualquer ponto no tempo por essa fórmula:

$$D = D_i + [x - x_r - f(F - F_r)]LR_t/NR_g$$

se a linearidade for considerada, fica:

$$D = D_i + \{x - x_r - [(F - F_r)/k]\}LR_t/NR_g$$

em que:

D = diâmetro do furo atual (mm)

- D_i = o diâmetro do furo da peça de trabalho de inicialização (mm)
 X = a posição atual do codificador (contagens)
 x_r = a posição de referência do codificador (contagens)
 F = a medida atual da força de avanço (N)
 5 F_r = a medida de referência da força de avanço (N)
 $f(F - F_r)$ = a função de correção do codificador, como descrito acima (contagens)
 k = uma constante de correção do codificador linear, como descrito acima (N/contagem)
 10 L = avanço do parafuso esférico (mm/revoluções do parafuso esférico)
 N = tamanho do codificador (contagens/revoluções do motor)
 R_g = relação de multiplicação (revoluções do motor/revoluções do parafuso esférico)
 15 R_t = relação de ferramenta (movimento do diâmetro/movimento axial), em que:
 R_t = $\tan \theta$, para ferramentas de pedra única
 R_t = $2 \tan \theta$, para ferramentas de luva ou pedras múltiplas
 θ = ângulo da cunha
 20 No controle do ciclo de afiação, em vez de saber o diâmetro do furo atual, pode ser mais importante identificar uma posição alvo do codificador (por exemplo, uma posição correspondente ao diâmetro final ou ao diâmetro ao final de um determinado estágio de afiação). Uma vez que essa posição alvo do codificador vai variar, na medida em que a força de avanço
 25 varia, as fórmulas acima pode ser reescritas para propiciar a posição alvo do codificador, como se segue:

$$x_t = (D_t - D_i)NR_g/LR_t + x_r + f(F - F_r)$$
 se a linearidade for assumida:

$$x_t = (D_t - D_i)NR_g/LR_t + x_r + (F - F_r)/k$$
 30 em que:
 x_t = posição alvo (ou final) do codificador (contagens)
 D_t = diâmetro alvo (ou final) (mm).

O nível da força de avanço F , em geral, não vai ser a medida absoluta do dispositivo de medida de força. Como mencionado acima, existe algum nível de referência ou de fundo da força, devido ao arrasto por atrito, peso dos componentes do sistema de avanço e, possivelmente, aos erros induzidos no dispositivo de medida, devido a alinhamento imperfeito na montagem. Esses valores tendem a ser relativamente estáticos, variando apenas lentamente com o tempo, se de algum modo. A força usada no controle do sistema de avanço, como descrito acima, deve ser a quantidade diferencial de força, portanto, é importante quantificar esse nível de referência de força, de modo que possa ser subtraído da medida de força global. Uma técnica para medir a referência do sinal de força é fazer uma medida imediatamente no início do ciclo, quando sabe-se que as pedras ainda não entraram em contato com a parede do furo. Isso pode ser feito em cada ciclo e, desse modo, compensam continuamente quaisquer variações no nível de sinal de referência. Se a rotina de Detecção de parede de furo, descrita acima, estiver sendo empregada, essa mesma técnica pode ser usada, desde que o sistema de avanço esteja retraído pelo menos o suficiente para propiciar o tempo para leitura do sinal de referência, antes que as pedras contatem a parede do furo.

20 Uso de ferramentas que precisam de uma força de avanço significa para expandirem-se

Para simplicidade nas descrições acima e na Figura 4, considerou-se que o nível de referência de força é algum valor constante relativamente pequeno. No entanto, algumas ferramentas de afiação requerem alguma força diferente de zero e possivelmente crescente, apenas para expandir a parte abrasiva da ferramenta (por exemplo, ferramentas do tipo luva com depósito de abrasivo). Nesse caso, a referência não é um valor constante simples, mas, em vez disso, é uma curva de força versus a posição do codificador. Com essas ferramentas, uma ligeira variação deve ser nas técnicas para encontrar, automática e rapidamente, a parede do furo e nas de compensação de elasticidade descritas acima. Uma etapa incorporada é necessária no início dessas técnicas.

Essa primeira etapa vai consistir da movimentação do sistema de avanço pela faixa esperada de movimento, aproximadamente na velocidade esperada, com a ferramenta completamente fora de qualquer furo da peça de trabalho. Durante esse tempo, o sistema de controle lê a força e a
5 posição do codificador, para gerar uma curva de referência. Essa curva representa então a quantidade de força, na determinada posição do codificador, que deve ser subtraída das forças totais, que são medidas durante a rápida descoberta da parede do furo ou das rotinas de medida de elasticidade. Após subtração da curva de referência da curva medida total, a curva
10 resultante vai ser idêntica, em forma, à curva mostrada na Figura 4, e o tratamento matemático desses dados retificados pode continuar exatamente como descrito acima.

Espera-se que essa curva de força de referência varie ligeiramente com o tempo, devido às compensações do tamanho do furo ou de
15 fatores ambientais, a referência pode ser medida de novo, a qualquer frequência desejada.

Proteção automática da ferramenta

No início, ou mesmo durante a operação de afiação, há um potencial para dano da ferramenta e, possivelmente, ao suporte fixador da
20 peça de trabalho, quando o sistema de avanço está expandindo o elemento de afiação, a uma alta taxa. Em virtude do eixo estar girando quando o elemento de afiação está sendo avançado, é possível que os abrasivos do elemento de afiação vão apertar imediatamente a peça de trabalho por contato, fazendo com que a ferramenta gire. Esse potencial para dano à ferramenta tam-
25 bém existe no ajuste, durante a operação de "inicialização de dimensionamento" ou "acomodação". Essa ação requer que um operador habilidoso expanda manualmente o elemento de afiação contra a superfície do furo da peça de trabalho, para determinar uma referência para o diâmetro do furo. É
30 possível que, durante esse processo, o operador possa danificar a ferramenta por expansão e esmagamento excessivos dos abrasivos do elemento de afiação contra a superfície do furo.

Com referência também à Figura 7, com a presente invenção, o

acionamento de avanço 86 inclui um sistema, que pode detectar uma força anormalmente alta, que seja ainda suficiente sensível para reagir, imediatamente, para proteger a ferramenta e o suporte fixador da peça de trabalho de dano. O sistema de avanço tira vantagem da célula de carga monitorando a força, durante a expansão do avanço, e retrai, imediatamente, o elemento de afiação, quando a força de avanço excede um limite armazenado predeterminado. O sistema de avanço diferente monitora e controla automaticamente o seu servocontrolador 148, para retrain o elemento de afiação, com um mínimo de retardo, para eliminar a possibilidade da ferramenta capturar a peça de trabalho.

O controle do sistema de avanço impede automaticamente que o operador expanda manualmente a ferramenta ainda mais, se essa condição de sobrecarga, ou falha, da força de avanço existir, durante "inicialização de dimensionamento". Além de retrain automaticamente o elemento de afiação, o sistema de avanço da presente invenção também notifica, independentemente, o controlador principal 38 da condição de falha por uma interface I/O (de entrada e saída). O aviso é dado se a falha ocorrer durante a "inicialização de dimensionamento", ou durante uma operação de afiação normal. Essa notificação vai, por sua vez, permitir que o controlador principal 38 pare outras operações e informe o operador da condição de falha.

Controle do sistema de avanço

Um sistema de controle principal típico de uma máquina de afiação, tal como o controlador 38 da máquina 10, tem, tipicamente, que partilhar o seu poder de processamento entre as várias tarefas que conduz. Os aspectos de desempenho descritos acima vão requerer que o sistema de controle trabalhe, a velocidades muito altas, para garantir a sensibilidade e o tempo de resposta necessários dele. Isso vai provavelmente significar que o controlador vai ter que processar todos os dados em tempo real, para minimizar os retardos e reagir imediatamente a variações na força de avanço. Além de monitorar o sistema de avanço, o processador também teria que dividir o seu tempo de processamento entre as outras tarefas que conduz. No entanto, um método de controle mais direto fica disponível, se a tarefa de

processamento do sistema de avanço for dada para a unidade de acionamento de avanço. Para obter esse pré-requisito, a linearidade vai ter que ser considerada e a unidade vai ter que ser capaz de usar um sinal externo, como realimentação.

5 A presente invenção utiliza esse sistema de controle. De acordo com essa concretização da invenção, as tarefas relativas à expansão e à retração do elemento de afiação são conduzidas pelo acionamento de avanço 86, juntamente com o monitoramento e reação a qualquer estímulo, tal como da célula de carga. Esse método de controle do sistema de avanço,
10 diretamente por meio do acionamento de avanço 86, elimina possíveis sobrecargas de processamento no controlador principal 38 e proporciona uma rápida resposta. Garante um meio mais sensível para monitorar e responder às variações na força de avanço, por retração imediata do elemento de afiação com um mínimo de retardo, quando a superfície do furo de uma peça de
15 trabalho é encontrada, ou existe uma condição de sobrecarga de força.

