



**INPI**  
Assinado  
Digitalmente

**REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL**  
MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA, COMÉRCIO EXTERIOR E SERVIÇOS  
**INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL**

## **CARTA PATENTE Nº PI 0720180-0**

O INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL concede a presente PATENTE DE INVENÇÃO, que outorga ao seu titular a propriedade da invenção caracterizada neste título, em todo o território nacional, garantindo os direitos dela decorrentes, previstos na legislação em vigor.

**(21) Número do Depósito:** PI 0720180-0

**(22) Data do Depósito:** 26/10/2007

**(43) Data da Publicação do Pedido:** 12/06/2008

**(51) Classificação Internacional:** G01N 29/26; G01N 29/04; G01N 27/90; G01N 27/83

**(30) Prioridade Unionista:** JP 2006-326817 de 04/12/2006

**(54) Título:** DISPOSITIVO DE ACOMPANHAMENTO DE DETECÇÃO DE FALHA PARA CANO OU TUBO E APARELHO DE DETECÇÃO DE FALHA AUTOMÁTICO PARA CANO OU TUBO USANDO O MESMO

**(73) Titular:** NIPPON STEEL & SUMITOMO METAL CORPORATION, Sociedade Japonesa. Endereço: 6-1, Marunouchi 2-Chome, Chiyoda-Ku, Tokyo 100-8071, JP-Japão., JAPÃO(JP)

**(72) Inventor:** HIROSHI KUBOTA; YOSHIYUKI NAKAO; MASAMI IKEDA; NOBUYUKI MORI; HIROSHI SATO

**Prazo de Validade:** 10 (dez) anos contados a partir de 26/06/2018, observadas as condições legais

**Expedida em:** 26/06/2018

Assinado digitalmente por:

**Liane Elizabeth Caldeira Lage**

Diretora de Patentes, Programas de Computador e Topografias de Circuitos Integrados

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "**DISPOSITIVO DE ACOMPANHAMENTO DE DETECÇÃO DE FALHA PARA CANO OU TUBO E APARELHO DE DETECÇÃO DE FALHA AUTOMÁTICO PARA CANO OU TUBO USANDO O MESMO**".

5    **ANTECEDENTES DA INVENÇÃO**

Campo da Invenção

A presente invenção refere-se a um dispositivo de acompanhamento de detecção de falha tipo não contato para um cano ou tubo, por meio do que um sensor de detecção de falha disposto oposto a uma superfície  
10    externa de um cano ou tubo, para a detecção de uma falha em um cano ou tubo, tal como um cano ou tubo de aço, acompanha de forma acurada um cano ou tubo rodado em uma direção circunferencial durante uma detecção de falha, e um aparelho de detecção de falha automático para um cano ou tubo capaz de detectar automaticamente uma falha pelo comprimento inteiro  
15    de um cano ou tubo incluindo uma extremidade do cano ou tubo pelo uso do mesmo. A partir deste ponto, "cano ou tubo" é referido como "cano", quando julgado apropriado.

Descrição da Técnica Relacionada

Como um método de inspeção não-destrutivo para um cano, têm  
20    sido conhecidos vários tipos de métodos de detecção de falha exemplificados por um método de ensaio ultrassônico, e um método de ensaio de corrente parasita e um método de ensaio de vazamento de fluxo magnético. Estes métodos de detecção de falha geralmente são implementados por uma rotação relativa de um sensor de detecção de falha, tal como uma son-  
25    da ultrassônica em uma direção circunferencial de um cano e, ainda, pelo movimento relativo do sensor de detecção de falha em uma direção axial do cano. Nestes métodos de detecção de falha, é importante manter a relação de posição constante entre o cano rodado relativamente na direção circunfe-  
30    rencial durante uma detecção de falha e o sensor de detecção de falha, isto é, a relação de posição em um plano perpendicular à direção axial do cano, de modo a se manter uma sensibilidade de detecção de falha constante.

Contudo, é difícil manter uma relação de posição relativa entre o

cano e o sensor de detecção de falha constante, devido ao formato de seção transversal do cano, a vibrações durante um transporte do cano ou uma influência por um cano flexionado, por exemplo, em uma extremidade, no caso em que a posição do sensor de detecção de falha, isto é, a posição no plano perpendicular à direção axial do cano é fixa.

Tendo em vista isto, o sensor de detecção de falha é afixado a um dispositivo de acompanhamento do tipo de contato para se colocar um membro de contato mecânico, tal como um rolo ou uma sapata em contato com o cano principalmente, exceto pela extremidade do cano nos métodos convencionais de detecção de falha, de modo que uma falha seja automaticamente detectada, enquanto se permite que o sensor de detecção de falha acompanhe uma mudança de posição do cano. Nesse ínterim, um ensaio ultrassônico é realizado pela varredura manual de uma sonda ultrassônica, ou um ensaio de partículas magnéticas é realizado na extremidade do tubo, em que o dispositivo de acompanhamento do tipo de contato dificilmente é usado pelo medo de ruptura do membro de contato.

Contudo, o membro de contato está sujeito a ser separado do cano no dispositivo de acompanhamento, conforme a velocidade de rotação do cano se torna mais alta e, portanto, a velocidade de rotação do cano deve ser limitada, devido à degradação da precisão de acompanhamento do sensor de detecção de falha, desse modo se originando um problema de deterioração de uma eficiência de detecção de falha. Além disso, o membro de contato precisa ser colocado em contato com o cano, desse modo dando origem a um problema de manutenção trabalhosa ou uma possibilidade de ruptura do membro de contato. Mais ainda, o ensaio ultrassônico manual ou o ensaio de partículas magnéticas na extremidade do cano requer um trabalho incômodo e degrada a eficiência de detecção de falha, e, ainda, o ensaio de partículas magnéticas, em particular, dá origem a um problema de dificuldade na quantificação das falhas detectadas.

Tendo em vista isto, houve um desenvolvimento desejado de um dispositivo de acompanhamento de um tipo de não contato, isto é, sem o membro de contato descrito acima, mas sendo capaz de permitir um sensor

de detecção de falha para acompanhamento pelo comprimento inteiro de um tubo.

Até agora, dispositivos de acompanhamento do tipo de não contato foram propostos, por exemplo, nas Publicações de patente japonesa aberta à inspeção pública nº 64-38648, 05-26559 e 2001-208730.

Contudo, um dispositivo descrito na Publicação ou Patente Japonesa Aberta Nº 64-38648 é configurado de modo que um sensor de detecção de falha, isto é, uma sonda a qual acompanha um cano seja integrado com um medidor de deslocamento do tipo de não contato, isto é, um sensor de deslocamento para medição da relação de posição entre o sensor de detecção de falha e o cano, de modo a se controlar a posição do sensor de detecção de falha imediatamente com base na relação de posição entre o sensor de detecção de falha e o cano medida pelo medidor de deslocamento. Portanto, surge um problema de uma precisão alta de acompanhamento não poder ser obtida por causa de um atraso operacional que ocorre inevitavelmente no meio de posicionamento, isto é, um servomecanismo disposto no sensor de detecção de falha. Em outras palavras, a precisão alta de acompanhamento requer uma velocidade de rotação notadamente baixa do cano durante uma detecção de falha, desse modo se dando origem a um problema de degradação de eficiência de detecção de falha.

A propósito, um dispositivo mostrado na Publicação de Patente Japonesa Aberta Nº 05-26559 ou 2001-208730 é configurado de modo que um sensor de detecção de falha acompanhe, isto é, esteja posicionado em um cano em um estado estacionário, isto é, durante uma não-rotação em uma direção circunferencial. Portanto, é difícil aplicar um dispositivo como esse ao caso de uma posição relativa sempre mudando entre o sensor de detecção de falha e o cano devido à rotação do cano na direção circunferencial.

#### SUMÁRIO DA INVENÇÃO

A presente invenção foi realizada para a resolução dos problemas descritos acima na técnica relacionada. Assim, um objetivo da presente invenção é prover um dispositivo de acompanhamento de detecção de falha

do tipo de não contato para um cano ou tubo, por meio do qual um sensor de detecção de falha disposto oposto a uma superfície externa de um cano ou tubo, para a detecção de uma falha em um cano ou tubo, tal como um cano ou tubo de aço, acompanha de forma acurada um cano ou tubo rodado em  
5 uma direção circunferencial durante uma detecção de falha, e um aparelho automático de detecção de falha para um cano ou tubo capaz de detectar automaticamente uma falha pelo comprimento inteiro de um cano ou tubo, incluindo uma extremidade do cano ou tubo, pelo uso do mesmo.

De modo a se resolver o objetivo descrito acima, a presente invenção provê um dispositivo de acompanhamento de detecção de falha para  
10 um cano ou tubo, por meio do qual um sensor de detecção de falha disposto oposto a uma superfície externa de um cano ou tubo e se movendo relativamente ao longo de uma direção axial do cano ou tubo, para a detecção de uma falha no cano ou tubo rodado em uma direção circunferencial, acompanha o cano ou tubo, o dispositivo de acompanhamento compreendendo pelo  
15 menos um medidor de deslocamento do tipo de não contato para a medição da superfície externa do cano ou tubo em um estado de não contato; um posicionador para movimento do sensor de detecção de falha em um plano perpendicular a uma direção axial do cano ou tubo ao longo da direção oposta do cano ou tubo ao sensor de detecção de falha e uma direção perpendicular à direção oposta; e um controlador de posicionamento para controle do posicionador, o controlador de posicionamento predizendo um tempo até uma porção do cano ou tubo cujo deslocamento é medido pelo medidor de deslocamento do tipo de não contato atingir uma posição predeterminada em uma linha reta que se estende na direção oposta através do centro  
20 de rotação do cano ou tubo, com base na relação de posição entre o medidor de deslocamento do tipo de não contato e o sensor de detecção de falha e uma velocidade de rotação do cano ou tubo; controlando o posicionador com base no deslocamento medido pelo medidor de deslocamento do tipo de não contato e um tempo de atraso operacional do posicionador, de maneira tal que a posição relativa do sensor de detecção de falha após o lapso do tempo predito para o cano ou tubo após o lapso do tempo predito se tor-

nar substancialmente constante na direção oposta; e movendo o sensor de detecção de falha ao longo da direção oposta, e o controlador de posicionamento predizendo um tempo até uma porção do cano ou tubo cujo deslocamento é medido pelo medidor de deslocamento do tipo de não contato atingir uma posição predeterminada em uma linha reta que se estende na direção perpendicular através do centro de rotação do cano ou tubo, com base na relação de posição entre o medidor de deslocamento do tipo de não contato e o sensor de detecção de falha e uma velocidade de rotação do cano ou tubo; controlando o posicionador com base no deslocamento medido pelo medidor de deslocamento do tipo de não contato e um tempo de atraso operacional do posicionador, de maneira tal que a posição relativa do sensor de detecção de falha após o lapso do tempo predito se tornar substancialmente constante na direção perpendicular; e movendo o sensor de detecção de falha ao longo da direção perpendicular.

