



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

(11) PI 0716168-9 B1

(22) Data do Depósito: 05/09/2007

(45) Data de Concessão: 03/07/2018



(54) Título: MÉTODO DE DETERMINAR UM TAMANHO DE UM FURO DE UMA PEÇA DE TRABALHO RETIFICADA USANDO UMA FERRAMENTA DE RETIFICAÇÃO

(51) Int.Cl.: B24B 49/00

(30) Prioridade Unionista: 05/09/2006 US 60/842,321

(73) Titular(es): SUNNEN PRODUCTS COMPANY

(72) Inventor(es): DAVID M. MOEHN; DANIEL R. CLOUTIER; TIMOTHY P. HOTH

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "**MÉTODO DE DETERMINAR UM TAMANHO DE UM FURO DE UMA PEÇA DE TRABALHO RETIFICADA USANDO UMA FERRAMENTA DE RETIFICAÇÃO**".

[001] Este pedido reivindica o benefício do Pedido Provisório U.S. Nº 60/842,321, depositado em 5 de setembro de 2006.

CAMPO TÉCNICO

[002] Esta invenção refere-se em geral à calibração de furos, a serem retificados, e depois de serem retificados, e mais particularmente, a calibração de furo usando uma capacidade de detecção de força de alimentação de um sistema de alimentação de uma máquina de retificação, para propósitos tais como obter precisão aperfeiçoada, e fazer a compensação para desgaste de ferramenta previsto para retificar a compensação.

ANTECEDENTES DA INVENÇÃO

[003] Pedido de Patente Nº de série 11/596.836 de Cloutier e outros intitulado "Honing Feed System Having Full Control of Feed Force, Rate and Position", atualmente pendente, e a descrição do Pedido Provisório U.S. Nº 60/842.321, depositado em 5 de setembro de 2006, são incorporados aqui por referência em sua totalidade.

[004] Atualmente, alguns modelos novos de máquinas de retificação disponíveis em Sunnen Products Company estão usando um dispositivo de detecção de força de alimentação para aperfeiçoar o controle e os resultados do processo de retificação. Esta tecnologia é descrita em detalhe nos pedidos de patente internacionais e U.S. pendentes acima referidos, de Cloutier e outros, "Honing Feed System Having Full Control of Feed Force, Rate and Position".

[005] Essencialmente, de acordo com a presente invenção, o tipo de sistema de alimentação descrito no pedido de patente pendente acima referido, e outros sistemas de alimentação com capacidade de

detecção de força, pode ser usado em conjunto com a ferramenta de retificação propriamente dita para produzir calibração pré- e pós-processo seguro do furo acabado, ou perfuração, aqui referido pelo termo furo. Além do mais, os dados colhidos e processados pelo computador de controle de máquina durante esta etapa podem ser usados para fazer compensações precisas para desgaste abrasivo da ferramenta de retificação.

[006] Métodos de medição de furo atuais podem ser em geral categorizados como métodos pós-processo e métodos em processo. Os métodos em processo primeiramente consistem tanto em calibrador cilíndrico que tenta entrar no furo durante o processo quanto uma sonda de calibração de ar, tanto separada quanto construída na ferramenta, medindo o furo durante o processo. A calibração pós-processo pode variar em sofisticação colocando manualmente um calibrador de furo no furo para sondas de calibrador de ar automáticas que entram no furo e tomam múltiplas leituras. Nenhum dos métodos conhecidos existe onde a ferramenta propriamente dita, precisando de qualquer fixação de medição dedicada, é usada para medir o tamanho do furo terminado.

[007] No passado, a maioria dos sistemas de alimentação de retificação não tinham habilidade de medir precisamente a força de alimentação e a posição de alimentação. Desde que os elementos do sistema de alimentação e a ferramenta de retificação não são perfeitamente rígidos e exibem algum grau de elasticidade, é impraticável tentar usar o sistema de alimentação de retificação como um sistema de medição de furo a menos que a força e a posição possam ser precisamente medidas.

[008] Um exemplo da técnica anterior, não combina as medições de força e posição. A Patente Européia N° EP 0 575 675 B1 (Grimm e outros, Method and Machine for Finishing a Bore in a Work Piece) usa

um dispositivo de medição de força de alimentação, para determinar um ponto final alvo (posição de codificador final) antes que o processo de retificação comece. Este método usa um anel de calibração (ou peça de trabalho de amostra) que foi feito com um tamanho de furo igual ao tamanho de furo final desejado. A ferramenta de retificação é expandida no furo deste anel de calibração até que um certo nível de força é medido no dispositivo de medição de força de alimentação. Para minimizar os erros que surgem da elasticidade do sistema de ferramenta e alimentação, a última força de alimentação registrada do último ciclo de retificação é usada. Quando esta força é atingida com a ferramenta no anel de calibração, a posição do sistema de alimentação é registrada como a posição-alvo para o ciclo de retificação seguinte.

[009] Um inconveniente observado da descrição acima discutida de Grimm e outros, no entanto, é que nenhuma das medições de pós-processo do furo retificado é feita para verificar a obtenção do tamanho de furo desejado. Assim, nenhuma capacidade é fornecida para o sistema de controle de máquina colher dados de processo precisos para aperfeiçoando a precisão do processo de retificação.

[0010] Outro inconveniente observado na descrição de Grimm e outros, é que nenhuma diferença entre as medições feitas sob condições dinâmicas e estáticas é indicada ou reconhecida. Em Grimm e outros, no anel de calibração, a força e a posição de alimentação são medidas sob condições estáticas, isto é, com nenhuma rotação relativa e/ou percurso da ferramenta e peça de trabalho, mas, no furo da peça de trabalho, as medições são feitas sob condições dinâmicas do processo de retificação, isto em, a ferramenta de retificação está pelo menos rodando e podem existir um movimento de percurso relativo entre a ferramenta e o furo. A experiência mostrou que forças e posições registradas sob condições dinâmicas não resultarão exatamente

na mesma medição de furo como quando o mesmo nível de força é aplicado sob condições estáticas.

[0011] Ainda adicionalmente, na descrição de Grimm e outros, a compensação de desgaste de ferramenta é feita periodicamente, baseada em diferenças entre as medições de posição de alimentação tomadas no anel de calibração antes e depois que pelo menos uma peça de trabalho foi retificada, e assim, como outro inconveniente, a compensação não é aplicada à peça de trabalho ou peças de trabalho imediatamente afetadas, mas em vez disto, em peças de trabalho subsequentemente retificadas.