 Com referência também à Figura 7, o controle do sistema de avanço referido nesta invenção controla todas as entradas e saídas para e do acionamento 86, juntamente com os circuitos da célula de carga. Os circuitos de carga consistem em um circuito de interface com transdutor 150 e
20 um circuito de condicionamento de sinal 152, um circuito de proteção automática de ferramenta 154, um circuito de detecção automática de furo 156, e o controle 146, controlando as funções da força de avanço e da taxa de avanço.

 Um dos aspectos únicos desta invenção é a sua capacidade de
25 controlar o sistema de avanço, a uma faixa ampla de forças de avanço requeridas pelas diferentes ferramentas, e ser ainda suficientemente sensível para distinguir pequenas variações na força de avanço, quando da determinação de quando o elemento de afiação tiver contatado o furo. Essa graduação automática de força é feita na interface do transdutor e nos circuitos de
30 condicionamento de sinal 150 e 152, e é baseada nas forças de expansão e retração requeridas pela ferramenta específica usada.

 O circuito de Detecção Automática de Furo (ABD) 156 monitora

as velocidade, força e posição de avanço, enquanto que a ferramenta rapidamente se expande na peça de trabalho. Ao atingir a superfície do furo, as posição e força de avanço são ambas capturadas e salvas automaticamente. Isso é seguido pelo sistema de avanço retraindo-se imediatamente para liberar a pressão abrasiva fora da peça de trabalho. Isso dispara o controlador principal 38 da máquina de afiação, para começar a movimentação nos outros eixos. O processo de afiação efetivo é depois iniciado, quando a força e a posição de avanço, que tinham sido salvas antes, são usadas para avançar rapidamente o elemento de afiação para a superfície do furo, enquanto a ferramenta está girando e golpeando.

O circuito ABD 156 emprega um método de detecção, para compensar quaisquer variações na força de avanço normais no sistema, que pode ocorrer com o tempo. Entre esses tipos de variações está a força de atrito ao longo do deslocamento da ferramenta, que pode variar na medida em que os abrasivos são desgastados com o tempo. A localização do sistema de avanço ao longo do deslocamento total da ferramenta é baseada naquela percentual da faixa total da ferramenta que é usado e também no grau de desgaste normal do abrasivo da ferramenta, durante a operação de afiação. Outro fator a considerar é o grau de arrasto, devido ao atrito no sistema de avanço, na medida em que se movimenta.

Sem compensação, essas forças podem afetar, quando o furo é detectado. Para compensar variações como essas, o circuito ABD 156 monitora a força de avanço no início de cada ciclo, na medida em que o elemento de afiação se aproxima da peça de trabalho, para determinar um nível de referência de força, e depois computa automaticamente uma força mínima, que vai indicar quando o elemento de afiação atinge a superfície do furo. (F_c na Figura 4).

Como descrito acima (Compensação de elasticidade), a etapa de dimensionamento fica um processo automático em vez de um manual. Essa etapa emprega o aspecto de detecção automática de furo, para eliminar a necessidade para impressão do operador.

O Regulador de força & taxa de avanço do controle 146 controla

o motor de avanço 40, com base no modo de aplicação. A aplicação pode requerer uma força de avanço constante ou uma taxa de avanço constante, ou qualquer combinação das duas, durante o processo de afiação. A incorporação do regulador de força e taxa de avanço na unidade de acionamento
5 propicia a comutação entre os dois modos virtualmente instantaneamente, e pode ser feita a qualquer momento, durante o processo de afiação.

No modo de força constante, o regulador vai controlar a taxa de velocidade do motor de avanço, para manter uma força de avanço específica. Uma característica distinta dessa invenção é a capacidade do circuito
10 regulador em filtrar quaisquer forças externas, que possam influenciar a força de avanço efetiva, que o sistema está tentando manter.

Diferentemente de outros sistemas operando a uma taxa constante, o sistema de avanço descrito nesta invenção vai manter uma taxa de avanço específica, independentemente da força de avanço gerada, enquanto
15 to compensando continuamente a elasticidade de todo o sistema de avanço. No modo de taxa constante, o circuito de compensação automático da elasticidade atualiza dinamicamente, em tempo real, a posição final do sistema de avanço. A atualização da posição final é baseada na variação na compressão do sistema (ou tração para ferramentas do tipo de puxar, ou uma
20 combinação de carga de tração com carga de torção de sistemas rotativos) que o sistema de avanço experimenta, enquanto expandindo a ferramenta e garante um tamanho acabado preciso e repetível de ciclo a ciclo.

O circuito Compensador automático de elasticidade deve usar algum valor de elasticidade do sistema. Esse parâmetro (k) é medido durante
25 a etapa de dimensionamento descrita acima.

O circuito de Proteção automática de ferramenta (ATP) monitora continuamente a célula de carga, a qualquer momento em que o sistema de avanço está movimentando-se. Se o operador estiver movimentando manualmente o sistema de avanço, ou o sistema de avanço está automaticamente
30 buscando o furo, ou o avanço está em curso em quaisquer dos modos de regulação, o circuito ATP checa que se força de avanço está dentro de uma faixa específica. Se a força de avanço excede um valor predeterminado, en-

tão o circuito ATP vai retrain, imediatamente, o sistema de avanço, para liberar a força gerada e notificar o controlador principal da máquina de afiação 38 para interromper todos os outros eixos.

Otimização da afiação

5 Com esta invenção, todos os parâmetros do sistema de avanço pertinentes são controlados ou medidos. Uma vez que a máquina é controlada por computador, existe uma oportunidade de otimizar automaticamente o desempenho de afiação para o cliente. O controle do tamanho do furo e a cilindricidade do furo podem ser, freqüentemente, obtidos satisfatoriamente por uma ampla faixa de parâmetros de avanço. No entanto, dentro dessa 10 faixa, há variações do tempo de ciclo e de desgaste da pedra. O cliente se preocupa com esses aspectos, uma vez que eles afetam o custo total por furo, para a operação de afiação.

Um programa de otimização, incluído no controle computadorizado da máquina, pode solicitar algumas informações básicas de um operador, ou de outro tipo de pessoal de fabricação, relativas ao custo das pedras abrasivas, altura das pedras abrasivas, pedras por ferramenta, custo por hora de mão-de-obra e de máquina, etc. Também incluídos seriam alguns limites para a força de avanço e a taxa de avanço. A máquina faria depois 15 uma simulação para um número predeterminado de peças de trabalho. A máquina poderia registrar os tempos dos ciclos e as compensações de tamanho de furo cumulativas, como uma medida de desgaste da pedra. A máquina poderia então estimar o custo por furo sob aquele conjunto de parâmetros de avanço. Depois, a força de avanço ou taxa de avanço poderia ser 20 variada por algum incremento predeterminado, e outra simulação poderia ser conduzida. Dessa maneira, a máquina poderia variar uma variável (força de avanço ou taxa de avanço), até que um custo ótimo por furo fosse encontrado. Nesse ponto, os ensaios seriam concluídos e a máquina manteria os seus ajustes nos valores ótimos, até cancelados por um operador. Exceto 25 para a consulta inicial de dados pertinentes, tudo isso poderia acontecer sem necessidade de envolvimento ou ciência do operador. 30

Ajuste da máquina

Com referência também às Figuras 5 e 5a, um fluxograma em alto nível 90 das etapas de ajuste da máquina, de acordo com um método da invenção, é mostrado. Aqui, deve-se notar que quando uma ferramenta diferente é instalada, o sistema de controle tem que conhecer a relação entre a posição do codificador do sistema de avanço e o diâmetro da ferramenta. Uma etapa de dimensionamento é necessária, depois as seguintes etapas são conduzidas:

1. O operador introduz informações incluindo o diâmetro alvo (ou final) das peças de trabalho que vão ser afiadas, como mostrado no bloco 92.
2. O operador mede o furo de uma peça de trabalho, com algum dispositivo de medida externo à máquina, como mostrado no bloco 94.
3. A peça de trabalho é colocada na máquina, como mostrado no bloco 96.
4. O operador introduz esse diâmetro medido no computador, como mostrado no bloco 98.
5. Quando iniciada pelo operador, a máquina vai colocar a ferramenta no furo da peça de trabalho, e o sistema de avanço vai movimentar-se lentamente para expandir o abrasivo, como mostrado no bloco 100.
6. Antes do abrasivo contatar o furo, o sistema de controle vai amostrar a célula de carga, para determinar um nível de força de referência, como mostrado no bloco 102.
7. Quando o abrasivo contata o furo, a força medida pela célula de carga vai aumentar. Ainda que a força esteja aumentando, o sistema de controle vai amostrar pelo menos dois pontos, como mostrado no bloco 104, um ponto sendo um par de dados da posição do codificador e da força de avanço. Esses pontos são referidos como (x_1, F_1) , (x_2, F_2) , etc., e são usados para calcular as elasticidades do sistema e da ferramenta, como mostrado no bloco 106. O ponto inicial, x_1 , corresponde ao diâmetro medido do furo. O valor da elasticidade calculado é armazenado no computador. (Como verificado na descrição matemática, pode ser tão simples quanto um valor cons-

tante único (k), ou pode assumir a forma de uma função matemática mais sofisticada).