De acordo com a presente invenção, o controlador de posicionamento controla o posicionador para movimento do sensor de detecção de falha de maneira tal que o sensor de detecção de falha acompanhe o cano ou tubo, isto é, de maneira tal que as posições do sensor de detecção de falha na direção oposta e na direção perpendicular à direção oposta se tornem substancialmente constantes em relação ao cano ou tubo, com base no deslocamento medido pelo medidor de deslocamento do tipo de não contato. É desnecessário colocar um membro de contato, tal como um rolo ou uma sapata, em contato com o cano ou tubo, de modo que o sensor de detecção de falha possa acompanhar o cano ou tubo pelo comprimento inteiro do cano ou tubo, mesmo se uma extremidade do cano ou tubo for flexionada.

Se o centro do cano ou tubo estiver desviado do centro de rotação do cano ou tubo no estado em que o centro de rotação do cano ou tubo na direção circunferencial (isto é, o centro de rotação do cano ou tubo) é constante, o centro do cano ou tubo será movido em um arco em torno do centro de rotação do cano ou tubo, conforme o cano ou tubo for rodado na direção circunferencial. No caso em que o cano ou tubo na direção perpendicular à direção axial é formado em um círculo perfeito na seção transver-

sal, o deslocamento do cano ou tubo a partir do sensor de detecção de falha na direção oposta é variado de acordo com o deslocamento medido pelo medidor de deslocamento do tipo de não contato, quando a porção do cano ou tubo cujo deslocamento é medido em uma posição oposta ao medidor de deslocamento do tipo de não contato atingir a posição predeterminada na linha reta que se estende na direção oposta, isto é, na direção do cano ou tubo oposta ao sensor de detecção de falha, através do centro de rotação do cano ou tubo. Uma descrição detalhada será feita abaixo. Por exemplo, uma distância até o cano ou tubo medida pelo medidor de deslocamento do tipo de não contato é referida como uma referência do deslocamento, isto é, uma origem do medidor de deslocamento do tipo de não contato, no caso em que o cano ou tubo na direção perpendicular à direção axial é formado em um círculo perfeito na seção transversal e, ainda, em que o centro do cano ou tubo é coincidente com o centro de rotação do cano ou tubo. Da mesma maneira, uma distância entre o sensor de detecção de falha faceando o centro do cano ou tubo e o cano ou tubo na direção oposta é regulada como uma referência do deslocamento na direção oposta, isto é, uma origem do sensor de detecção de falha na direção oposta, no caso em que o cano ou tubo é formado em um círculo perfeito na seção transversal na direção perpendicular à direção axial, e ainda em que o centro do cano ou tubo é coincidente com o centro de rotação do cano ou tubo. Neste momento, um valor absoluto do deslocamento medido pelo medidor de deslocamento do tipo de não contato, isto é, a distância a partir da origem do medidor de deslocamento do tipo de não contato no caso em que o centro do cano ou tubo é desviado do centro de rotação do cano ou tubo é igual a um valor absoluto do deslocamento do cano ou tubo a partir do sensor de detecção de falha na direção oposta, isto é, a distância a partir da origem do sensor de detecção de falha na direção oposta no caso em que o centro do cano ou tubo está desviado do centro de rotação do cano ou tubo. Como uma consequência, de acordo com a presente invenção, o tempo até a porção do cano ou tubo cujo deslocamento é medido pelo medidor de deslocamento do tipo de não contato atingir a posição predeterminada na linha reta que se estende na direção

oposta através do centro de rotação do cano ou tubo é predito com base na relação de posição entre o medidor de deslocamento do tipo de não contato e o sensor de detecção de falha e a velocidade de rotação do cano ou tubo; e o sensor de detecção de falha é movido ao longo da direção oposta com base no deslocamento medido pelo medidor de deslocamento do tipo de não contato (conforme descrito acima, o valor absoluto do deslocamento se torna igual ao valor absoluto do deslocamento do cano ou tubo na direção oposta a partir do sensor de detecção de falha, após o lapso do tempo predito), de maneira tal que a posição relativa do sensor de detecção de falha após o lapso do tempo predito até o cano ou tubo após o lapso do tempo predito se torne substancialmente constante na direção oposta. Assim, o sensor de detecção de falha pode acompanhar de forma acurada o cano ou tubo.

Da mesma maneira, a posição do sensor de detecção de falha faceando o centro do cano ou tubo é referida como uma referência do deslocamento na direção perpendicular, isto é, uma origem do sensor de detecção de falha na direção perpendicular, no caso em que o cano ou tubo é formado em um formato de um círculo perfeito em seção transversal na direção perpendicular à direção axial do cano ou tubo e, ainda, em que o centro do cano ou tubo é coincidente com o centro de rotação do cano ou tubo. Neste momento, quando a porção do cano ou tubo cujo deslocamento é medido em uma posição oposta ao medidor de deslocamento do tipo de não contato atinge a posição predeterminada na linha reta se estendendo na direção perpendicular através do centro de rotação do cano ou tubo, o valor absoluto do deslocamento medido pelo medidor de deslocamento do tipo de não contato, isto é, a distância a partir da origem do medidor de deslocamento do tipo de não contato no caso em que o centro do cano ou tubo é desviado do centro de rotação do cano ou tubo é igual ao cabeçalho do deslocamento do centro do cano ou tubo na direção perpendicular a partir do sensor de detecção de falha, isto é, a distância a partir da origem do sensor de detecção de falha na direção perpendicular no caso em que o centro do cano ou tubo está desviado do centro de rotação do cano ou tubo. Como uma consequência, de acordo com a presente invenção, o tempo até a por-

ção do comprimento cujo deslocamento é medido pelo medidor de deslocamento do tipo de não contato atingir a posição predeterminada na linha reta que se estende na direção perpendicular através do centro de rotação do cano ou tubo é predito, com base na relação de posição entre o medidor de deslocamento do tipo de não contato e o sensor de detecção de falha e a velocidade de rotação do cano ou tubo; e o sensor de detecção de falha é movido ao longo da direção perpendicular com base no deslocamento medido pelo medidor de deslocamento do tipo de não contato (conforme descrito acima, o valor absoluto do deslocamento se torna igual ao valor absoluto do deslocamento do centro do cano ou tubo na direção perpendicular a partir do sensor de detecção de falha até o lapso do tempo predito), de maneira tal que a posição relativa do sensor de detecção de falha após o lapso do tempo predito até o cano ou tubo após o lapso do tempo predito se torne substancialmente constante na direção perpendicular. Assim, o sensor de detecção de falha pode acompanhar de forma acurada o cano ou tubo.

Mais ainda, de acordo com a presente invenção, o medidor de deslocamento do tipo de não contato e o sensor de detecção de falha são dispostos em posições diferentes de cada outro ao longo da direção circunferencial do cano ou tubo, de modo que seja desnecessário controlar o posicionador imediatamente, isto é, controlar a posição do sensor de detecção de falha com base no deslocamento medido pelo medidor de deslocamento do tipo de não contato em consideração simultânea do tempo de atraso de operação do posicionador, tal como um tempo de atraso elétrico ou mecânico a partir da emissão de um comando de começo de operação para o posicionador até a operação real começar. Assim, é possível obter a alta precisão de acompanhamento.

Preferencialmente, o dispositivo de acompanhamento de detecção de falha para um cano ou tubo ainda compreende pelo menos dois medidores de deslocamento do tipo de não contato dispostos ao longo da direção oposta e da direção perpendicular, respectivamente, em que o controlador de posicionamento prediz um tempo até uma porção do cano ou tubo cujo deslocamento é medido pelo medidor de deslocamento do tipo de não

contato disposto ao longo da direção oposta atingir uma posição predeterminada em uma linha reta que se estende na direção oposta através do centro de rotação do cano ou tubo, com base na relação de posição entre o medidor de deslocamento do tipo de não contato e disposto ao longo da direção oposta e o sensor de detecção de falha e uma velocidade de rotação do cano ou tubo, controla o posicionador com base no deslocamento medido pelo medidor de deslocamento do tipo de não contato ao longo da direção oposta e um tempo de atraso operacional do posicionador, de maneira tal que a posição relativa do sensor de detecção de falha após o lapso do tempo predito para o cano ou tubo após o lapso do tempo predito se torne substancialmente constante na direção oposta, e move o sensor de detecção de falha ao longo da direção oposta, e o controlador de posicionamento prediz o tempo até uma porção do cano ou tubo cujo deslocamento é medido pelo medidor de deslocamento do tipo de não contato disposto ao longo da direção perpendicular atingir uma posição predeterminada em uma linha reta que se estende na direção perpendicular através do centro de rotação do cano ou tubo, com base na relação de posição entre o medidor de deslocamento do tipo de não contato disposto ao longo da direção perpendicular e o sensor de detecção de falha e a velocidade de rotação do cano ou tubo, controla o posicionador com base no deslocamento medido pelo medidor de deslocamento do tipo de não contato disposto ao longo da direção perpendicular e um tempo de atraso operacional do posicionador, de maneira tal que a posição relativa do sensor de detecção de falha após o lapso do tempo predito ao cano ou tubo após o lapso do tempo predito se torne substancialmente constante na direção perpendicular, e move o sensor de detecção de falha ao longo da direção perpendicular.

Com a configuração preferida descrita acima, o sensor de detecção de falha é movido ao longo da direção oposta com base no deslocamento medido pelo medidor de deslocamento do tipo de não contato disposto ao longo da direção oposta. Nesse ínterim, o sensor de detecção de falha é movido ao longo da direção perpendicular com base no deslocamento medido pelo medidor de deslocamento do tipo de não contato disposto ao longo

da direção perpendicular. Em outras palavras, a direção de medição de deslocamento coincide com a direção de movimento do sensor de detecção de falha, com base no deslocamento medido, de modo que se espere que o sensor de detecção de falha acompanhe de forma ainda mais acurada o cano ou tubo.