[0012] Consequentemente, o que é procurado é uma capacidade de fazer medições pré- e pós-processo de furos de peças de trabalho retificadas, que verificam o tamanho de furo desejado e permitem a habilidade do sistema de controle de máquina colher dados do processo precisos para propósitos que incluem aperfeiçoar a precisão do processo de retificação e compensação de desgaste de ferramenta.

SUMÁRIO DA INVENÇÃO

[0013] De acordo com a invenção, uma capacidade de fazer medições de furos e peças de trabalho, ambos pré- e pós-processo, que permite verificar o tamanho do furo antes da retificação, e permite determinar mais precisamente parâmetros de retificação para atingir um tamanho de furo terminado desenhado, incluindo a quantidade de matéria-prima ou material a ser removido, e desgaste de ferramenta associado, e a habilidade do sistema de controle de máquina colher dados do processo precisos, para propósitos que incluem aperfeiçoar a precisão do processo de retificação, é descrita.

[0014] De acordo com um aspecto preferido da invenção, a presente invenção faz todas as medições de furo comparativas, isto é, aquelas no furo da peça de trabalho e no anel de calibração ou furo de peça de trabalho de amostra, sob condições estáticas.

[0015] De acordo com outro aspecto preferido da invenção, a presente invenção faz as compensações de desgaste de ferramenta antes que o furo de peça de trabalho é retificado, como uma função da quantidade de matéria-prima ou material a ser removido da peça de trabalho na operação de retificação.

DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

[0016] A figura 1 é uma representação esquemática simplificada de aspectos de uma máquina de retificação representativa para realizar as etapas do método da presente invenção, incluindo um sistema de alimentação, uma ferramenta de retificação, e um anel de calibração, e mostrando a ferramenta de retificação disposta em posição em um furo de uma peça de trabalho representativa a ser retificada;

a figura 2 é uma representação gráfica simplificada de desgaste de pedra versus remoção de matéria-prima de acordo com o método da invenção;

a figura 3 é uma representação esquemática simplificada de aspectos de uma máquina de retificação de múltiplas hastes representativa para realizar as etapas do método da presente invenção, incluindo sistemas de alimentação respectivos para as hastes, uma ferramenta de retificação de cada uma das hastes disposta em furos de peças de trabalho a serem retificados, e um anel de calibração em associação com uma das ferramentas de retificação;

a figura 4 é um diagrama de fluxo de alto nível ilustrando as etapas de uma modalidade preferida de um método da invenção; e

a figura 5 é uma vista lateral, em seção parcial, de uma haste de máquina de retificação representativa com a qual a invenção pode ser usada.

DESCRIÇÃO DA INVENÇÃO PROPOSTA

[0017] Referindo-se à figura 1, uma ferramenta de retificação 1 é fixada na haste 2 de uma máquina de retificação (não mostrada), cuja

máquina pode ser por exemplo, qualquer uma de uma variedade de máquinas que fornecem todos os movimentos exigidos usuais para processos de acabamento de furo abrasivos (rotação de haste e movimento alternado axial de haste ou peça de trabalho). A ferramenta de retificação contém uma cunha 3 que é acionada axialmente por um sistema de alimentação 5. (Detalhe de uma modalidade possível de um sistema de alimentação pode ser visto na figura 5, descrita mais particularmente em Cloutier e outros, "Honing Feed System Having Full Control of Feed Force, Rate and Position" incorporado aqui por referência acima). A extremidade da cunha se apoia em pedras abrasivas 6, desse modo alimentando-as no furo da peça de trabalho 7.

[0018] A força de alimentação desenvolvida na cunha e no sistema de alimentação é medida por uma célula de carga 9 que transmite um sinal eletrônico de volta para um amplificador 10 (se exigido). Energia e sinais circulam entre o amplificador e o controle de computador de máquina de retificação 12 e para um acionamento de motor controlado por computador 11. O controle destes dispositivos resulta em sinais que controlam precisamente um motor de alimentação ou algum outro componente de acionamento do sistema de alimentação 5.

[0019] Referindo-se também à figura 4, que contém um diagrama de fluxo 13 mostrando as etapas de uma modalidade do método da invenção, quando retifica um grupo de peças de trabalho, a primeira peça de trabalho deve de algum modo ser retificada no tamanho acabado ou perto do tamanho acabado. Isto poderia ser feito usando qualquer número de técnicas de inicialização convencionais. (Um tal método é descrito aqui abaixo, e em Cloutier e outros, "Honing Feed System Having Full Control of Feed Force, Rate and Position", incorporado aqui por referência acima).

[0020] Quando a retificação da primeira peça de trabalho está completa, a haste e o movimento de percurso se deterão. O sistema

de alimentação então retrairá as pedras abrasivas 6. Então o sistema de alimentação se moverá uma vez mais para expandir as pedras no mesmo furo de peça de trabalho 7, desta vez, no entanto, a expansão será sob condições estáticas, isto é, sem movimentos rotacionais e/ou alternados da ferramenta de retificação e peça de trabalho como seriam usadas para retificação real, em que o material ou matéria-prima é removida da superfície do furo. A expansão prosseguirá a alguma taxa predeterminada até que a célula de carga 9 detecta que um nível de força predeterminado ou alvo foi atingido. Neste ponto, a posição do sistema de alimentação (como determinado por um codificador no sistema de alimentação) será registrado, como uma posição do sistema de alimentação alvo. A taxa de expansão predeterminada pode ser uma que foi otimizada para a precisão da medição de posição que resulta quando o nível de força alvo é obtido e não é limitado a uma taxa única ou um movimento de alimentação de avanço único como várias técnicas podem ser consideradas para encontrar o furo de tal maneira que um valor de posição seguro pode ser medido. (Ver Cloutier e outros, "Honing Feed System Having Full Control of Feed Force, Rate and Position").

[0021] O sistema de alimentação então retrai novamente as pedras e a máquina move a ferramenta para cima para fora do furo da peça de trabalho até que as pedras abrasivas estão uniformemente dentro do anel de calibração 8. O anel de calibração mais provavelmente terá um furo que é exatamente do tamanho acabado desejado, embora os métodos descritos aqui funcionarão com qualquer tamanho de anel na medida em que a diferença entre o tamanho do anel e o tamanho acabado desejado está incluído nos cálculos do sistema de controle. Por simplicidade, os cálculos mostrados aqui assumirão que o anel de calibração foi feito para o tamanho acabado desejado exato.