8. Um dos pontos amostrados é selecionado para ser um ponto de referência referido como (x_r, F_r) , e esse é armazenado no computador, como mostrado no bloco 108.

9. O operador seleciona o método de controle do sistema de avanço: taxa de avanço em perfil ou constante, ou força de avanço em perfil ou constante. O operador introduz os valores para a variável controlada selecionada, como mostrado no bloco 110.

10. O operador pode ajustar ou a máquina pode calcular valores padronizados, para os limites superiores seguros da força de avanço e da taxa de avanço, como mostrado no bloco 112. Os limites inferiores também podem ser ajustados/calculados como indicações de desempenho de afiação inadequado.

Operação da máquina - afiação da peça de trabalho

Com referência também às Figuras 6 e 6a, um fluxograma de alto nível 114, incluindo as etapas de um método preferido de afiação de uma peça de trabalho de acordo com a invenção, é mostrado, e é descrito sucintamente a seguir.

1. A peça de trabalho é apresentada à ferramenta de afiação, e a máquina movimenta a ferramenta de afiação para o furo, como denotado no bloco 116.

2. O sistema de avanço expande rapidamente o elemento de afiação na direção do furo. Imediatamente, enquanto expandindo-se e antes de atingir o furo, o nível de referência da força é determinado, como denotado no bloco 118.

3. O sistema de avanço continua a expandir-se rapidamente, até que um nível de força é detectado, que indica que o abrasivo está contatando o furo, como denotado no bloco 120. Durante essa expansão, antes do furo ser contatado, a força de avanço é amostrada para determinar um nível de referência de força.

4. O sistema de avanço se retrai ligeiramente para aliviar a força

do abrasivo contra o furo, como denotado no bloco 122.

5. A rotação do eixo e o movimento de golpe começa, como denotado no bloco 124.

6. O sistema de avanço rapidamente retorna para o ponto no qual contactou o furo, como denotado no bloco 126.

7. O sistema de avanço então alimenta o abrasivo, usando um dos seguintes métodos: taxa de avanço em perfil ou constante, ou força de avanço em perfil ou constante, como denotado no bloco de decisão 128 e nos blocos 130 e 132. Se o modo de taxa em perfil ou constante é selecionado, o sistema monitora continuamente para checar se os limites da força foram excedidos, como denotado no bloco 134. Sendo assim, o sistema para a máquina e transmite ou exibe um aviso, como denotado no bloco 136. Se o modo de força em perfil ou constante for selecionado, o sistema monitora continuamente, para checar se os limites da taxa foram excedidos, como denotado no bloco 138. De novo, sendo assim, a máquina é interrompida e um aviso é exibido, como denotado no bloco 136.

8. Em qualquer um dos casos, o sistema checa continuamente para verificar se a posição alvo do codificador (x_t) foi atingida, como denotado no bloco 140. Se a força constante for o método selecionado, então a posição alvo do codificador é um valor estático. Se qualquer outro método tiver sido selecionado, então a posição alvo do codificador varia dinamicamente, na medida em que o nível de força varia.

9. O sistema também monitora a variável descontrolada, para estar seguro que os limites preestabelecidos não foram excedidos. Se tiverem sido, então a máquina vai parar com um aviso exibido.

10. Quando a posição alvo do codificador é atingida, o ciclo de afiação fica completo, como indicado no bloco 142.

11. O furo é medido (pelo operador ou por aferição automática), e se o furo se desvia do diâmetro alvo, então uma correção de tamanho de furo (usualmente, isso é por desgaste do abrasivo) é retornada ao computador, como denotado no bloco 144. Essa correção é usada para deslocar o valor da posição de referência do codificador, x_r . O processo é então repeti-

do, até que o tamanho de furo alvo seja atingido.

Desse modo, mostrou-se e descreveu-se um sistema de avanço de afiação, tendo controle integral de avanço, um aparelho e um sistema de movimentação automática baseado em força, que supera muitos dos problemas descritos acima de taxa e posição, e método operacional do mesmo. Vai ser evidente, no entanto, para aqueles familiares na técnica, que muitas mudanças, variações, modificações e outros usos e aplicações para os sistema e método objetos são possíveis. Todas essas mudanças, variações, modificações e outros usos, que não se afastam dos espírito e âmbito da invenção, são considerados como sendo cobertos pela invenção, que é apenas limitada pelas reivindicações que se seguem.

REIVINDICAÇÕES

1. Método de afiação de um furo de uma peça de trabalho, compreendendo as etapas de:

- 5 proporcionar uma ferramenta de afiação, tendo pelo menos um elemento de afiação radialmente expansível;
- 10 proporcionar um sistema de avanço em conjunto com a ferramenta de afiação, incluindo um elemento de avanço móvel, operável controlável e automaticamente para aplicar uma força de avanço contra a ferramenta de afiação, para expandir radialmente o pelo menos um elemento de afiação;
- 15 proporcionar um controle operável para controlar automaticamente a operação do sistema de avanço;
- 20 proporcionar um dispositivo para determinar as informações representativas de uma força de avanço, aplicada contra a ferramenta de afiação pelo elemento de avanço, e transmitir um sinal representativo dela para o controle;
- 25 proporcionar um dispositivo para determinar as informações representativas de uma posição do elemento de avanço, e transmitir um sinal representativo dela para o controle;
- 30 operar automaticamente o sistema de avanço para aplicar pelo menos dois níveis de força de avanço contra a ferramenta de afiação, quando em contato com uma superfície do furo a ser afiado, e determinar as informações representativas das posições do elemento de avanço, durante a aplicação das forças de avanço, respectivamente; e
- 35 computar automaticamente um valor aproximado de uma elasticidade de pelo menos a ferramenta de afiação, em função de uma diferença entre os dois níveis de força de avanço e as informações representativas das posições do elemento de avanço, durante a aplicação das forças de avanço, e determinar um valor representativo de um diâmetro do furo, durante afiação dele, em função do valor representativo da elasticidade, das informações representativas da força de avanço, e das informações representativas da posição do elemento de avanço.

2. Método de acordo com a reivindicação 1, compreendendo as etapas adicionais de:

proporcionar um valor para um diâmetro inicial do furo; e

5 determinar um valor representativo de um diâmetro efetivo do furo, durante afiação dele em função do valor representativo da elasticidade, das informações representativas da posição do elemento de avanço, das informações representativas da força de avanço, e do valor para o diâmetro inicial.

10 3. Método de acordo com a reivindicação 1, compreendendo as etapas adicionais de:

operar automaticamente o sistema de avanço, para movimentar o elemento de avanço para que expanda radialmente o pelo menos um elemento de afiação não limitado por uma superfície de um furo, e determinar as informações representativas de uma força de avanço de referência para a expansão; e

15 operar automaticamente o sistema de avanço, para movimentar o elemento de avanço para que expanda radialmente o pelo menos um elemento de afiação, de modo a contatar a superfície do furo, para provocar um aumento responsivo na força de avanço, a um nível maior do que a força de avanço de referência, servindo como um indicador do contato, e determinar um valor representativo do diâmetro do furo, em função de uma posição do elemento de avanço, no momento do contato.

20 4. Método de acordo com a reivindicação 3, no qual a etapa de determinar as informações representativas de uma força de avanço de referência, necessária para a expansão, compreende determinar uma faixa de valores para a força de avanço.

5. Método de acordo com a reivindicação 4, no qual o elemento de avanço compreende uma luva radialmente expansível.

30 6. Método de acordo com a reivindicação 3, compreendendo as etapas adicionais de:

afiar automaticamente pelo menos dois furos a um diâmetro expandido predeterminado, incluindo para cada um dos furos, conduzir a etapa

de operar o sistema de avanço para movimentar o elemento de avanço para expandir radialmente o pelo menos um elemento de avanço, de modo a contactar a superfície do furo, e determinar um valor representativo do diâmetro do furo, em função de uma posição do elemento de avanço, no momento do contato; e

determinar um valor representativo do desgaste do pelo menos um elemento de avanço, em função dos valores representativos dos diâmetros dos furos, no contato, e nas posições do elemento de avanço, quando os furos são afiados ao diâmetro expandido.