Por exemplo, no caso em que a porção do cano ou tubo cujo deslocamento é medido na posição oposta ao medidor de deslocamento do tipo de não contato disposto ao longo da direção perpendicular é uma porção de diâmetro longa ou curta de uma elipse, quando o cano ou tubo é formado no formato de uma elipse na seção transversal na direção perpendicular à direção axial, um deslocamento similar ao deslocamento quando o centro do cano ou tubo é desviado do centro de rotação do cano ou tubo (quando o cano ou tubo é formado no formato de um círculo perfeito e o centro do cano ou tubo é desviado do centro de rotação do cano ou tubo) é medido, mesmo se o centro do cano ou tubo não estiver desviado do centro de rotação do cano ou tubo. Especificamente, se a porção do cano ou tubo cujo deslocamento é medido for uma porção de diâmetro longa da elipse, um deslocamento tornar-se-á menor do que a origem do medidor de deslocamento do tipo de não contato, isto é, um deslocamento negativo. Em contraste, se a porção for uma porção de diâmetro curta, um deslocamento tornar-se-á maior do que a origem do medidor de deslocamento do tipo de não contato, isto é, um deslocamento positivo. Como uma consequência, quando o sensor de detecção de falha é movido ao longo da direção perpendicular com base no deslocamento medido, o sensor de detecção de falha é movido, embora o centro do cano ou tubo não esteja desviado do centro de rotação do cano ou tubo (de modo que o sensor de detecção de falha não precise ser movido ao longo da direção perpendicular), por meio do que a precisão de acompanhamento é degradada, possivelmente.

De modo a se evitar que a precisão de acompanhamento seja degradada, o dispositivo de acompanhamento de detecção de falha para um cano ou tubo ainda compreende um par de medidores de deslocamento do tipo de não contato dispostos opostos a cada outro na direção perpendicular

com um cano ou tubo interposto entre eles, em que o controlador de posicionamento prediz o tempo até uma porção do cano ou tubo cujo deslocamento é medido pelo medidor de deslocamento do tipo de não contato atingir uma posição predeterminada em uma linha reta que se estende na direção perpendicular através do centro de rotação do cano ou tubo, com base na relação de posição entre o par de medidores de deslocamento do tipo de não contato e o sensor de detecção de falha e uma velocidade de rotação do cano ou tubo, controla o posicionador com base em uma diferença entre o deslocamento medido por um dos medidores de deslocamento do tipo de não contato e o deslocamento medido pelo outro medidor de deslocamento do tipo de não contato e um tempo de atraso operacional do posicionador, de maneira tal que a posição relativa do sensor de detecção de falha após o lapso do tempo predito ao cano ou tubo após o lapso do tempo predito se torne substancialmente constante na direção perpendicular, e move o sensor de detecção de falha ao longo da direção perpendicular, e o controlador de posicionamento prediz um tempo até uma porção do cano ou tubo cujo deslocamento é medido por qualquer um selecionado dentre o par de medidores de deslocamento do tipo de não contato e o outro medidor de deslocamento do tipo de não contato atingir uma posição predeterminada em uma linha reta se estendendo na direção oposta através do centro de rotação do cano ou tubo, com base na relação de posição entre o medidor de deslocamento do tipo de não contato e o sensor de detecção de falha e uma velocidade de rotação do cano ou tubo, controla o posicionador com base no deslocamento medido pelo medidor de deslocamento do tipo de não contato selecionado e um tempo de atraso de operação do posicionador, de maneira tal que a posição relativa do sensor de detecção de falha após o lapso do tempo predito ao cano ou tubo após o lapso do tempo predito se torne substancialmente constante na direção oposta, e move o sensor de detecção de falha ao longo da direção oposta.

Na configuração preferida descrita acima, o sensor de detecção de falha é movido ao longo da direção perpendicular com base na diferença entre o deslocamento medido por um medidor de deslocamento do tipo de

não contato não do par de medidores de deslocamento do tipo de não contato dispostos opostos a cada outro ao longo da direção perpendicular com o cano ou tubo interposto entre eles e o deslocamento medido pelo outro medidor de deslocamento do tipo de não contato. Consequentemente, a diferença entre as quantidades de deslocamento medidas por ambos os medidores de deslocamento do tipo de não contato se torna zero, no caso em que o centro do cano ou tubo é coincidente com o centro de rotação do cano ou tubo, mesmo se o cano ou tubo for formado no formato de uma elipse na seção transversal, de modo que o sensor de detecção de falha não precise ser movido ao longo da direção perpendicular, desse modo se mantendo a precisão de acompanhamento.

Preferencialmente, o controlador de posicionamento calcula um diâmetro externo do cano ou tubo com base nos deslocamentos medidos pelo par de medidores de deslocamento do tipo de não contato.

Na configuração preferida descrita acima, o par de medidores de deslocamento do tipo de não contato provido no dispositivo de acompanhamento pode ser usado não apenas permitindo que o sensor de detecção de falha acompanhe o cano ou tubo, mas também calculando o diâmetro externo do cano ou tubo, com uma conveniência associada de não precisar de uma provisão independente de um dispositivo de medição de diâmetro externo. Aqui, a distância a partir de cada um dos medidores de deslocamento do tipo de não contato até a superfície externa do cano ou tubo é calculada com base no deslocamento medido através de cada um dos medidores de deslocamento do tipo de não contato, ou a distância até a superfície externa do cano ou tubo é medida diretamente através de cada um dos medidores de deslocamento do tipo de não contato e, então, a distância calculada a partir de cada um dos medidores de deslocamento do tipo de não contato até a superfície externa do cano ou tubo é subtraída de uma distância de separação de cada um dos medidores de deslocamento do tipo de não contato, desse modo se determinando o diâmetro externo do cano ou tubo.

Como o medidor de deslocamento do tipo de não contato, é possível usar, por exemplo, um medidor de deslocamento do tipo de corren-

te parasita, o qual utiliza uma mudança na corrente parasita produzida em um objeto cujo deslocamento é para ser medido de acordo com a distância até o objeto cujo deslocamento é para ser medido. Aqui, uma vez que a magnitude da corrente parasita é variada de acordo com o material (especificamente, tal como permeabilidade ou condutividade magnética) do cano ou tubo como o objeto cujo deslocamento é para ser medido de acordo com a presente invenção, é preferível que o deslocamento medido seja corrigido de acordo com o material do cano ou tubo.

Portanto, é preferível que o medidor de deslocamento do tipo de não contato seja um medidor de deslocamento do tipo de corrente parasita, e o controlador de posicionamento corrige o deslocamento medido pelo medidor de deslocamento do tipo de não contato para um material do cano ou tubo, para controle do posicionador com base no deslocamento corrigido.

Como o sensor de detecção de falha, é possível usar, por exemplo, uma sonda ultrassônica. De modo a melhorar a sensibilidade de detecção de falha da sonda ultrassônica, é preferível que a posição inicial da sonda ultrassônica na direção perpendicular seja regulada em uma posição em que uma intensidade de eco recebida a partir da superfície externa do cano ou tubo pela sonda ultrassônica se torne a mais alta.

Portanto, é preferível que o sensor de detecção de falha seja uma sonda ultrassônica, e o controlador de posicionamento controla o posicionador com respeito ao cano ou tubo em um estado estacionário, move a sonda ultrassônica ao longo da direção perpendicular e regula, como uma posição inicial da sonda ultrassônica, uma posição na qual uma intensidade de eco recebida a partir da superfície externa do cano ou tubo pela sonda ultrassônica se torna mais alta.

Aqui, de modo a se resolver o objetivo descrito acima, a presente invenção ainda provê um aparelho automático de detecção de falha para um cano ou tubo, que compreende qualquer um dos dispositivos de acompanhamento de detecção de falha para o cano ou tubo; e um sensor de detecção de falha para acompanhamento do cano ou tubo pelo dispositivo de acompanhamento de detecção de falha para o cano ou tubo.

De acordo com a presente invenção, são providos o dispositivo de acompanhamento de detecção de falha do tipo de não contato para um cano ou tubo, por meio do que o sensor de detecção de falha disposto oposto à superfície externa do cano ou tubo, para a detecção de uma falha no cano ou tubo, tal como um cano ou tubo de aço, acompanha de forma acurada o cano ou tubo rodado na direção circunferencial durante uma detecção de falha, e o aparelho automático de detecção de falha para um cano ou tubo capaz de detectar automaticamente uma falha pelo comprimento inteiro do cano ou tubo, incluindo a extremidade do cano ou tubo, pelo uso do mesmo.

#### BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

Figuras 1A e 1B são diagramas que ilustram esquematicamente a configuração de um dispositivo de acompanhamento de detecção de falha para um cano em uma primeira modalidade de acordo com a presente invenção;

Figura 2 é um diagrama que ilustra esquematicamente a configuração de um posicionador ilustrado na Figura 1;

Figura 3 é um diagrama que ilustra o princípio do dispositivo de acompanhamento mostrado na Figura 1;

Figura 4 é uma vista dianteira que mostra esquematicamente a configuração de um dispositivo de acompanhamento de detecção de falha para um cano em uma segunda modalidade de acordo com a presente invenção;

Figura 5 é uma vista dianteira que mostra esquematicamente a configuração de um dispositivo de acompanhamento de detecção de falha para um cano em uma terceira modalidade de acordo com a presente invenção;

Figuras 6A e 6B são diagramas que ilustram o princípio do dispositivo de acompanhamento mostrado na Figura 5.

Figuras 7A, 7B e 7C são gráficos que ilustram um exemplo de resultados de avaliação de precisão de acompanhamento em exemplos de acordo com a presente invenção e um exemplo comparativo.

as Figura 8A, 8B e 8C são gráficos que ilustram um outro exemplo de resultados de avaliação da precisão de acompanhamento em exemplos de acordo com a presente invenção e um exemplo comparativo.

#### DESCRIÇÃO DETALHADA DAS MODALIDADES PREFERIDAS

5               Será dada, abaixo, uma descrição das modalidades preferidas de acordo com a presente invenção apropriadamente com referência aos desenhos anexados.

##### <Primeira Modalidade>

10               As Figuras 1A e 1B são diagramas que ilustram esquematicamente a configuração de um dispositivo de acompanhamento de detecção de falha para um cano em uma primeira modalidade de acordo com a presente invenção, em que a Figura 1A é uma vista dianteira, conforme visto em uma direção axial de um cano, e a Figura 1B é uma vista lateral, conforme visto em uma direção perpendicular à direção axial do cano. Conforme  
15               ilustrado nas Figura 1A e 1B, um dispositivo de acompanhamento de detecção de falha para um cano (a partir deste ponto, apropriadamente referido de forma simples como um "dispositivo de acompanhamento") 100 na presente modalidade é um dispositivo adaptado para permitir que um sensor de detecção de falha 1, o qual é disposto oposto à superfície externa de um cano  
20               P e é relativamente movido na direção axial do cano P (o cano P é movido na direção axial na presente modalidade) para acompanhamento do cano P, de modo a se detectar uma falha no cano P rodada em uma direção circunferencial.