[0022] Com as pedras dentro do anel de calibração, o sistema de

alimentação é novamente expandido na mesma taxa predeterminada até que a mesma força de alimentação alvo predeterminada é atingida. Neste ponto, a posição do sistema de alimentação é novamente registrado. Esta medição de posição é comparada com a medição feita no furo da peça de trabalho e o tamanho real do furo da peça de trabalho pode então ser calculado a partir do seguinte:

$$D_{wp} = D_{cr} + r(x_{wp} - x_{cr})$$

em que D_{wp} = diâmetro do furo da peça de trabalho (mm)

D_{cr} = diâmetro de anel de calibração (mm)

x_{wp} = posição de codificador de medição de peça de trabalho (contagens)

x_{cr} = posição de codificador de medição de anel de calibração (contagens)

r = relação de sistema de alimentação e ferramenta combinados (mm de expansão de pedra diametral por contagem de codificador)

[0023] Esta informação pode então ser usada para fazer uma compensação de tamanho de furo para a retificação da peça de trabalho seguinte. Também esta informação pode ser salva e/ou emitida para propósitos de Controle de Processo Estatístico.

[0024] Desde que esta etapa de medição não é uma parte exigida do processo de retificação, não precisa ser realizada em toda peça de trabalho. O operador da máquina de retificação pode selecionar a frequência na qual a medição de tamanho de furo final será tomada.

Medição, Prognóstico e Compensação de Desgaste de Pedra

[0025] É necessário medir pelo menos periodicamente o furo da peça de trabalho acabado porque as pedras abrasivas se desgastam continuamente durante o processo de retificação. Este desgaste de pedra, também referido como desgaste de ferramenta, resulta em erros de tamanho de furo. Muitos fatores afetam a quantidade de des-

gaste de pedra ou ferramenta que ocorrerá em um ciclo de retificação, mas a maioria destes fatores é mantida constantes por todo o processo e portanto não contribuirão para variações a curto prazo em desgaste de pedra. Um fator significativo que varia frequentemente de modo amplo de uma peça de trabalho para a seguinte é a quantidade de matéria-prima ou material de peça de trabalho a ser removida do furo (remoção de matéria-prima). O desgaste de pedra ou ferramenta aumenta na medida em que a quantidade de remoção de matéria-prima aumenta. Dependendo das condições e dureza dos furos de peça de trabalho de entrada, esta relação poderia ser uma proporção simples ou poderia ser mais complexa. Um exemplo é mostrado na figura 2. Para a maioria das aplicações uma aproximação linear da relação entre o desgaste da pedra e a remoção de matéria-prima será suficiente, no entanto é previsto que técnicas de encaixe de curva mais complexas poderiam ser usadas se uma aplicação específica apresenta tal relação suficientemente não linear entre o desgaste de pedra e a remoção de matéria-prima.

[0026] A presente invenção fornece um método para medir precisamente a remoção de matéria-prima e o desgaste de pedra para qualquer ciclo de retificação dado ou série de ciclos de retificação. O processo descrito acima constitui um conjunto de medições exigido. Outra medição também será exigida. Será necessário medir o diâmetro inicial do furo da peça de trabalho. Isto ocorrerá no começo do ciclo depois que qualquer compensação de furo do ciclo prévio foi feita pelo sistema de controle. O método de medição é idêntico àquele descrito acima. Sob condições estáticas o sistema de alimentação expande as pedras dentro do furo da peça de trabalho a uma taxa predeterminada até que uma força predeterminada é medida pela célula de carga. (Este processo é equivalente ao dispositivo descrito como Automatic Bore Detection em Cloutier, e outros, "Honing Feed System Having Full

Control of Feed Force, Rate and Position").

[0027] Depois que o ciclo de retificação está completo e a medição de tamanho de furo final é tomada como descrito acima, o sistema de controle terá registrado três medições:

x_i = posição de sistema de alimentação inicial (contagens)

x_f = posição de sistema de alimentação final (contagens)

x_t = posição de sistema de alimentação alvo (contagens)

Pela aplicação da relação combinada do sistema de alimentação e ferramenta, estas podem ser equivalentemente expressas como diâmetros:

$$D_i = r(x_i - x_0) \text{ onde } D_i = \text{diâmetro inicial (mm)}$$

$$D_f = r(x_f - x_0) \text{ onde } D_f = \text{diâmetro final (mm)}$$

$D_t = r(x_t - x_0)$ onde D_t = diâmetro alvo = isto é, anel de calibração (mm)

e onde x_0 = algum desvio (contagens) correspondendo a uma posição de codificador onde o diâmetro seria igual a zero

Remoção de matéria-prima, s (mm), e desgaste de pedra, w (mm), são então calculados como segue:

$$w = D_t - D_f = r(x_t - x_f)$$

$$s = D_f - D_i = r(x_f - x_i) \text{ ou } s = D_t - D_i - w$$

[0028] Uma posição de alimentação alvo $x_{t\text{next}}$ para retificar a peça de trabalho seguinte, e o ajuste para o desgaste de pedra, $x_{t\text{adj}}$ podem ser determinados usando equações mostradas no fundo do diagrama de fluxo da figura 4.

[0029] É entendido que o desgaste de pedra em muitas aplicações pode ser pequeno o bastante, que é desnecessário medir o tamanho de furo final em cada peça de trabalho retificada. Assumir então que a frequência de verificação de furo final seja a cada n peças de trabalho. (Nota: Desde que o tamanho de furo de entrada pode variar, o tamanho de furo inicial de cada peça de trabalho deve ser registrado e so-

mado para o grupo de n peças de trabalho). Para um grupo de n peças de trabalho então,

$$\sum w = D_t - D_f \text{ (medida na última peça de trabalho somente)}$$

$$\sum s = nD_t - \sum d_i - \sum w$$

[0030] Se a relação entre o desgaste de pedra e a remoção de matéria-prima é assumida ser linear, então a forma desta função pode ser escrita como:

$$w = A + Bs \text{ para uma peça de trabalho única, ou}$$

$$\sum w = nA + B\sum s \text{ para um grupo de n peças de trabalho}$$

onde A e B são constantes desconhecidas.

[0031] Pelo menos dois grupos precisarão ser medidos a fim de determinar A e B por técnicas de regressão linear convencionais. Depois que foram determinadas, então a relação entre o desgaste de pedra e a remoção de matéria-prima pode ser assumida ser conhecida e a relação acima pode ser usada para calcular a quantidade esperada de desgaste de pedra antes que o ciclo de retificação comece. Esta quantidade de desgaste de pedra pode então resultar em uma compensação de tamanho de furo precisa para desgaste de pedra antecipado aplicado no começo do ciclo de retificação para resultar no tamanho de furo acabado estando muito perto do tamanho de furo-alvo dentro de uma faixa mínima de erro. Esta compensação de tamanho de furo específico de peça de trabalho será baseada na quantidade medida de remoção de matéria-prima para este furo específico e calculado a partir da fórmula acima para w.