7. Método de acordo com a reivindicação 6, compreendendo uma outra etapa de calcular automaticamente um custo de afiação dos furos, pelo menos em parte em função do valor representativo de desgaste.

8. Método de acordo com a reivindicação 7, no qual a etapa de calcular automaticamente um custo de afiação inclui calcular, adicionalmente, o custo em função de um valor representativo de um custo operacional da máquina de afiação, para afiação dos furos.

9. Método de acordo com a reivindicação 7, no qual a etapa de afiar automaticamente pelo menos dois furos compreende seleccionar, automaticamente, diferentes parâmetros de afiação, para afiação dos furos ao diâmetro expandido predeterminado, respectivamente, e afiação dos furos ao diâmetro expandido, usando os diferentes parâmetros de afiação, e a etapa de calcular, automaticamente, um custo de afiação dos furos inclui o cálculo de um custo para afiação de cada um dos furos.

10. Método de acordo com a reivindicação 1, compreendendo uma outra etapa de afiar o furo, enquanto movimentando-se o elemento de avanço a uma taxa substancialmente constante.

11. Método de acordo com a reivindicação 1, compreendendo uma outra etapa de afiar o furo com a força de avanço, a um nível substancialmente constante.

12. Método de acordo com a reivindicação 1, compreendendo uma outra etapa de afiar o furo com a força de avanço, de níveis separados seguindo um perfil predeterminado.

13. Método de acordo com a reivindicação 1, no qual o dispositivo, para determinar as informações representativas de uma força de avanço, aplicada contra a ferramenta de afiação pelo elemento de avanço, e transmitir um sinal representativo dela, compreende uma célula de carga, disposta entre o elemento de avanço e a ferramenta de afiação.

14. Método de acordo com a reivindicação 1, no qual o dispositivo, para determinar as informações representativas de uma posição do elemento de avanço e transmitir um sinal representativo dela, compreende um codificador em conjunto com o elemento de avanço.

15. Método de acordo com a reivindicação 1, compreendendo uma outra etapa de afiação do furo com uma taxa de avanço, que varia em níveis seguindo um perfil predeterminado.

16. Método de acordo com a reivindicação 1, compreendendo uma outra etapa de afiação do furo com uma taxa de avanço, que varia seguindo um perfil, que é determinado, pelo menos em parte, em função das informações representativas da força de avanço.

17. Método de acordo com a reivindicação 1, compreendendo uma outra etapa de afiação do furo com uma força de avanço, que varia seguindo um perfil, que é determinado, pelo menos em parte, em função das informações representativas da taxa de avanço.

18. Método de acordo com a reivindicação 1, compreendendo ainda uma etapa de proporcionar um dispositivo automaticamente operável para monitorar as informações representativas de uma força de avanço e interromper a afiação, se a força de avanço, durante a afiação, atingir um nível predeterminado.

19. Método de acordo com a reivindicação 1, compreendendo uma outra etapa de afiar o furo, enquanto monitorando e mantendo uma carga substancialmente constante em um eixo retendo e girando a ferramenta de afiação.

20. Método de acordo com a reivindicação 1, compreendendo uma outra etapa de afiar o furo, enquanto monitorando e mantendo uma carga em um eixo, que varia de acordo com um perfil predeterminado.

21. Método de acordo com a reivindicação 1, no qual os sinais transmitidos para o controle, representativos das informações representativas de uma força de avanço, aplicada contra a ferramenta de afiação pelo elemento de avanço, são condicionados em função da grandeza deles.

5 22. Sistema para afiar automaticamente um furo de uma peça de trabalho a um diâmetro alvo, compreendendo:

uma ferramenta de afiação tendo pelo menos um elemento de afiação radialmente expansível;

10 um sistema de avanço em conjunto com a ferramenta de afiação, incluindo um elemento de avanço móvel, operável controlável e automaticamente para aplicar uma força de avanço contra a ferramenta de afiação, para expandir radialmente o pelo menos um elemento de afiação;

um controle operável para controlar automaticamente a operação do sistema de avanço;

15 um dispositivo para determinar as informações representativas de uma força de avanço, aplicada contra a ferramenta de afiação pelo elemento de avanço, e transmitir um sinal representativo dela para o controle;

20 um dispositivo para determinar as informações representativas de uma posição do elemento de avanço, e transmitir um sinal representativo dela para o controle;

o controle sendo automaticamente operável para controlar o sistema de avanço, para aplicar forças de avanço contra a ferramenta de afiação, quando em um estado livre, e computar pelo menos um valor representativo de elasticidade de pelo menos da ferramenta de afiação e do sistema de avanço, em função das forças de avanço aplicadas e das informações representativas das posições do elemento de avanço, durante a aplicação das forças de avanço, e o controle sendo operável automaticamente para computar pelo menos um valor alvo para a posição do elemento de avanço, para afiação do furo no diâmetro alvo, em função do pelo menos um valor representativo da elasticidade de pelo menos da ferramenta de afiação, das informações representativas da força de avanço, das informações representativas da posição do elemento de avanço, e de um valor representativo de

25

30

um diâmetro inicial do furo.

23. Sistema de acordo com a reivindicação 22, no qual o valor representativo do diâmetro inicial do furo é um valor introduzido.

24. Sistema de acordo com a reivindicação 22, no qual o controle é automaticamente operável para controlar o sistema de avanço, para aplicar uma força de avanço contra a ferramenta de afiação, quando no furo, para expandir o elemento de afiação, de modo a ser colocado em contato com uma superfície do furo, para provocar um aumento responsivo em um valor da força de avanço indicando o contato, e o controle é operável automaticamente para determinar o valor representativo do diâmetro inicial, em função de uma posição do elemento de avanço do sistema de avanço, quando o contato é indicado.

25. Sistema de acordo com a reivindicação 22, no qual o controle é automaticamente operável para controlar o sistema de avanço, para aplicar uma força de avanço contra a ferramenta de afiação, para provocar expansão radial do seu elemento de afiação livre por uma superfície de um furo, e determinar um valor representativo de uma força de avanço de referência, requerida para a expansão livre, e o contato sendo indicado por um aumento na força de avanço da força de avanço de referência.

26. Sistema de acordo com a reivindicação 22, no qual o controle é automaticamente operável para controlar o sistema de avanço, para afiar pelo menos dois furos ao diâmetro alvo, e para cada um dos furos operar controlavelmente o sistema de avanço, para movimentar o elemento de avanço para expandir o pelo menos um elemento de afiação, de modo a contactar a superfície do furo, e determinar um valor representativo do diâmetro do furo em função de uma posição do elemento de avanço, quando do contato, e determinar um valor representativo de desgaste do pelo menos um elemento de afiação, em função dos valores representativos dos diâmetros dos furos, no contato, e das posições do elemento de avanço, quando os furos são afiados ao diâmetro alvo.

27. Sistema de acordo com a reivindicação 26, no qual o controle é operável para calcular automaticamente um custo de afiação dos furos,

em função do valor representativo de desgaste.

28. Sistema de acordo com a reivindicação 22, no qual o controle é operável automaticamente para controlar o sistema de avanço, para movimentar o elemento de avanço a uma taxa constante para afiação do furo ao diâmetro alvo.

29. Sistema de acordo com a reivindicação 22, no qual o controle é operável automaticamente para controlar o sistema de avanço, para afiação do furo com a força de avanço a um nível constante.

30. Sistema de acordo com a reivindicação 22, no qual o controle é operável automaticamente para afiação do furo com a força de avanço, variável a níveis seguindo um perfil predeterminado.

31. Sistema de acordo com a reivindicação 22, no qual o controle é operável automaticamente para afiação do furo com uma taxa de avanço, que varia a níveis seguindo um perfil, que é determinado, pelo menos em parte, em função das informações representativas da força de avanço.

32. Sistema de acordo com a reivindicação 22, no qual o controle é operável automaticamente para afiação do furo com uma força de avanço, que varia a níveis seguindo um perfil, que é determinado, pelo menos em parte, em função das informações representativas da taxa de avanço.