25               Na presente modalidade, o sensor de detecção de falha 1 e o dispositivo de acompanhamento 100, especificamente, um medidor de deslocamento do tipo de não contato 2, o qual será descrito mais tarde, que constitui o dispositivo de acompanhamento 100, não são movidos, mas fixados na direção axial do cano P. Mais ainda, o cano P é suportado por rolos girando 5, cuja rotação permite que o cano seja rodado na direção circunferencial e seja transportado na direção axial. O sensor de detecção de falha 1  
30               é disposto a jusante em uma direção de transporte do cano P, isto é, a jusante além do rolo girando 5 disposto mais a jusante e sob o cano P em uma

direção vertical. Contudo, a presente invenção não está limitada a isto. Por exemplo, a presente invenção pode ser configurada de modo que o cano P não seja transportado na direção axial, mas seja rodado apenas na direção circunferencial e, ainda, de modo que o sensor de detecção de falha 1 e o  
5 dispositivo de acompanhamento 100, isto é, o medidor de deslocamento do tipo de não contato 2, sejam movidos na direção axial do cano P. Mais ainda, a posição de disposição do sensor de detecção de falha 1 não está limitada à posição sob o cano P na direção vertical. Por exemplo, o sensor de detecção de falha 1 pode ser disposto em qualquer posição ao longo da di-  
10 reção circunferencial do cano P, desde que um espaço de fixação ou similar não seja restrito.

O dispositivo de acompanhamento 100 inclui pelo menos um medidor de deslocamento do tipo de não contato 2, o qual é disposto oposto à superfície externa do cano P, de modo a se medir o deslocamento na su-  
15 perfície externa do cano P, sem qualquer contato; um posicionador 3, o qual move o sensor de detecção de falha 1 em um plano perpendicular à direção axial do cano P ao longo da direção oposta do cano P ao sensor de detecção de falha 1 e uma direção perpendicular à direção oposta; e um controlador de posicionamento 4, o qual controla o posicionador 3.

20 Na presente modalidade, um medidor de deslocamento do tipo de não contato 2 é disposto a jusante na direção de transporte do cano P, isto é, a jusante além do rolo girando 5 disposto mais a jusante, e acima do cano P na direção vertical. Contudo, a presente invenção não está limitada a isso. Por exemplo, o sensor de detecção de falha 1 pode ser disposto em  
25 qualquer posição ao longo da direção circunferencial do cano P, desde que o medidor de deslocamento do tipo de não contato 2 seja disposto em uma posição diferente do sensor de detecção de falha 1 e o espaço de fixação ou similar não seja restrito. Aqui, o medidor de deslocamento do tipo de não contato 2 na presente modalidade preferencialmente é um medidor de des-  
30 locamento do tipo de corrente parasita, o qual utiliza uma mudança na corrente parasita produzida em um objeto cujo deslocamento é para ser medido de acordo com uma distância até o objeto cujo deslocamento é para ser me-

dido.

O posicionador 3 na presente modalidade é configurado de maneira tal que se mova o sensor de detecção de falha 1 em um plano perpendicular à direção axial do cano P na direção vertical (isto é, uma direção de eixo Z) e em uma direção horizontal (isto é, uma direção de eixo X) perpendicular à direção axial do cano P. Na presente modalidade, o posicionador 3 inclui um posicionador 3A, o qual move o sensor de detecção de falha 1 ao longo da direção de eixo Z, e um outro posicionador 3B, o qual move o sensor de detecção de falha 1 ao longo da direção de eixo X. Aqui, o posicionador 3A e o posicionador 3B podem adotar a mesma constituição, exceto pela diferença na direção de movimento alternativo de uma haste de pistão 311, a qual será descrita mais tarde.

A Figura 2 é um diagrama que ilustra esquematicamente a configuração do posicionador 3 (3A ou 3B) na presente modalidade. Conforme ilustrado na Figura 2, o posicionador 3 na presente modalidade é provido com um cilindro hidráulico 31, uma bomba hidráulica 32, um servomotor 33, uma régua linear 34, um servoamplificador 35 e um adicionador 36. A bomba hidráulica 32 é uma bomba bidirecional a qual é acionada de forma rotativa para frente e para trás pelo servomotor 33. O óleo sob pressão é suprido de forma comutável para ou descarregado a partir de uma janela 31A em um lado dianteiro e uma janela 31B em um lado traseiro no cilindro hidráulico 31 pela comutação da direção de rotação da bomba hidráulica 32. Quando o óleo sob pressão é suprido para a janela 31A, enquanto é descarregado a partir da janela 31B, a haste de pistão 311 no cilindro hidráulico 31 é movida para frente (em outras palavras, é movida para a direita da folha da Figura 2). Em contraste, quando o óleo sob pressão é descarregado a partir da janela 31A, enquanto é suprido para a janela 31B, a haste de pistão 311 é movida para trás (em outras palavras, é movida para a esquerda na folha da Figura 2). O sensor de detecção de falha 1 é fixado à haste de pistão 311 no cilindro hidráulico 31 e, assim, é movido ao longo da direção de eixo Z (no caso do posicionador 3A) ou na direção de eixo X (no caso do posicionador 3B), de acordo com o movimento alternativo da haste de pistão 311.

A régua linear 34 é configurada de maneira a detectar o deslocamento real da haste de pistão 311. Uma voltagem de saída  $E_f$  a partir da régua linear 34 corresponde ao deslocamento da haste de pistão 311 é alimentada de volta para o adicionador 36, o qual compara a voltagem de saída  $E_f$  com uma voltagem de entrada  $E_i$  a partir do controlador de posicionamento 4 (corresponde à quantidade de movimento do sensor de detecção de falha 1 ao longo da direção de eixo Z ou da direção de eixo X, de modo a acompanhar o cano P). Após isso, uma diferença entre a voltagem de entrada  $E_i$  e a voltagem de saída  $E_f$  é amplificada pelo servoamplificador 35, assim a ser suprida para acionamento do servomotor 33.

Conforme descrito acima, o posicionador 3 na presente modalidade é configurado para a realização de um assim denominado servocontrole com alta precisão de posicionamento. É desnecessário prover um tanque de óleo, várias tubulações, uma válvula de controle e similares, além de partes de abrasão, tal como um fuso de esferas ou um mancal linear, os quais são necessários em um atuador hidráulico geral, desse modo se reduzindo o tamanho e produzindo uma vantagem de facilitação de manutenção.

O controlador de posicionamento 4 na presente modalidade é um computador de finalidade geral ou um circuito eletrônico apropriado conectado a ele. O controlador de posicionamento 4 recebe uma informação sobre a relação de posição entre o medidor de deslocamento do tipo de não contato 2 e o sensor de detecção de falha 1 (a relação de posição na presente modalidade, em que o medidor de deslocamento do tipo de não contato 2 e o sensor de detecção de falha 1 são dispostos em separação de cada outro em um ângulo de 180 graus na direção circunferencial do cano P), a velocidade de rotação do cano P, o diâmetro externo ou o material do cano P, um tempo de atraso operacional do posicionador 3 e similares. O controlador de posicionamento 4 pode receber a informação através de uma entrada direta manual ou a partir de um computador de processo de ordem alta. Quanto à velocidade de rotação do cano P, em particular, é esperado que a precisão de acompanhamento do sensor de detecção de falha 1 seja melhorada pelo uso de um valor real, não um valor regulado. Tendo em vista isto,

pode ser adotada uma configuração na qual um gerador de pulso (abreviado como "PLG") 6, por exemplo, é disposto em contato com a superfície externa do cano P, e o controlador de posicionamento 4 calcula a velocidade de rotação do cano P, com base em um valor extraído a partir do PLG 6 e uma  
 5 relação do diâmetro externo do PLG 6 para o diâmetro externo do cano P. Alternativamente, pode ser adotada uma outra configuração, na qual um gerador de pulso (abreviado como "PLG") 6, para a detecção da velocidade de rotação do rolo girando 5, é afixado ao rolo girando 5, e o controlador de posicionamento 4 calcula a velocidade de rotação do cano P, com base em um  
 10 valor extraído a partir do PLG 6 e uma relação do diâmetro externo do rolo girando 5 para o diâmetro externo do cano P. Alternativamente, pode ser adotada uma outra configuração na qual um velocímetro (não mostrado) para a medição de uma velocidade circunferencial na superfície externa do cano P é afixado, e o controlador de posicionamento 4 calcula a velocidade de  
 15 rotação do cano P com base em um valor extraído a partir do velocímetro e do diâmetro externo do cano P.

A partir deste ponto, serão dadas descrições sobre uma regulação inicial e a operação do dispositivo de acompanhamento 100 configurado conforme descrito acima.

20 (1) Regulagem do coeficiente de correção com respeito ao valor medido pelo medidor de deslocamento do tipo de não contato

Conforme descrito acima, embora o medidor de deslocamento do tipo de corrente parasita seja usado como o medidor de deslocamento do tipo de não contato 2 na presente modalidade, é preferível que o deslocamento medido pelo medidor de deslocamento do tipo de não contato 2 seja  
 25 corrigido de acordo com o material do cano P (permeabilidade ou condutividade magnética). Como uma consequência, o controlador de posicionamento 4 previamente armazena ali coeficientes de correção com respeito ao deslocamento medido pelo medidor de deslocamento do tipo de não contato 2  
 30 de acordo com os materiais do cano P na forma, por exemplo, de uma tabela. Conforme descrito acima, o controlador de posicionamento 4 armazena ali os dados sobre o material do cano P. Consequentemente, o controlador

de posicionamento 4 seleciona um coeficiente de correção de acordo com os dados de entrada sobre o material do cano P a partir da tabela, corrige para multiplicar o deslocamento, o qual é medido pelo medidor de deslocamento do tipo de não contato 2, pelo coeficiente de correção selecionado e, assim, 5 controla o posicionador 3 com base no deslocamento corrigido.