[0032] É entendido que as condições de retificação podem mudar com o tempo e a relação de desgaste de pedra com remoção de matéria-prima pode também mudar com o tempo. Pode ser desejável atualizar continuamente as constantes A e B baseado nos grupos mais recentes de medições. Isto é feito facilmente, no entanto, as fórmulas acima são baseadas na suposição que nenhuma das compensações

de tamanho de furo são feitas por toda a execução inteira do grupo sendo medido. Se as compensações de tamanho de furo são feitas durante a execução do grupo (tanto manualmente quanto automaticamente como descrito acima), então aquelas compensações devem ser somadas. A fórmula para $\sum w$ acima deve então ser substituída por:

$$\sum w = D_t - D_f + \sum c$$

onde $\sum c$ = soma de todas as compensações de tamanho de furo feitas durante a execução do grupo

[0033] Toda discussão e cálculos acima assumem que as medições de furo são feitas em um nível de força de alimentação constante. Isto removerá inerentemente qualquer efeito de elasticidade do sistema de alimentação e ferramenta. No entanto, um método conhecido para remover os efeitos de elasticidade é descrito em Cloutier e outros, "Honing Feed System Having Full Control of Feed Force, Rate and Position", assim é previsto que o método descrito por esta invenção poderia de fato ser realizada em níveis diferentes de força de alimentação uma vez que os métodos desta técnica anterior são aplicados durante o processo de medição.

Operações de Retificação de Múltiplas Hastes

[0034] Referindo-se também à figura 3, algumas máquinas de retificação usam múltiplas hastes (isto é, ferramentas) em sucessão para obter o furo acabado final (por exemplo, uma ferramenta de retificação bruta seguida por uma ferramenta de retificação de acabamento mais fina). Por exemplo, aqui, três ferramentas de retificação 1A, 1B e 1C são usadas. As ferramentas 1A, 1B e 1C são montadas em hastes separadas 2A, 2B e 2C de uma máquina de retificação que fornecem todos os movimentos exigidos usuais para processos de acabamento de furo abrasivos (rotação de haste e movimento alternado axial de haste ou peça de trabalho). As ferramentas de retificação contêm cunhas 3A, 3B e 3C, respectivamente, acionadas axialmente por um sistema de

alimentação 5A, 5B ou 5C. (Detalhe de outra modalidade possível do sistema de alimentação pode ser visto em Cloutier e outros, "Honing Feed System Having Full Control of Feed Force, Rate and Position"). Em cada uma das ferramentas, a extremidade da cunha contata pedras abrasivas 6A, 6B, e 6C, desse modo alimentando-as no furo da peça de trabalho 7.

[0035] Para cada uma das ferramentas, a força de alimentação desenvolvida na cunha e sistema de alimentação é medida por uma célula de carga 9A, 9B ou 9C que transmite um sinal eletrônico de volta a um amplificador 10A, 10B ou 10C (se exigido). Energia e sinais passam entre os amplificadores e o controle de computador de máquina de retificação 12 e a um acionamento de motor controlado por computador 11A, 11B ou 11C para cada ferramenta. Não é necessário ter um anel de calibração 8 para cada haste 2A, 2B e 2C. É suficiente somente para a última haste 2C ter o anel de calibração 8 ou algum outro método pós-processo de medir precisamente o tamanho de furo final.

[0036] Em operação, a peça de trabalho 7C acabada pela última ferramenta de retificação 1C é medida tanto pelo método descrito acima (usando anel de calibração 8) ou por algum método pós-processo de calibração de furo. Qualquer compensação de tamanho de furo que é determinado subsequentemente para esta última ferramenta é então feita para esta última ferramenta. O dispositivo de transferência de peça de trabalho (não mostrado), então indexa apresentando a peça de trabalho seguinte para cada haste. A peça de trabalho agora sob a última haste é a completada pela haste prévia. A ferramenta entra na peça de trabalho e sob condições estáticas a ferramenta é expandida até que as pedras abrasivas contatam a parede do furo. Quando este contato é feito e a alimentação para, o codificador do sistema de alimentação pode ser lido. Seguindo o método previamente descrito, es-

ta leitura de codificador pode ser matematicamente convertida em um tamanho de furo para esta peça de trabalho particular. Se este tamanho varia do tamanho de furo-alvo para esta ferramenta prévia, então a compensação de tamanho de furo apropriada pode ser feita para esta ferramenta prévia usando somente a informação obtida na ferramenta subsequente (isto é, nenhum anel de calibração será necessário para na ferramenta prévia).

[0037] Se mais que duas hastes estão presentes, a ferramenta antes da ferramenta que acabou de ser compensada pode agora ser medida e compensada usando o mesmo método. Isto pode continuar para qualquer número de hastes com a sequência de compensações que seguem da última ferramenta para a primeira ferramenta com cada ferramenta sendo calibrada por meio da medição de furo feita a partir da ferramenta que a segue na operação de retificação, mas que a precedeu nesta operação de calibração.

[0038] A figura 5 ilustra aspectos adicionais de um sistema de alimentação possível com o qual o método da invenção pode ser usado. Um motor de alimentação 14 de acionamento 11 é conectado a (ou integral com) um codificador 15. Se necessário fornecer as características desejadas de torque de saída, velocidade de saída, e deslocamento linear por contagem de codificador, um redutor de engrenagem 16 pode ser fixado no eixo do motor de alimentação 14. O eixo de saída do redutor de engrenagem é conectado a uma montagem de parafuso esférico 17 por um acoplamento 18. A montagem de parafuso esférico 17 resiste ao movimento axial por meio de mancal esférico 19 mantido em um alojamento de sistema de alimentação 20. (O alojamento do sistema de alimentação 20 pode consistir de várias peças como exigido para facilidade de fabricação e montagem). O parafuso esférico engata uma porca esférica 21 que é fixada a um suporte de porca esférica 22. O suporte de porca esférica 22 é impedido de rodar