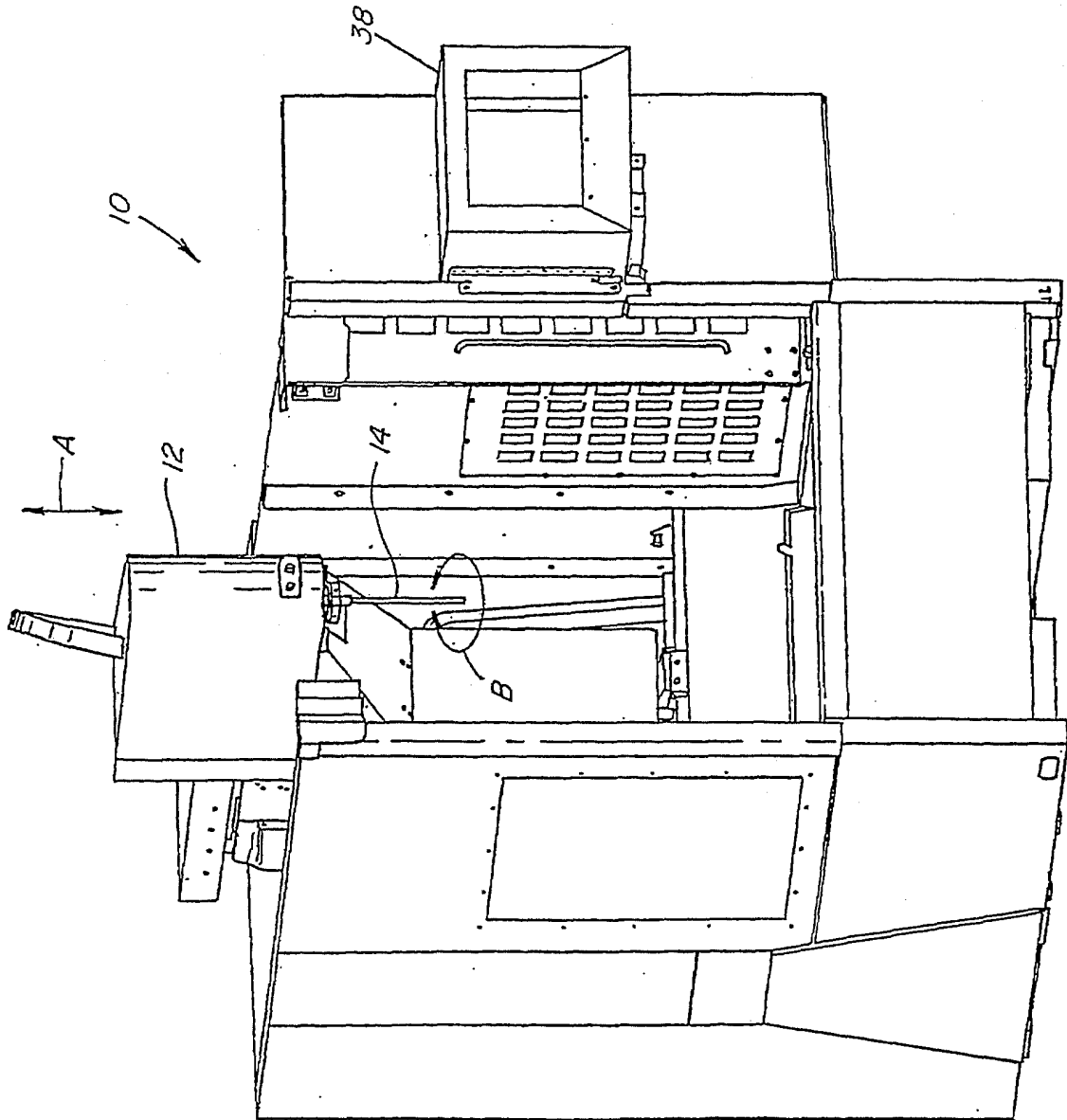


FIG 1

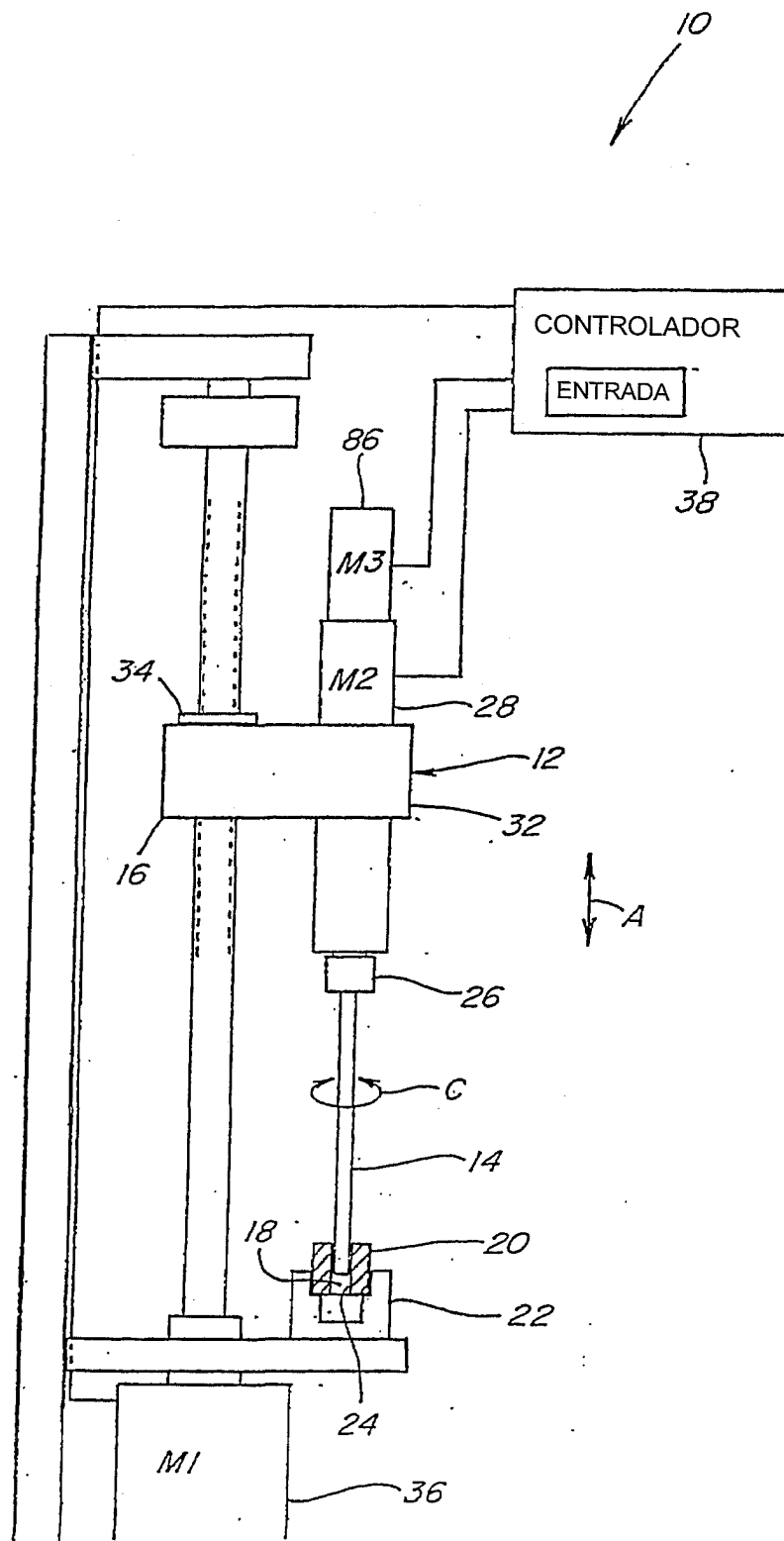


FIG 2

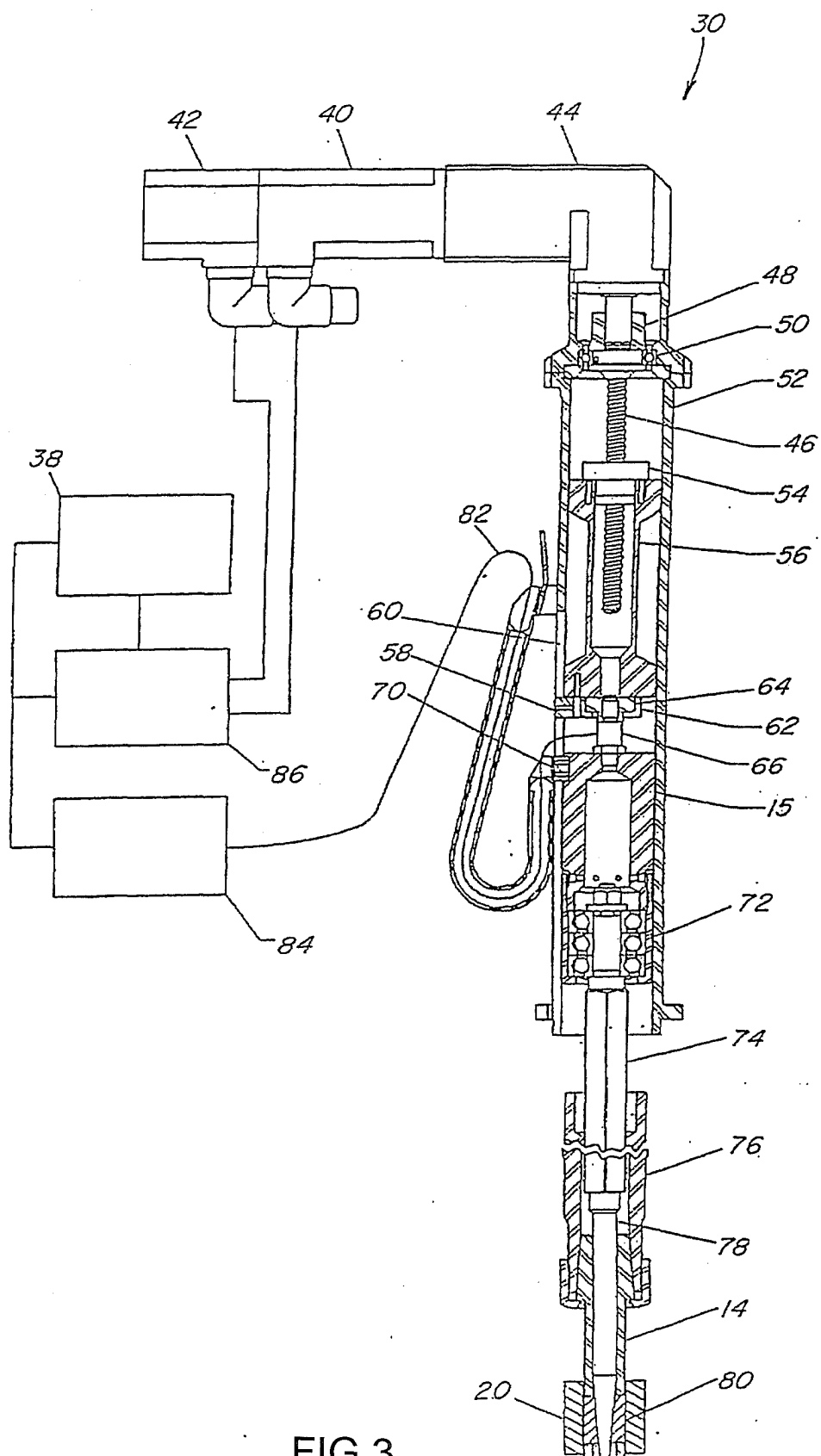