(2) Regulagem de posição de medidor de deslocamento do tipo de não contato

Uma posição do medidor de deslocamento do tipo de não contato 2 na direção de eixo X pode ser regulada de forma fixa, por exemplo, em 10 um ponto intermediário entre o par de rolos girando 5 justapostos na direção de eixo X. Alternativamente, o medidor de deslocamento do tipo de não contato 2 pode ser fixado a, por exemplo, uma plataforma móvel apropriada capaz de mover o medidor de deslocamento do tipo de não contato 2 na direção de eixo X, de modo que o medidor de deslocamento do tipo de não contato 2 seja movido na direção de eixo X em um estado em que o cano P é 15 disposto abaixo dele de uma maneira estacionária, em que é preferível que o cano P seja formado em um círculo substancialmente perfeito na direção transversal na direção perpendicular à direção axial e quase sem flexão, desse modo se posicionando o medidor de deslocamento do tipo de não contato 2 em uma posição mais próxima do cano P a ser medido pelo medidor de deslocamento do tipo de não contato 2, em que aquela posição correspon- 20 dessem que a uma posição voltada para o centro do cano P.

Uma posição apropriada do medidor de deslocamento do tipo de não contato 2 na direção de eixo Z é variada de acordo com o diâmetro externo do cano P, cuja falha é para ser detectada. Portanto, o medidor de 25 deslocamento do tipo de não contato 2 pode ser fixado, por exemplo, a uma plataforma móvel apropriada capaz de mover o medidor de deslocamento do tipo de não contato 2 na direção de eixo Z, de modo que o medidor de deslocamento do tipo de não contato 2 seja movido na direção de eixo Z em um estado em que o cano P é disposto abaixo dele de uma maneira estacionária, em que é preferível que o cano P seja formado em um círculo substancialmente perfeito na seção transversal na direção perpendicular à direção 30

axial e quase sem flexão, desse modo se posicionando o medidor de deslocamento do tipo de não contato 2 em uma posição em que uma distância até o cano P a ser medido pelo medidor de deslocamento do tipo de não contato 2 possa ser regulada, por exemplo, substancialmente em uma posição média em uma faixa de medição de distância do medidor de deslocamento do tipo de não contato 2. A distância até o cano P a ser medido pelo medidor de deslocamento do tipo de não contato 2 regulada em termos de posição conforme descrito acima é referida como uma referência (origem) de deslocamento e, assim, uma distância a partir da origem é extraída como um deslocamento.

### (3) Regulagem de posição inicial de sensor de detecção de falha

Uma posição inicial do sensor de detecção de falha 1 na direção de eixo X pode ser regulada de forma fixa, por exemplo, um ponto intermediário entre o par de rolos girando 5 justapostos na direção de eixo X. Contudo, uma posição na qual uma sensibilidade real de detecção de falha se torna a mais alta é detectada e, então, aquela posição preferencialmente é regulada como a posição inicial na direção de eixo X. Tendo em vista isto, no caso em que uma sonda ultrassônica, por exemplo, é usada como o sensor de detecção de falha 1, o posicionador 3 é controlado para se mover a sonda ultrassônica na direção de eixo X em um estado em que o cano P é disposto acima dali de uma maneira estacionária, em que é preferível que o cano P seja formado em um círculo substancialmente perfeito na seção transversal na direção perpendicular à direção de eixo X e quase sem uma flexão, de modo que uma posição na qual uma intensidade de eco a partir da superfície externa do cano P recebida pela sonda ultrassônica se torne mais alta pode ser regulada como a posição inicial da sonda ultrassônica.

Uma distância de separação entre o sensor de detecção de falha 1 e o cano P não é tão variada, mesmo com uma mudança no diâmetro externo do cano P, uma vez que o sensor de detecção de falha 1 é disposto sob o cano P suportado pelos rolos girando 5 na direção vertical na presente modalidade. Mais ainda, no caso em que a sonda ultrassônica é usada como o sensor de detecção de falha 1, a sensibilidade de detecção de falha rara-

mente é influenciada, mesmo por uma ligeira flutuação na distância de separação do cano P. Como uma consequência, a posição inicial do sensor de detecção de falha 1 na direção de eixo Z pode ser regulada de forma fixa em uma posição em que uma sensibilidade de detecção de falha predeterminada pode ser obtida. Aqui, no caso em que o sensor de detecção de falha 1 é disposto acima do cano P na direção vertical, a distância de separação entre o sensor de detecção de falha 1 e o cano P é variada de acordo com o diâmetro externo do cano P, quando a posição do sensor de detecção de falha 1 for fixa. Neste caso, é preferível que uma posição na qual uma distância de separação constante pode ser mantida seja regulada como a posição inicial pelo movimento do sensor de detecção de falha 1 na direção de eixo Z de acordo com o diâmetro externo do cano P.

#### (4) Operação do controlador de posicionamento 4

Após a regulação inicial descrita nos itens (1) a (3) acima, o cano P como um membro cuja falha é para ser detectada é transportado na direção axial enquanto é rodado na direção circunferencial pelos rolos girando 5. Neste momento, o controlador de posicionamento 4 atua da maneira descrita abaixo, para permitir que o controlador de posicionamento 4 atue da maneira descrita abaixo, para se permitir que o sensor de detecção de falha 1 acompanhe o cano P.

Antes de tudo, o controlador de posicionamento 4 prediz um tempo até uma porção do cano P cujo deslocamento é medido pelo medidor de deslocamento do tipo de não contato 2 atingir uma posição predeterminada, por exemplo, uma posição após uma rotação de 180°C em uma linha reta que se estende na direção de eixo Z através do centro de rotação do cano P, com base na relação de posição introduzida entre o medidor de deslocamento do tipo de não contato 2 e o sensor de detecção de falha 1, isto é, a relação de posição entre o medidor de deslocamento do tipo de não contato 2 e o sensor de detecção de falha 1, os quais são dispostos em uma separação de cada outro a 180°C na direção circunferencial do cano P, e a velocidade de rotação introduzida do cano P. Por exemplo, o tempo Taz até a porção do cano P cujo deslocamento é medido pelo medidor de desloca-

mento do tipo de não contato 2 atingir a posição após a rotação de  $180^\circ$  é predito a partir da expressão a seguir:  $T_{az} = 1/2N$  (min), em que  $N$  (rpm) designa a velocidade de rotação do cano P.

Em seguida, o controlador de posicionamento 4 controla o posicionador 3A com base no deslocamento medido pelo medidor de deslocamento do tipo de não contato 2 e um tempo de atraso operacional introduzido do posicionador 3A, de maneira tal que o sensor de detecção de falha 1 na direção de eixo Z após o lapso do tempo predito  $T_{az}$  seja posicionado de forma substancialmente constante em relação ao posicionador, após o lapso do tempo predito  $T_{az}$  e, então, move o sensor de detecção de falha 1 na direção de eixo Z. Por exemplo, quando o tempo de atraso operacional do posicionador 3A é assumido como sendo um tempo  $T_{ba}$ , o controlador de posicionamento 4 instrui o posicionador 3A para começar o movimento do sensor de detecção de falha 1 a partir da posição inicial por uma quantidade de movimento predeterminada na direção de eixo Z após o lapso de um tempo  $T_{az}$  a  $T_{ba}$ , após a medição do deslocamento pelo medidor de deslocamento do tipo de não contato 2, isto é, extrai a voltagem  $E_i$  (vide a Figura 2) correspem quente à quantidade de movimento.

Assumindo que, por exemplo, o deslocamento medido pelo medidor de deslocamento do tipo de não contato 2 seja denotado por  $-\alpha$ , o que significa a abordagem da superfície externa do cano P em direção ao medidor de deslocamento do tipo de não contato 2 a partir da origem pela quantidade  $\alpha$ , a quantidade de movimento do sensor de detecção de falha 1 na direção de eixo Z é expressa por  $\alpha$  na direção de separação a partir do cano P, ou um valor obtido pela multiplicação da quantidade  $\alpha$  por um coeficiente de relaxação  $k$ , no qual  $0 < k < 1$ . Esta razão será explicada abaixo com referência à Figura 3.

A Figura 3 é um diagrama que ilustra o princípio do dispositivo de acompanhamento na presente modalidade. Conforme ilustrado na Figura 3, assumo que um cano P0 para uso na regulação da posição descrita acima do medidor de deslocamento do tipo de não contato 2 seja formado em um círculo perfeito na seção transversal na direção perpendicular à direção

axial, que o centro do cano P0 seja coincidente com um centro de rotação O do cano P0, e que a distância até o cano P0 medida pelo medidor de deslocamento do tipo de não contato 2 seja referida como a referência do deslocamento, isto é, a origem do medidor de deslocamento do tipo de não contato 2. Da mesma maneira, assuma que o cano P0 seja usado também na regulação da posição inicial descrita acima do sensor de detecção de falha 1, que a posição inicial do sensor de detecção de falha 1 faceie o centro O do cano P0, e que uma distância entre o sensor de detecção de falha 1 e o cano P0 na direção de eixo Z seja referida como a referência do deslocamento na direção de eixo Z, isto é, a origem do sensor de detecção de falha 1 na direção de eixo Z.

Após a regulação inicial descrita acima, assuma que o cano P como um membro cuja falha é para ser realmente detectada, o qual tem um diâmetro externo igual àquele do cano P0 e é formado em um círculo perfeito na seção transversal, seja transportado para uma posição sob o medidor de deslocamento do tipo de não contato 2, em que o cano P imediatamente após ser transportado é referido como um cano P1. Se o centro do cano P for desviado do centro de rotação O do cano P por uma quantidade de desvio  $\alpha$  devido a uma flexão no cano P, o centro do cano P será movido ao longo de um arco tendo um raio  $\alpha$  em torno do centro de rotação O do cano de acordo com a rotação do cano P na direção circunferencial. Especificamente, conforme ilustrado na Figura 3, um centro C1 do cano P1 imediatamente após o transporte, um centro C2 de um cano P2 após a rotação de 90°C e um centro C3 de um cano P3 após a rotação de 180°C estejam todos localizados no arco em torno do centro de rotação O do cano P. Quando uma porção A1 do cano P1, cujo deslocamento  $-\alpha$  é medido em uma posição faceando o medidor de deslocamento do tipo de não contato 2 atinge uma porção A3 do cano P3 após a rotação de 180°C, um deslocamento do cano P3 na direção de eixo Z a partir do sensor de detecção de falha 1 também se torna  $-\alpha$ , isto é, o cano P se aproxima do sensor de detecção de falha 1 por  $\alpha$ . Como uma consequência, a quantidade de movimento do sensor de detecção de falha 1 na direção de eixo Z, quando o cano P1 atingir a

porção A3 do cano P3 após a rotação de  $180^\circ\text{C}$  é regulada para  $\alpha$  na direção de separação do cano P3, de modo que a posição relativa do sensor de detecção de falha 1 na direção de eixo Z até o cano P3 possa ser substancialmente constante, isto é, substancialmente a mesma que a posição do sensor de detecção de falha 1 na direção de eixo Z em relação ao cano P0 na posição inicial.