por uma chaveta 23 que engata uma fenda 24 no alojamento do sistema de alimentação 20. A rotação do motor de alimentação 14 e subsequentemente o eixo de saída do redutor de engrenagem 16 faz o parafuso esférico rodar, que por sua vez confere um movimento linear à porca esférica 21 e seu suporte 22. A chaveta 23, nesta modalidade, é integral com um retentor 25 que tem um bolso para manter um disco redondo 26. O disco redondo 26 é fixado em uma extremidade rosca da célula de carga 9. O bolso tem uma quantidade muito pequena de folga com o disco redondo 26 para o propósito de permitir o disco redondo 26 se alinhar com os componentes abaixo sem criar quaisquer tensões indesejáveis na célula de carga 9. A célula de carga 9 é presa em uma haste de alimentação não rotativa 27, que é impedido de rodar por uma chaveta 28 que também engata a fenda previamente mencionada 24 no alojamento do sistema de alimentação 20. A vareta de alimentação não rotativa 27 é fixada em um tubo retendo uma disposição de mancais de contato angular 29. Os sulcos rotativos dos mancais 29 são fixados em uma haste de alimentação rotativa 30. A vareta de alimentação rotativa 30 é estriada ou chavetada por alguns meios de modo que rodará com o eixo de haste de máquina de retificação 2 e ainda permite movimento axial relativo entre o eixo de haste 2 e a vareta de alimentação 30. A haste 2 retém a ferramenta de retificação 1 que contém uma cunha para expandir elemento de retificação abrasivo 6 dentro do furo da peça de trabalho 7. A cunha é fixada na vareta de alimentação 3 e é permitido se mover axialmente com a vareta de alimentação 3, enquanto a ferramenta 1 é restringida do movimento axial por sua conexão na haste 2. Este movimento axial relativo da cunha e da ferramenta 1 cria o movimento de expandir/retrair dos elementos de retificação abrasivos 6. O alojamento do sistema de alimentação 20 e a haste 2 são conectados no carrinho de uma máquina de retificação que os percorre juntos para gerar o movimento alternado

axial do processo de retificação.

[0039] A força axial da cunha para expandir os elementos de retificação é desenvolvida a partir do torque do motor de alimentação e convertida em uma força linear pelo parafuso e porca esféricos e então transmitida através da célula de carga para a vareta de alimentação e cunha. A célula de carga portanto sempre detecta a força de alimentação axial completa do processo de retificação. O cabo de célula de carga 31 é carregado através de um suporte de cabo para um amplificador 10 (se exigido). Energia para e sinais da célula de carga passam através deste cabo e amplificador para um controle de alimentação baseado em processador e um servo controlador do acionamento de alimentação, em conexão com o motor 14 e codificador 15. O controle destes dispositivos resulta em sinais que controlam precisamente o movimento do motor de alimentação.

[0040] Existem dois métodos básicos de controle de alimentação. O primeiro é o controle de taxa de alimentação, onde o sistema de controle mantém o motor de alimentação se movendo em uma taxa constante ou controlar a taxa em algum perfil programado que é pelo menos parcialmente uma função de posição de alimentação. O segundo método básico de controle de alimentação é controle de força, onde o sistema de controle mantém o motor de alimentação movendo em uma maneira tal que a força de alimentação é mantida constante ou segue algum perfil programado que é pelo menos parcialmente uma função de posição de alimentação.

[0041] O controle do computador também permite que estes dois métodos básicos sejam misturados dentro de um ciclo de retificação, por exemplo, a retificação a uma taxa controlada até que alguma condição é satisfeita, então a retificação à força controlada até que o furo está em tamanho final. Além do mais, o controle de computador permite que um alto grau de flexibilidade em programação de controle de

alimentação. Parâmetros tais como taxa de alimentação, força de alimentação, o torque de haste, tempo, número de percursos alternados, temperatura de peça de trabalho, e outros podem ser usados em lógica de controle de tempo real que se adapta ao parâmetro de alimentação controlado ou mesmo mudanças no método de controle de alimentação em uma maneira programada simples ou complexa.

[0042] Será entendido que mudanças nos detalhes, materiais, etapas, e disposições de partes que foram descritas e ilustradas para explicar a natureza da invenção ocorrerão a e podem ser feitas por aqueles versados na técnica em uma leitura desta descrição dentro dos princípios e escopo da invenção. A descrição precedente ilustra a modalidade preferida da invenção; no entanto, conceitos, quando baseados na descrição, podem ser empregados em outras modalidades sem se afastar do escopo da invenção. Conseqüentemente, as reivindicações seguintes são pretendidas para proteger a invenção amplamente bem como na forma específica mostrada.

REIVINDICAÇÕES

1. Método de determinar um tamanho de um furo de uma peça de trabalho (7) retificada usando uma ferramenta de retificação montada em um sistema de alimentação de máquina de retificação (5) capaz de medir forças de alimentação exercidas contra a ferramenta e as posições do sistema de alimentação (5) representativas de posições de alimentação da ferramenta, caracterizado pelo fato de que compreende as etapas de:

expandir a ferramenta (1) dentro do furo da peça de trabalho (7), sob condições estáticas, até que uma força predeterminada seja encontrada, e medir a posição de sistema de alimentação (5);

posicionar a ferramenta (1) em um furo de tamanho conhecido e expandir a ferramenta (1), sob as condições estáticas, até que a força de alimentação predeterminada seja encontrada, e medir a posição do sistema de alimentação (5);

determinar um valor representativo do tamanho do furo da peça de trabalho (7), como uma função da posição medida do sistema de alimentação (5) para a ferramenta (1) no furo de tamanho conhecido, e a posição medida do sistema de alimentação (5) para a ferramenta (1) no furo da peça de trabalho (7).

2. Método, de acordo com a reivindicação 1, compreendendo uma etapa adicional de utilizar o valor representativo do tamanho do furo da peça de trabalho para controle de processo estatístico.

3. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que compreende as etapas anteriores à retificação do furo da peça de trabalho (7), de:

determinar um valor representativo de desgaste de pedra previsto para retificar o furo da peça de trabalho (7);

determinar uma posição alvo de sistema de alimentação (5) para retificar o furo da peça de trabalho (7) em um tamanho-alvo, co-

mo uma função do tamanho-alvo e o valor representativo de desgaste de pedra previsto; e

retificar o furo da peça de trabalho (7) até que a posição alvo de sistema de alimentação (5) seja atingida.

4. Método, de acordo com a reivindicação 3, caracterizado pelo fato de que o valor representativo de desgaste de pedra previsto é determinado como uma função de uma quantidade de material a ser removido pela retificação do furo na posição alvo de sistema de alimentação (5).

5. Método, de acordo com a reivindicação 4, caracterizado pelo fato de que o valor representativo de desgaste de pedra previsto é determinado pelo menos em parte, a partir de medições de desgaste de pedra para pelo menos uma peça de trabalho (7) retificada previamente.

6. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que as etapas de expandir a ferramenta (1) compreendem expandir a ferramenta (1) a uma taxa predeterminada.

7. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que compreende uma etapa adicional de determinar um valor de compensação de sistema de alimentação (5) como uma função da posição medida de sistema de alimentação (5) para a ferramenta (1) no furo de tamanho conhecido, e a posição medida de sistema de alimentação (5) para a ferramenta (1) no furo da peça de trabalho (7).

8. Método, de acordo com a reivindicação 7, caracterizado pelo fato de que compreende ainda uma etapa de determinar uma posição alvo de sistema de alimentação (5) como uma função do valor de compensação do sistema de alimentação (5) e um valor representativo de desgaste de pedra previsto para uma etapa de retificação subsequente.

9. Método, de acordo com a reivindicação 7, caracterizado pelo fato de que compreende ainda uma etapa adicional de usar o valor de compensação de sistema de alimentação (5) para determinar uma posição alvo de sistema de alimentação (5) para retificar um furo de outra peça de trabalho.

10. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o furo de tamanho conhecido compreende um furo de um anel de calibração ou uma peça de trabalho (7) de amostra.

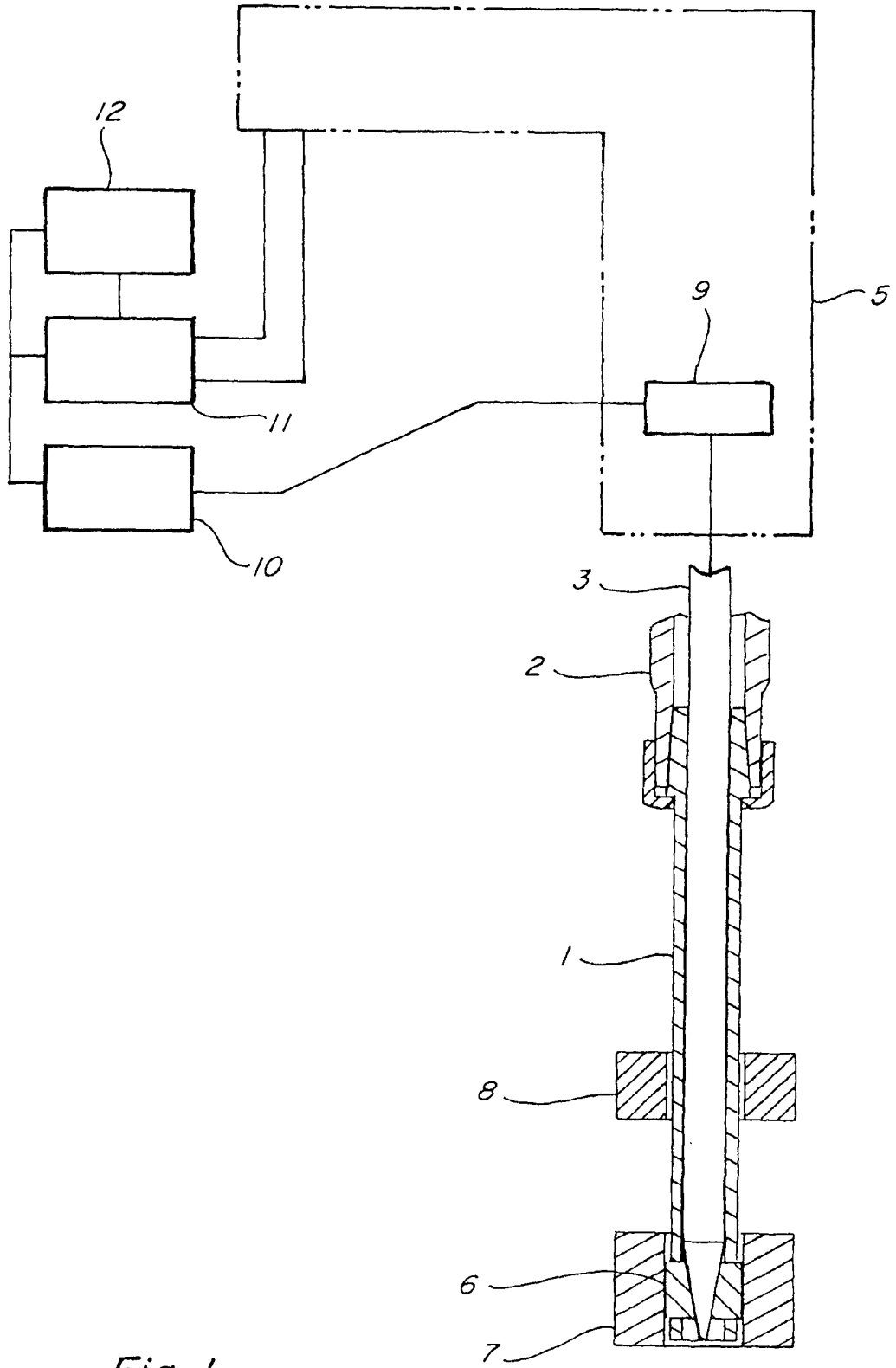


Fig. 1

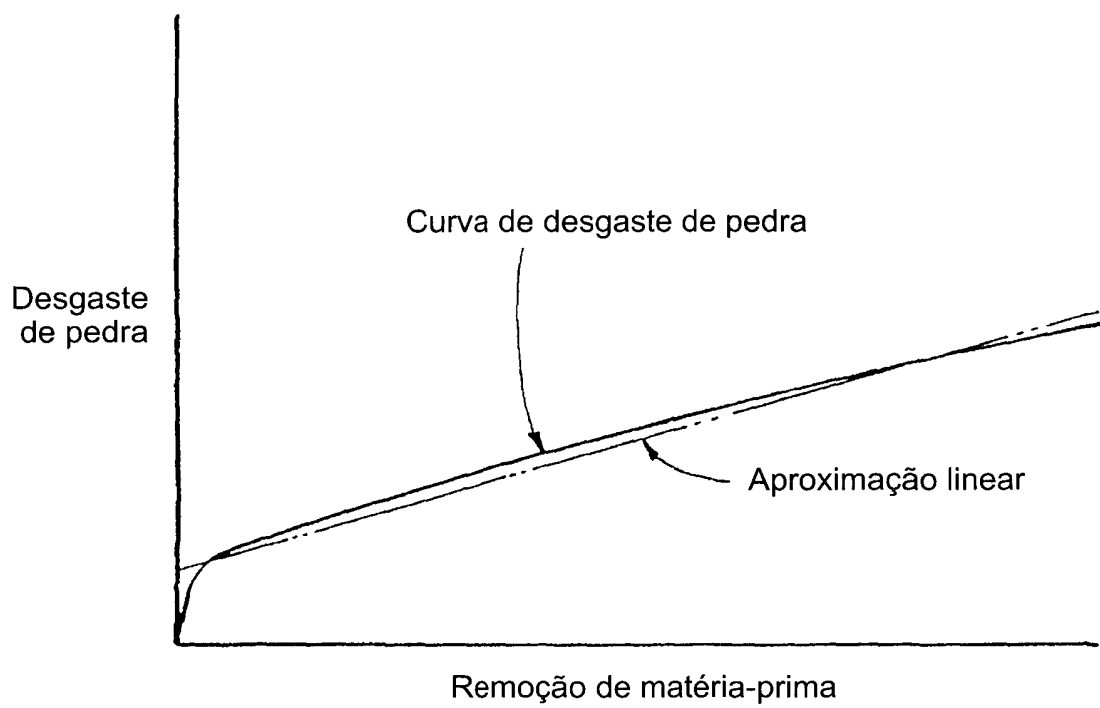


Fig. 2

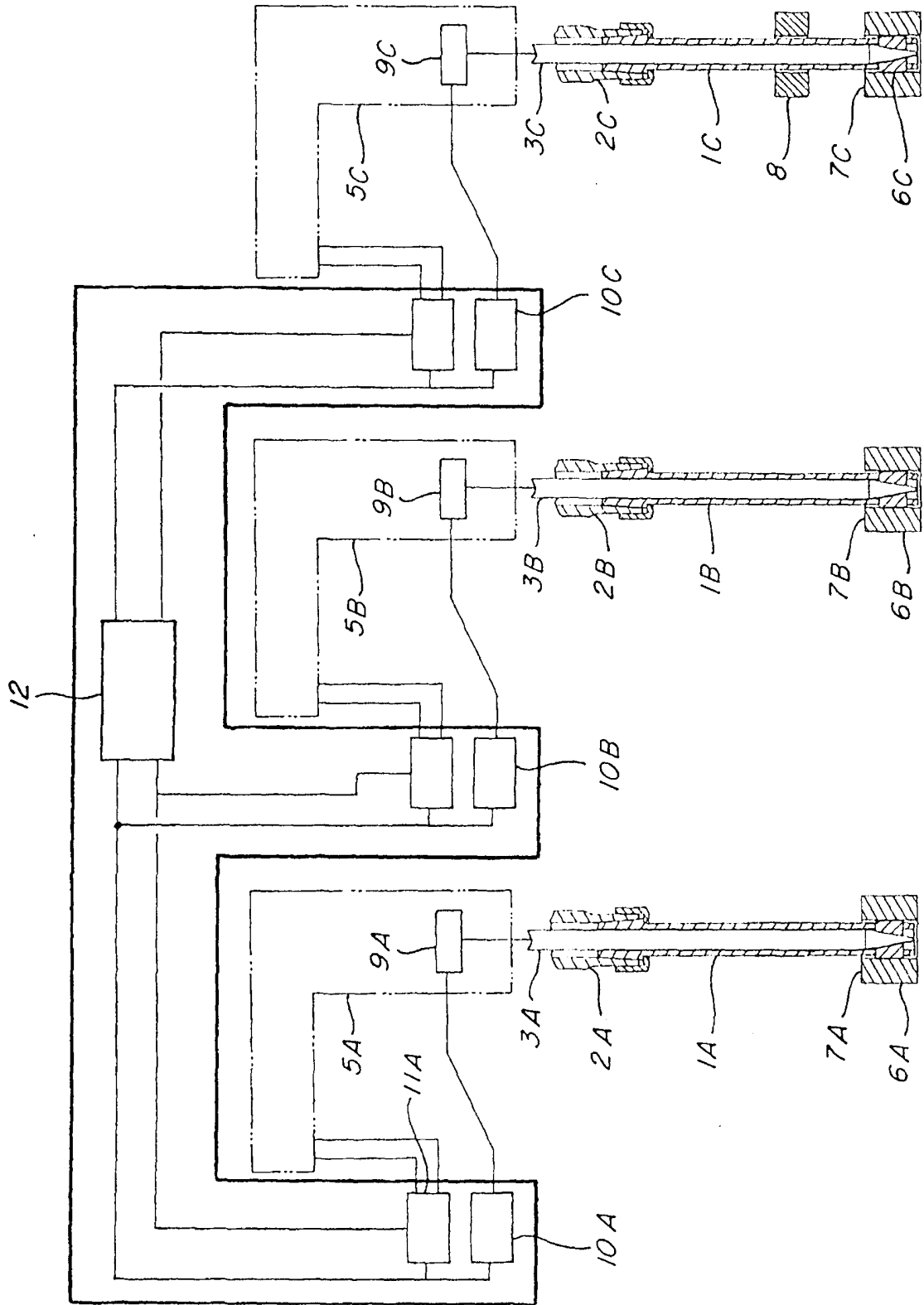


Fig. 3

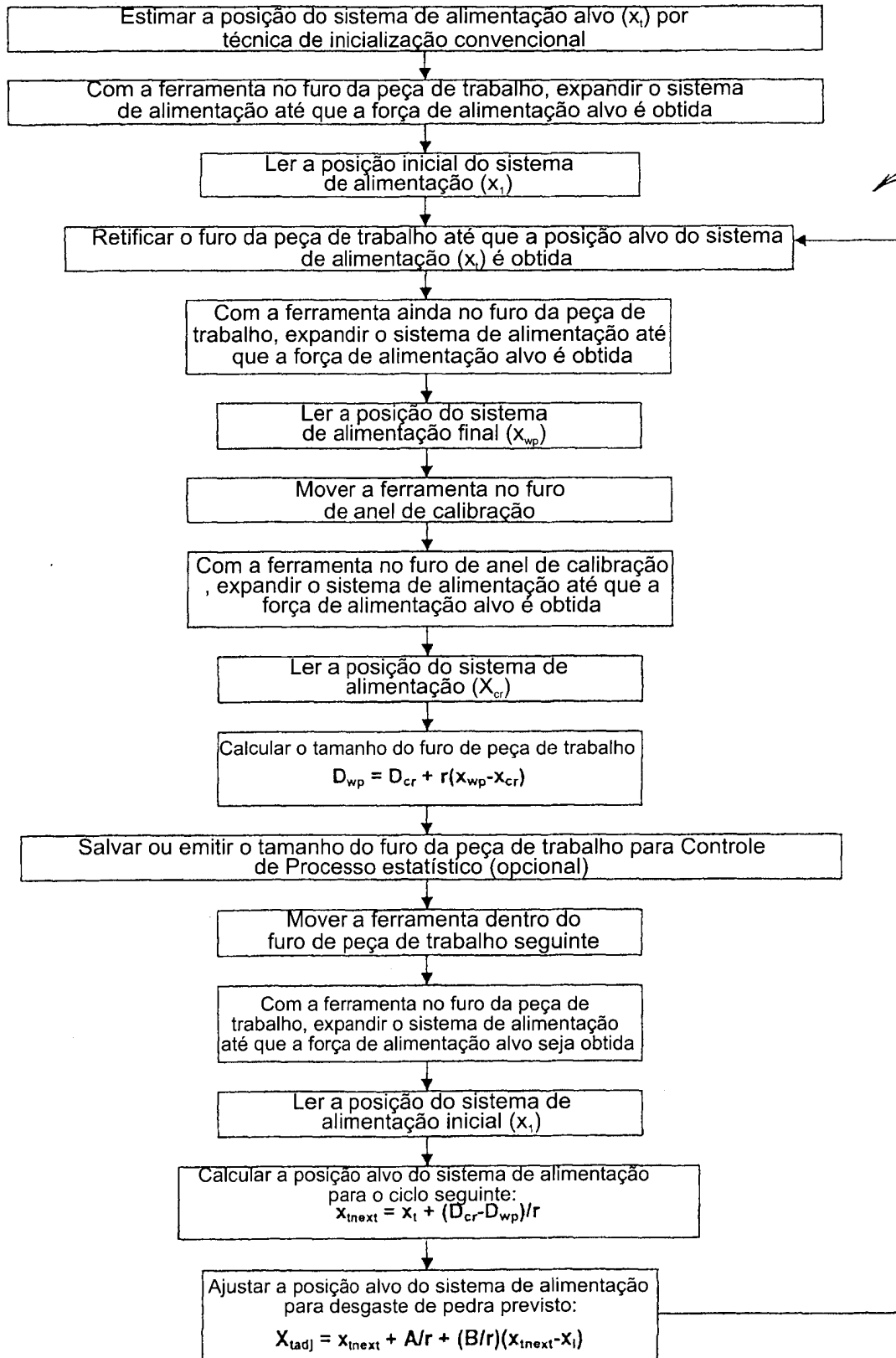


Fig. 4

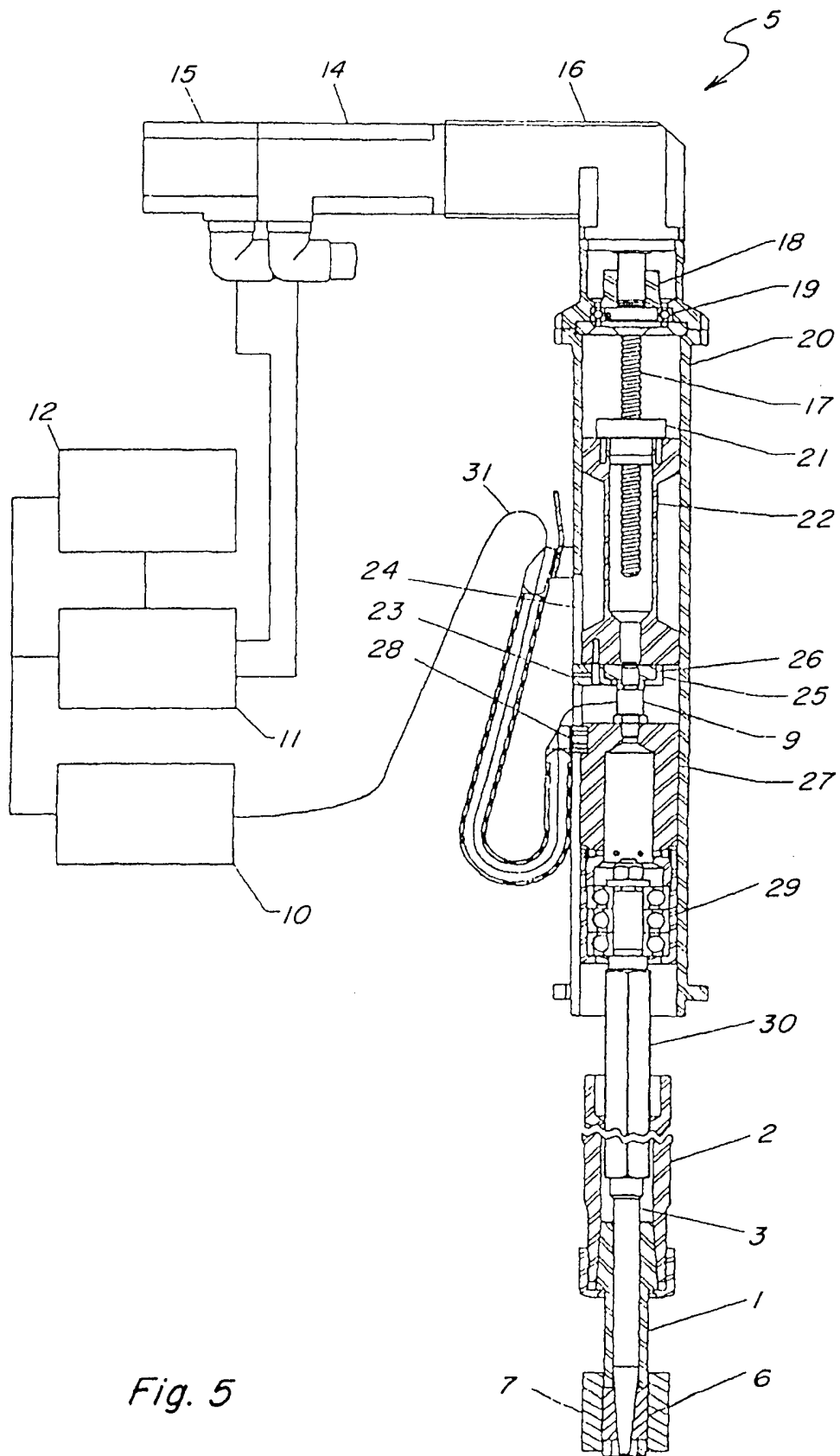


Fig. 5