FIG 3

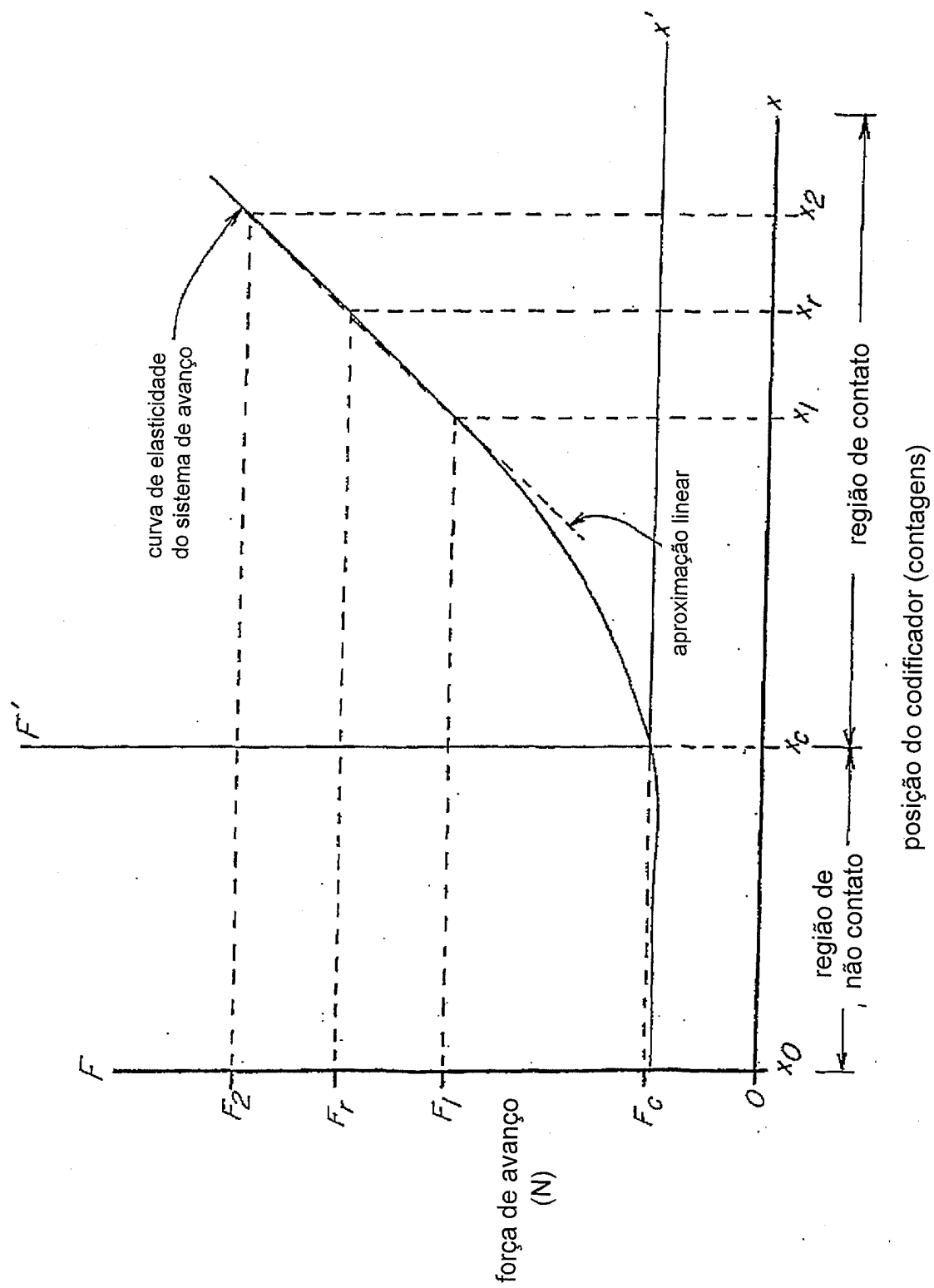


FIG 4

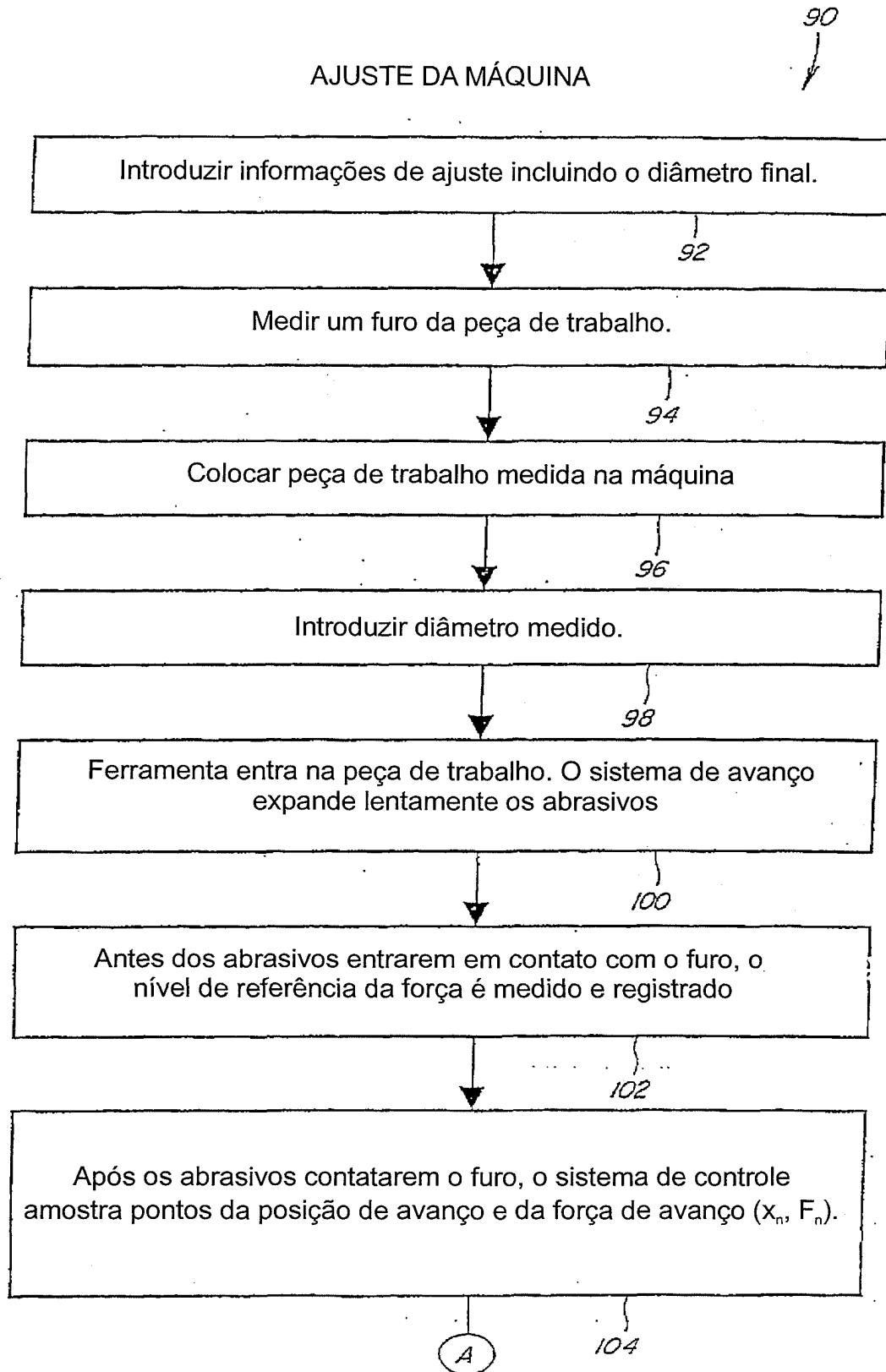


FIG 5