O princípio descrito acima presume que o formato de seção transversal do cano P0 ou do cano P seja um círculo perfeito e o centro de rotação O do cano P seja invariavelmente constante. Portanto, a operação  
 10 dificilmente é realizada na realidade de acordo com o princípio descrito acima. Se o deslocamento  $\alpha$  por si for considerado como a quantidade de movimento do sensor de detecção de falha 1, pode ocorrer um problema de degradação da precisão de acompanhamento. De modo a se evitar um problema como esse, é preferível que o valor obtido pela multiplicação do deslocamento  $\alpha$  pelo coeficiente de relaxação predeterminado  $k$ , em que  $0 < k < 1$ , seja regulado como a quantidade de movimento do sensor de detecção de falha 1.

Nesse ínterim, simultaneamente com o cálculo do tempo predito descrito acima Taz, o controlador de posicionamento 4 prediz um tempo até  
 20 uma porção do cano P, cujo deslocamento é medido pelo medidor de deslocamento do tipo de não contato 2 atingir uma posição predeterminada, por exemplo, uma posição após uma rotação de  $90^\circ\text{C}$  em uma linha reta que se estende na direção de eixo X através do centro de rotação do cano P, com base na relação de posição introduzida entre o medidor de deslocamento do tipo de não contato 2 e o sensor de detecção de falha 1 e a velocidade de rotação introduzida do cano. Por exemplo, um tempo Tax até a porção do  
 25 cano P cujo deslocamento é medido pelo medidor de deslocamento do tipo de não contato 2 atingir a posição após a rotação de  $90^\circ\text{C}$  é predito a partir da expressão a seguir:  $T_{ax} = 1/4N$  (min), em que  $N$  (rpm) designa a velocidade de rotação do cano P.

Em seguida, o controlador de posicionamento 4 controla o posicionador 3B com base no deslocamento medido pelo medidor de desloca-

mento do tipo de não contato 2 e um tempo de atraso operacional introduzi-  
do do posicionador 3B, de maneira tal que o sensor de detecção de falha 1  
na direção de eixo X após o lapso do tempo predito  $T_{ax}$  seja substancial-  
mente posicionado de forma constante em relação ao cano P, após o lapso  
5 do tempo predito  $T_{ax}$  e, então, move o sensor de detecção de falha 1 na  
direção de eixo X. Por exemplo, quando o tempo de atraso operacional do  
posicionador 3B é assumido como sendo um tempo  $T_{bb}$ , o controlador de  
posicionamento 4 instrui o posicionador 3B para começar a mover o sensor  
de detecção de falha 1 a partir da posição inicial por uma quantidade de mo-  
10 vimento predeterminada na direção de eixo X, após o lapso de um tempo  
 $T_{ax}$  a  $T_{bb}$ , após a medição do deslocamento pelo medidor de deslocamento  
do tipo de não contato 2, isto é, extrai a voltagem  $E_i$  (vide a Figura 2) corres-  
pem quente à quantidade de movimento.

Da mesma maneira conforme descrito acima, conforme ilustrado  
15 na Figura 3, assuma que o deslocamento medido pelo medidor de desloca-  
mento do tipo de não contato 2 seja denotado por  $-\alpha$ , a quantidade de mo-  
vimento do sensor de detecção de falha 1 na direção de eixo X é expressa  
por  $\alpha$  para a direita na folha na Figura 3, ou o valor obtido pela multiplicação  
da quantidade  $\alpha$  pelo coeficiente de relaxação  $k$ , no qual  $0 < k < 1$ . Quando a  
20 porção Primeira área do cano P1 cujo deslocamento  $-\alpha$  é medido em uma  
posição faceando o medidor de deslocamento do tipo de não contato 2 atin-  
ge a porção A2 do cano P2 após a rotação de  $90^\circ$ , um deslocamento do  
centro C2 do cano P2 na direção de eixo X a partir do sensor de detecção de  
falha 1 se torna  $\alpha$ , isto é, o cano P é movido por  $\alpha$  para a direita na folha na  
25 Figura 3. Como uma consequência, a quantidade de movimento do sensor  
de detecção de falha 1 na direção de eixo X, quando o cano P1 atinge a por-  
ção A2 do cano P2 após a rotação de  $90^\circ$  é regulado para  $\alpha$  para a direita  
na folha na Figura 3, de modo que a posição do sensor de detecção de falha  
1 na direção de eixo X em relação ao cano P2 possa ser substancialmente  
30 constante, isto é, substancialmente a mesma que a posição do sensor de  
detecção de falha 1 na direção de eixo X em relação ao cano P0 na posição  
inicial. De modo a se evitar o problema de degradação da precisão de a-

acompanhamento, é preferível que o valor obtido pela multiplicação do deslocamento  $\alpha$  pelo coeficiente de relaxação predeterminado  $k$ , em que  $0 < k < 1$ , seja regulado como a quantidade de movimento do sensor de detecção de falha 1 da mesma maneira conforme descrito acima.

5 O dispositivo de acompanhamento descrito acima 100 na presente modalidade pode permitir que o sensor de detecção de falha 1 disposto oposto à superfície externa do cano P, para a detecção de uma falha no cano P, para se acompanhar de forma acurada o cano P rodado na direção circunferencial durante a detecção de falha, e, ainda, pode detectar automaticamente uma falha pelo comprimento inteiro do cano P, incluindo a extremidade do cano.

<Segunda Modalidade>

A Figura 4 é uma vista dianteira que mostra esquematicamente a configuração de um dispositivo de acompanhamento de detecção de falha para um cano em uma segunda modalidade de acordo com a presente invenção. Conforme ilustrado na Figura 4, um dispositivo de acompanhamento 100A na presente modalidade é um dispositivo adaptado para permitir que um sensor de detecção de falha 1, o qual é disposto oposto à superfície externa de um posicionador e é relativamente movido na direção axial do cano P, para acompanhamento do cano P, de modo a se detectar uma falha no cano P rodado em uma direção circunferencial, como na primeira modalidade. A partir deste ponto, uma descrição será dada apenas em pontos diferentes da primeira modalidade e, portanto, uma descrição dos mesmos pontos será omitida.

25 O dispositivo de acompanhamento 100A na presente modalidade inclui pelo menos dois medidores de deslocamento do tipo de não contato 2A e 2B (dois na presente modalidade) dispostos nas direções de eixo Z e X, respectivamente. O medidor de deslocamento do tipo de não contato 2B pode ser fixado a, por exemplo, uma plataforma de movimento apropriada capaz de mover o medidor de deslocamento do tipo de não contato 2B na direção de eixo Z, de modo que o medidor de deslocamento do tipo de não contato 2B seja movido na direção de eixo Z em um estado em que o cano P é

montado nos rolos girando 5 de uma maneira estacionária, em que é preferível que o cano P seja formado em um círculo substancialmente perfeito na seção transversal em uma direção perpendicular à direção axial e quase sem flexão, desse modo se posicionando o medidor de deslocamento do tipo de não contato 2B em uma posição mais próxima do cano P a ser medido pelo medidor de deslocamento do tipo de não contato 2B, em que aquela posição corresponda a uma posição faceando o centro do cano P. Aqui, o medidor de deslocamento do tipo de não contato 2A pode ser localizado da mesma maneira que na primeira modalidade.

10 O controlador de posicionamento 4 na presente modalidade prediz um tempo até uma porção A1 do cano P, cujo deslocamento é medido pelo medidor de deslocamento do tipo de não contato 2A, atingir uma posição predeterminada, por exemplo, uma posição A3 após a rotação de 180°C em uma linha reta que se estende na direção de eixo Z através do centro de rotação do cano P, com base na relação de posição entre o medidor de deslocamento do tipo de não contato 2A disposto na direção de eixo Z e o sensor de detecção de falha 1, e a velocidade de rotação do cano P. Após isso, 15 o controlador de posicionamento 4 controla o posicionador 3A com base no deslocamento medido pelo medidor de deslocamento do tipo de não contato 2A e um tempo de atraso operacional do posicionador 3 (especificamente, o posicionador 3A para movimento do sensor de detecção de falha 1 na direção de eixo Z), de maneira tal que o sensor de detecção de falha 1 na direção de eixo Z após o lapso do tempo predito seja posicionado de forma substancialmente constante em relação ao cano P, após o lapso do tempo 20 predito e, então, move o sensor de detecção de falha 1 na direção de eixo Z.

Nesse ínterim, o controlador de posicionamento 4 prediz um tempo até uma porção A2 do cano P, cujo deslocamento é para ser medido pelo medidor de deslocamento do tipo de não contato 2B, atingir uma posição predeterminada, por exemplo, uma posição A4 após uma rotação de 30 180°C em uma linha reta que se estende na direção de eixo Z através do centro de rotação do cano P, com base na relação de posição entre o medidor de deslocamento do tipo de não contato 2B disposto na direção de eixo

X e o sensor de detecção de falha 1, e a velocidade de rotação do cano P. Após isso, o controlador de posicionamento 4 controla o posicionador 3B com base no deslocamento medido pelo medidor de deslocamento do tipo de não contato 2B e um tempo de atraso operacional do posicionador 3 (es-  
 5 pecificamente, o posicionador 3B para movimento do sensor de detecção de falha 1 na direção de eixo X), de maneira tal que o sensor de detecção de falha 1 na direção de eixo X após o lapso do tempo predito e, então, move o sensor de detecção de falha 1 na direção de eixo X.

Conforme descrito acima, no dispositivo de acompanhamento  
 10 100A na presente modalidade, o sensor de detecção de falha 1 é movido na direção de eixo Z com base no deslocamento medido pelo medidor de deslocamento do tipo de não contato 2A disposto na direção de eixo Z, e, ainda, o sensor de detecção de falha 1 é movido na direção de eixo X com base no deslocamento medido pelo medidor de deslocamento do tipo de não contato  
 15 2B disposto na direção de eixo X. Em outras palavras, a direção de medição de deslocamento é coincidente com a direção na qual o sensor de detecção de falha 1 é movido com base no deslocamento de medição, de modo que seja esperado que o sensor de detecção de falha 1 acompanhe de forma mais acurada o cano do que no dispositivo de acompanhamento 100 na pri-  
 20 meira modalidade.

#### <Terceira Modalidade>

A Figura 5 é uma vista dianteira que mostra esquematicamente a configuração de um dispositivo de acompanhamento de detecção de falha para um cano em uma terceira modalidade de acordo com a presente inven-  
 25 ção. Conforme ilustrado na Figura 5, um dispositivo de acompanhamento 100B na presente modalidade é um dispositivo adaptado para permitir que um sensor de detecção de falha 1, o qual é disposto oposto a uma superfície externa de um cano P e é relativamente movido na direção axial do cano P acompanhe o cano P, de modo a se detectar uma falha no cano P rodado  
 30 em uma direção circunferencial, com na primeira ou na segunda modalidade. A partir deste ponto, será dada uma descrição apenas dos pontos diferentes da primeira modalidade e, portanto, uma descrição dos mesmos pontos será

omitida.

O dispositivo de acompanhamento 100B na presente modalidade inclui um par de medidores de deslocamento do tipo de não contato 2C e 2D dispostos em uma direção de eixo X com o cano P interposto entre eles.

5 Os medidores de deslocamento do tipo de não contato 2C e 2D podem ser fixados, por exemplo, a uma plataforma móvel apropriada capaz de mover os medidores de deslocamento do tipo de não contato 2C e 2D integralmente com ou independentemente de cada outro em uma direção de eixo Z, de modo que os medidores de deslocamento do tipo de não contato 2C e 2D

10 sejam movidos na direção de eixo Z em um estado em que o cano P é montado em rolos girando 5 de uma maneira estacionária, em que é preferível que o cano P seja formado em um círculo perfeito na seção transversal em uma direção perpendicular a uma direção axial e quase sem flexão, desse modo se posicionando os medidores de deslocamento do tipo de não contato 2C e 2D em posições mais próximas do cano P a ser medido pelos medi-

15 dores de deslocamento do tipo de não contato 2C e 2D, em que aquela posição corresponha a uma posição faceando o centro do cano P.

O controlador de posicionamento 4 na presente modalidade prediz um tempo até as porções A4 e A2 do cano P cujo deslocamento é medi-

20 do pelo par de medidores de deslocamento do tipo de não contato 2C e 2D, atingirem posições predeterminadas, por exemplo, a posição A2 após uma rotação da porção A4 de 180°C e a posição A4 após a rotação da porção A2 de 180°C, em uma linha reta que se estende na direção de eixo X através do centro de rotação do cano P, com base na relação de posição entre o par de

25 medidores de deslocamento do tipo de não contato 2C e 2D e o sensor de detecção de falha 1, e a velocidade de rotação do cano P. Após isso, o controlador de posicionamento 4 controla um posicionador 3B com base em uma diferença entre o deslocamento medido por um medidor de deslocamento do tipo de não contato 2C e o deslocamento medido pelo outro medi-

30 dor de deslocamento do tipo de não contato 2D e um tempo de atraso operacional de um posicionador 3 (especificamente, o posicionador 3B para movimento do sensor de detecção de falha 1 na direção de eixo X), de maneira

tal que o sensor de detecção de falha 1 na direção de eixo X após o lapso do tempo predito seja substancialmente posicionado de forma constante em relação ao cano P após o lapso do tempo predito e, então, move o sensor de detecção de falha 1 na direção de eixo X.

5                   A quantidade de movimento do sensor de detecção de falha 1 na direção de eixo X é expressa, por exemplo, por  $M_x = (\text{o deslocamento medido pelo medidor de deslocamento do tipo de não contato 2C} - \text{o deslocamento medido pelo medidor de deslocamento do tipo de não contato 2D}) / 2$  para a direita na folha da Figura 5, ou um valor obtido pela multiplicação da  
10                   quantidade  $M_x$  por um coeficiente de relaxação  $k$ , no qual  $0 < k < 1$ . Esta razão será descrita abaixo, com referência às Figura 6A e 6B.

                  As Figura 6A e 6B são diagramas que ilustram o princípio do dispositivo de acompanhamento mostrado na presente modalidade. Conforme ilustrado na Figura 6A, assuma que um cano P0 para uso na regulação  
15                   das posições descritas acima dos medidores de deslocamento do tipo de não contato 2C e 2D seja formado em um círculo perfeito na seção transversal na direção perpendicular à direção axial, que um centro C do cano P0 seja coincidente com um centro de rotação O do cano P0, e que as distâncias até o cano P0 medidas pelos medidores de deslocamento do tipo de  
20                   não contato 2C e 2D sejam referidas como as referências do deslocamento, isto é, origens dos medidores de deslocamento do tipo de não contato 2C e 2D. Da mesma maneira, assuma que o cano P0 seja usado na regulação da posição inicial descrita acima do sensor de detecção de falha 1, e que a posição inicial do sensor de detecção de falha 1 seja regulada oposta ao centro  
25                   O do cano P0.

                  Após a regulação inicial descrita acima, assuma que o cano P como um membro cuja falha é para ser realmente medida, em que o centro C do cano P é coincidente com o centro de rotação O, como no cano P0 e um formato de seção transversal seja uma elipse, é transportado entre os  
30                   medidores de deslocamento do tipo de não contato 2C e 2D. Conforme ilustrado na Figura 6A, porções de diâmetro longo elípticas A4 e A2 faceiam os medidores de deslocamento do tipo de não contato 2C e 2D, respectivamen-

te, em que o cano P neste estado é referido como um cano P2. Assuma que quando o cano P2 é rodado 180°C, a porção A4 do cano P2 atinja uma posição faceando o medidor de deslocamento do tipo de não contato 2D, enquanto a porção A2 do cano P2 atinge uma posição faceando o medidor de deslocamento do tipo de não contato 2C, em que o cano P neste estado é referido como um cano P4. Durante esta rotação, uma vez que o centro do cano P é coincidente com o centro de rotação O do cano P, é desnecessário mover o sensor de detecção de falha 1 na direção de eixo X. Contudo, o deslocamento na porção A4 do cano P2 medido, por exemplo, por um medidor de deslocamento do tipo de não contato 2C se torna  $-\alpha$  igual ao deslocamento quando o centro C do cano P2 é desviado do centro de rotação O do cano P2. Portanto, se a quantidade de movimento do sensor de detecção de falha 1 na direção de eixo X for regulada no estado do cano P4 apenas pelo uso do deslocamento  $-\alpha$ , o sensor de detecção de falha 1 será movido de forma desfavorável, mesmo no caso em que o centro C do cano P não é desviado do centro de rotação O do cano P, isto é, em que é desnecessário mover o sensor de detecção de falha 1 na direção de eixo X, desse modo se dando origem a um problema de degradação da precisão de acompanhamento.

Em contraste, como na presente modalidade, a quantidade de movimento do sensor de detecção de falha 1 na direção de eixo X no estado do cano P4 é regulada para  $M_x = (\text{o deslocamento medido pelo medidor de deslocamento do tipo de não contato 2C} - \text{o deslocamento medido pelo medidor de deslocamento do tipo de não contato 2D}) / 2$  para a direita na folha da Figura 5, conforme descrito acima. Como uma consequência, o deslocamento da porção A4 do cano P2 medido pelo medidor de deslocamento do tipo de não contato 2C se torna  $-\alpha$ , e, ainda, o deslocamento da porção A2 do cano P2 medido pelo medidor de deslocamento do tipo de não contato 2D também se torna  $-\alpha$ , por meio do que  $M_x = 0$ . Assim, é possível manter a precisão de acompanhamento, sem se mover o sensor de detecção de falha 1 na direção de eixo X.

Ao contrário, conforme ilustrado na Figura 6B, no caso em que o

cano P como o membro cuja falha é para ser realmente detectada tem um diâmetro externo igual àquele do cano P0 e é formado em um círculo perfeito na seção transversal, e, ainda, o centro do cano P é desviado do centro de rotação O do cano P por uma quantidade de desvio  $\alpha$ , o deslocamento na porção A4 do cano P2 medido pelo medidor de deslocamento do tipo de não contato 2C se torna  $\alpha$ , enquanto o deslocamento na porção A2 do cano P2 medido pelo medidor de deslocamento do tipo de não contato 2D se torna  $-\alpha$ , por meio do que  $M_x = 0$ . Quando o cano P2 é movido para o cano P4 pela rotação de  $180^\circ$ , o deslocamento no centro C4 do cano P4 na direção de eixo X a partir do sensor de detecção de falha 1 se torna  $-\alpha$ , isto é, o cano P é movido por  $\alpha$  para a esquerda na folha da Figura 6. Como uma consequência, a quantidade de movimento do sensor de detecção de falha 1 na direção de eixo X, quando o cano P2 é movido para o cano P4 após a rotação de  $180^\circ$ , é regulada para  $M_x$  para a esquerda na folha da Figura 6, de modo que a posição do sensor de detecção de falha 1 na direção de eixo X em relação ao cano P4 possa ser substancialmente constante, isto é, substancialmente a mesma que a posição do sensor de detecção de falha 1 na direção de eixo X em relação ao cano P0 na posição inicial. Em outras palavras, o uso de  $M_x$  como a quantidade de movimento do sensor de detecção de falha 1 na direção de eixo X é efetivo não apenas no cano P formado em uma elipse na seção transversal, conforme mostrado na Figura 6A, mas também no cano P se flexionando tendo seu centro desviado de seu centro de rotação O, conforme mostrado na Figura 6B. Aqui, de modo a se evitar o problema de degradação da precisão de acompanhamento, é preferível que um valor obtido pela multiplicação de  $M_x$  por um coeficiente de relaxação predeterminado  $k$ , em que  $0 < k < 1$ , seja regulado como a quantidade de movimento do sensor de detecção de falha 1, conforme descrito na primeira modalidade.

Um controlador de posicionamento 4 na presente modalidade prediz um tempo até uma porção A4 ou A2 do cano P cujo deslocamento é medido por um selecionado a partir dos medidores de deslocamento do tipo de não contato 2C e 2D atingir uma posição predeterminada, por exemplo, a

posição A1 após a rotação da porção A4 de 90°C ou a posição A3 após a rotação da porção A2 de 90°C, em uma linha reta se estendendo na direção de eixo Z através do centro de rotação do cano P, com base na relação de posição entre o medidor de deslocamento do tipo de não contato seleciona-

5 do 2C ou 2D e o sensor de detecção de falha 1, e a velocidade de rotação do cano P. Após isso, o controlador de posicionamento 4 controla o posicionador 3A com base no deslocamento medido pelo medidor de deslocamento do tipo de não contato selecionado e um tempo de atraso operacional de um posicionador 3 (especificamente, o posicionador 3A para movimento do sen-

10 sor de detecção de falha 1 na direção de eixo Z), de maneira tal que o sensor de detecção de falha 1 na direção de eixo Z após o lapso do tempo predito seja posicionado de forma substancialmente constante em relação ao cano P, após o lapso do tempo predito e, então, move o sensor de detecção de falha 1 na direção de eixo Z.