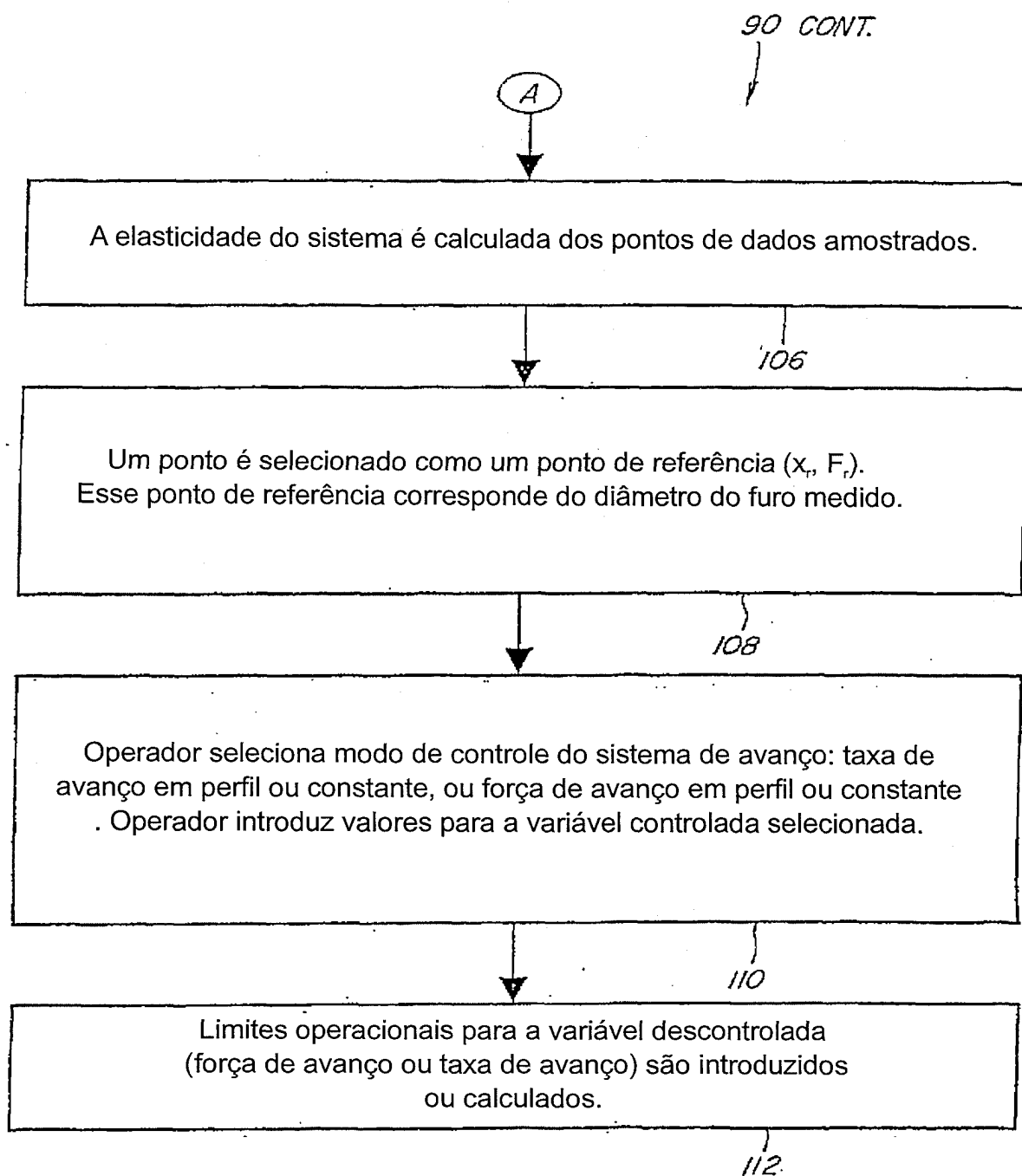


FIG 5a

114

Operação da máquina - afiação da peça de trabalho

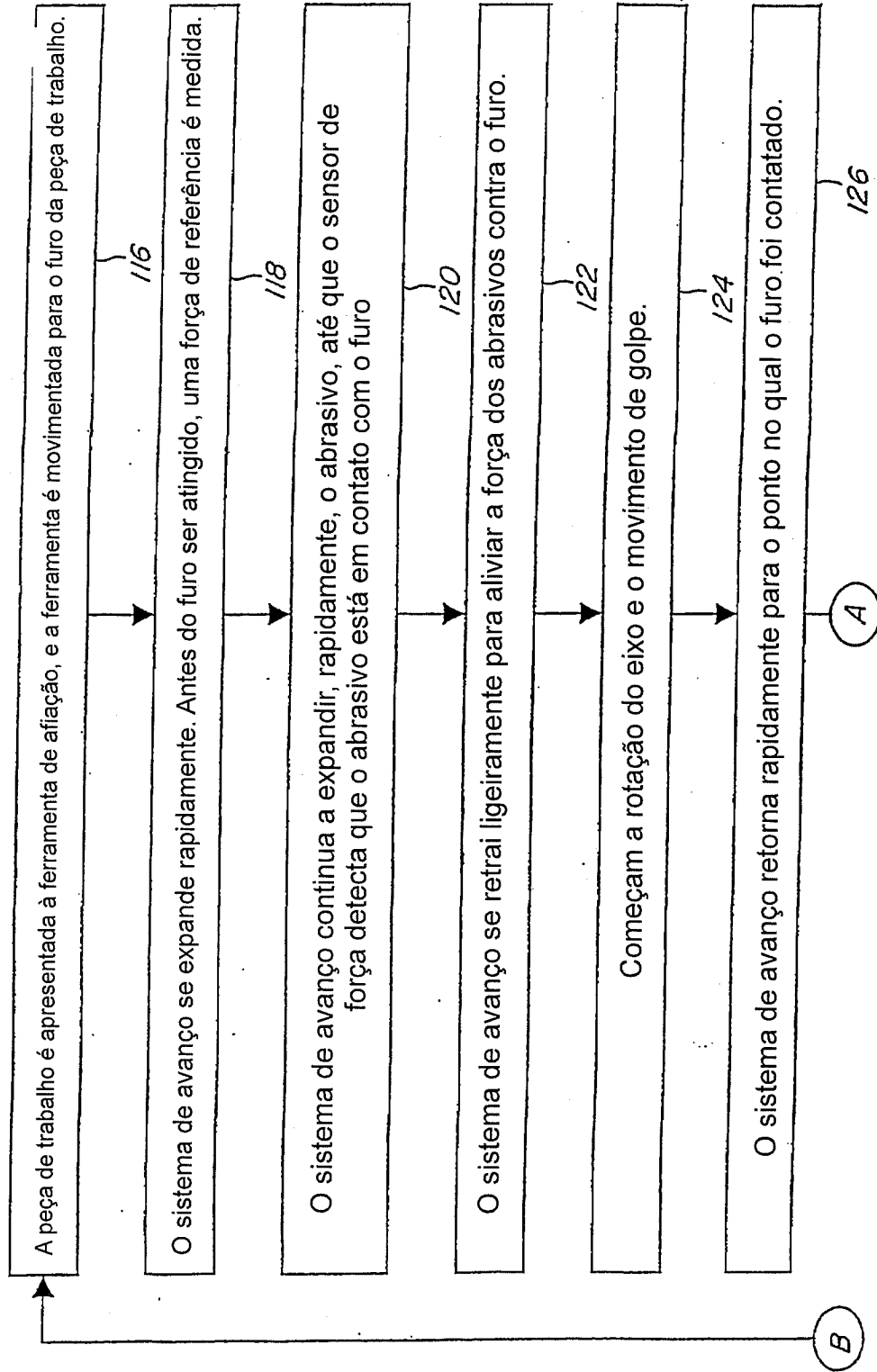
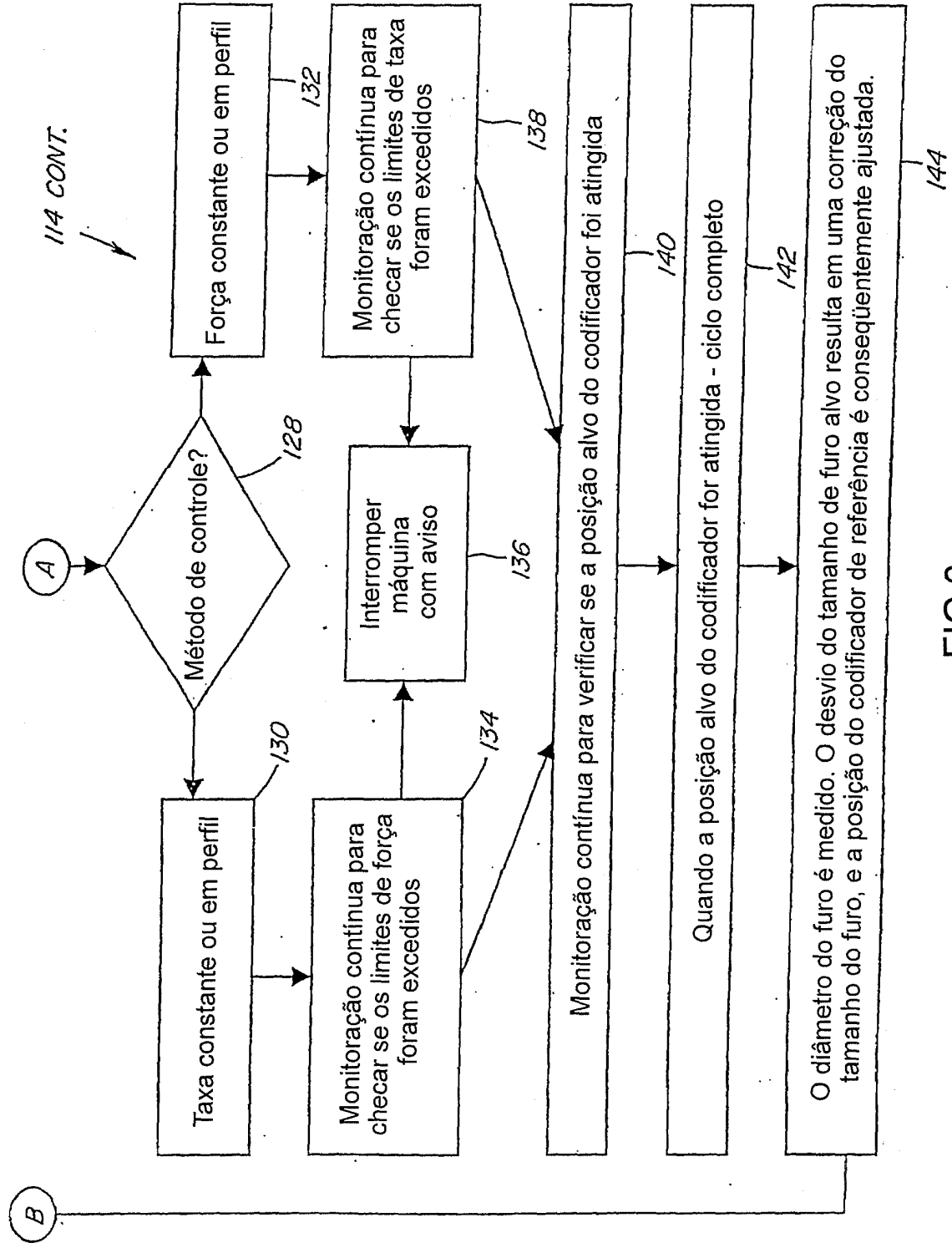


FIG 6



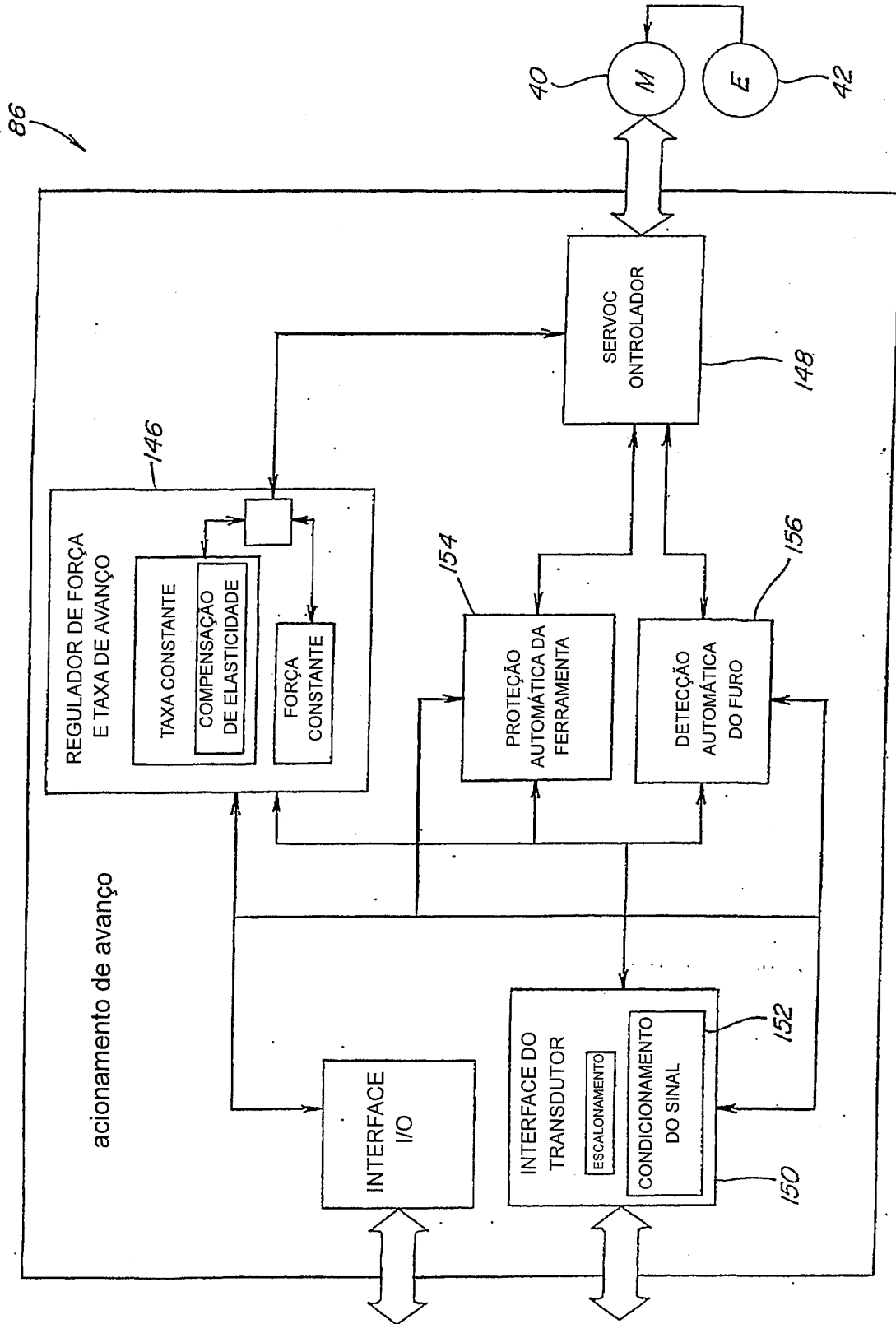


FIG 7