15 O controlador de posicionamento 4 na presente modalidade é configurado em uma modificação favorável, de modo que o diâmetro externo do cano P possa ser calculado com base no deslocamento medido pelo par de medidores de deslocamento do tipo de não contato 2C e 2D. Especificamente, o diâmetro externo do cano P pode ser calculado pela subtração de

20 cada uma das distâncias até o cano P medidas pelos medidores de deslocamento do tipo de não contato 2C e 2D a partir de uma distância de separação entre os medidores de deslocamento do tipo de não contato 2C e 2D. Conforme descrito acima, os medidores de deslocamento do tipo de não contato 2C e 2D são posicionados de maneira a facearem cada outro na di-

25 reção de eixo X com o centro do cano P0 para a regulação inicial interposto entre eles. Aqui, se o centro do cano P for desviado em direção à direção de eixo Z a partir da direção de faceamento entre os medidores de deslocamento do tipo de não contato 2C e 2D, isto é, uma linha reta conectando os medidores de deslocamento do tipo de não contato 2C e 2D causada por uma

30 flutuação de posição na direção de eixo Z, tal como uma flexão no cano P, cujo diâmetro externo é para ser realmente medido, um erro de acordo com o desvio descrito acima geometricamente ocorrerá no diâmetro externo me-

dido do cano P calculado da maneira descrita acima. Especificamente, conforme o desvio descrito acima se torna maior, o diâmetro externo medido do cano P se torna menor do que o diâmetro externo real do cano P. A propósito, se o desvio descrito acima for invariável, o erro geometricamente se tornará maior conforme o diâmetro externo real do cano P se tornar menor. Tendo em vista isto, de modo a se manter a precisão de medição do diâmetro externo apesar da flexão ocorrendo no cano P, é preferível corrigir o valor de medição de diâmetro externo obtido, por exemplo, para adição de um valor de correção predeterminado de acordo com o desvio descrito acima e um diâmetro externo aproximado, tal como um valor de projeto do cano P.

A correção descrita acima pode ser realizada de uma maneira, por exemplo, conforme descrito abaixo. Em primeiro lugar, o controlador de posicionamento 4 é configurado de modo a armazenar o valor de medição de diâmetro externo e a posição do sensor de detecção de falha 1 na direção de eixo Z em uma série no tempo com respeito a um único cano P. Mais ainda, o controlador de posicionamento 4 previamente armazena ali o valor de projeto de diâmetro externo do cano P. Além disso, o controlador de posicionamento 4 armazena previamente ali um valor de correção a ser adicionado ao valor de medição de diâmetro externo com respeito a cada um dentre o desvio descrito acima do centro do cano P e o valor de projeto de diâmetro externo do cano P na forma, por exemplo, de uma tabela. Aqui, a posição do sensor de detecção de falha 1 na direção de eixo Z em um certo sincronismo correspem que ao desvio descrito acima a partir do centro do cano P no mesmo sincronismo, quando a precisão de acompanhamento do sensor de detecção de falha 1 for alta. Como uma consequência, o desvio descrito acima do centro do cano P no mesmo sincronismo pode ser calculado com base na posição do sensor de detecção de falha 1 na direção de eixo Z em cada sincronismo armazenado no controlador de posicionamento 4. O controlador de posicionamento 4 calcula o desvio do centro do cano P em cada sincronismo com base na posição do sensor de detecção de falha 1 na direção de eixo Z em cada sincronismo armazenado ali, sequencialmente seleciona um valor de correção de acordo com o desvio calculado e o valor

de projeto de diâmetro externo introduzido do cano P a partir da tabela, e adiciona o valor de correção ao valor de medição de diâmetro externo armazenado no mesmo sincronismo. Assim, a correção do valor de medição de diâmetro externo armazenado em cada sincronismo da maneira descrita acima permite que a precisão de medição de diâmetro externo seja mantida, mesmo com a flutuação de posição do cano P na direção de eixo Z, tal como uma flexão.

Subsequentemente, o recurso de acordo com a presente invenção será adicionalmente esclarecido pela descrição de exemplos e exemplos comparativos.

#### <Exemplo 1-1>

Um ensaio de avaliação de precisão de acompanhamento no sensor de detecção de falha 1 foi conduzido pelo uso do dispositivo de acompanhamento 100B ilustrado na Figura 5, isto é, a configuração descrita acima na terceira modalidade. Como o membro cuja falha é para ser detectada usado foi um cano cujo diâmetro externo é de 73 mm de valor de projeto e cujo desvio do centro do cano a partir do centro de rotação do cano causado por uma flexão é de em torno de  $\pm 3$  mm (a partir deste ponto, referido como um "cano flexionado"). O cano flexionado foi montado nos rolos girando 5 e, então, não foi transportado na direção axial, mas rodado na direção circunferencial (a uma velocidade de rotação de 180 rpm). Após isso, o cano flexionado rodado foi acompanhado pelo sensor de detecção de falha 1, conforme descrito abaixo.

(1) Acompanhamento pelo sensor de detecção de falha 1 na direção de eixo X

O tempo até as porções do cano flexionado cujo deslocamento foi medido pelos medidores de deslocamento do tipo de não contato 2C e 2D, respectivamente, terem atingido as posições após a rotação de 180° foi predito com base na relação de posição entre os medidores de deslocamento do tipo de não contato 2C e 2D e o sensor de detecção de falha 1 e a velocidade de rotação do cano flexionado. Após isso, o posicionador 3B foi controlado com base na diferença entre o deslocamento medido pelo medi-

dor de deslocamento do tipo de não contato 2C e o deslocamento medido pelo medidor de deslocamento do tipo de não contato 2D e o tempo de atraso operacional do posicionador 3B, de maneira tal que o sensor de detecção de falha 1 na direção de eixo X após o lapso do tempo predito fosse posicionado de forma substancialmente constante em relação ao cano flexionado após o lapso do tempo predito, e, então, o sensor de detecção de falha 1 foi movido na direção de eixo X. A quantidade de movimento  $M_x$  do sensor de detecção de falha 1 na direção de eixo X foi igual a (o deslocamento medido pelo medidor de deslocamento do tipo de não contato 2C – o deslocamento medido pelo medidor de deslocamento do tipo de não contato 2D)/2.

(2) Acompanhamento pelo sensor de detecção de falha 1 na direção de eixo Z

O tempo até a porção do cano flexionado cujo deslocamento foi medido pelo medidor de deslocamento do tipo de não contato 2D ter atingido a posição após a rotação de 90°C foi predito com base na relação de posição entre o medidor de deslocamento do tipo de não contato 2D e o sensor de detecção de falha 1 e a velocidade de rotação do cano flexionado. Após isso, o posicionador 3A foi controlado com base no deslocamento medido pelo medidor de deslocamento do tipo de não contato 2D e no tempo de atraso operacional do posicionador 3A, de maneira tal que o sensor de detecção de falha 1 na direção de eixo Z após o lapso do tempo predito fosse posicionado de forma substancialmente constante em relação ao cano flexionado, após o lapso do tempo predito e, então, o sensor de detecção de falha 1 foi movido na direção de eixo Z.

<Exemplo 1-2>

O ensaio de avaliação de precisão de acompanhamento no sensor de detecção de falha 1 foi conduzido sob as mesmas condições que no Exemplo 1-1, exceto pelo uso apenas do deslocamento medido pelo medidor de deslocamento do tipo de não contato 2D, isto é, sem o uso do deslocamento medido pelo medidor de deslocamento do tipo de não contato 2C, de modo a se permitir que o sensor de detecção de falha 1 acompanhasse o cano flexionado. Especificamente, o sensor de detecção de falha 1 foi deixa-

do acompanhar o cano flexionado de uma maneira descrita abaixo.

(1) Acompanhamento pelo sensor de detecção de falha 1 na direção de eixo X

O tempo até a porção do cano flexionado cujo deslocamento foi medido pelo medidor de deslocamento do tipo de não contato 2D ter atingido a posição após a rotação de 180°C foi predito com base na relação de posição entre o medidor de deslocamento do tipo de não contato 2D e o sensor de detecção de falha 1 e a velocidade de rotação do cano flexionado. Após isso, o posicionador 3B foi controlado com base no deslocamento medido pelo medidor de deslocamento do tipo de não contato 2D e o tempo de atraso operacional do posicionador 3B, de maneira tal que o sensor de detecção de falha 1 na direção de eixo X após o lapso do tempo predito fosse posicionado de forma substancialmente constante em relação ao cano flexionado, após o lapso do tempo predito e, então, o sensor de detecção de falha 1 foi movido na direção de eixo X.

(2) Acompanhamento pelo sensor de detecção de falha 1 na direção de eixo Z

O sensor de detecção de falha 1 acompanhou o cano flexionado da mesma maneira que no Exemplo 1-1.

<Exemplo Comparativo 1>

Um teste foi conduzido sob as mesmas condições que no Exemplo 1-1, exceto pelo fato de o sensor de detecção de falha 1 não ter acompanhado o cano flexionado, isto é, o sensor de detecção de falha 1 permaneceu fixo na posição inicial.

<Método de Avaliação de Precisão de Acompanhamento>

(1) Método para avaliação da precisão de acompanhamento na direção de eixo Z

Um micrômetro servindo como um medidor de deslocamento do tipo de contato, isto é, um medidor de deslocamento do tipo de contato no eixo Z foi afixado ao sensor de detecção de falha 1 e, então, sua sonda foi colocada em contato com a superfície de fundo do cano flexionado. O deslocamento da sonda do micrômetro foi medido em cada um dos Exemplos 1-1

e 1-2 e do Exemplo Comparativo 1. Quando o sensor de detecção de falha 1 acompanha completamente a flutuação de posição do cano flexionado na direção de eixo Z de acordo com a rotação na direção circunferencial, o deslocamento medido descrito acima deve se tornar constante em todo o tempo a princípio. Como uma consequência, foi avaliado que a precisão de acompanhamento na direção de eixo Z foi mais alta conforme a largura de flutuação do deslocamento medido pelo medidor de deslocamento do tipo de contato de eixo Z era menor.

## (2) Método para avaliação da precisão de acompanhamento na direção de eixo X

Um micrômetro servindo como um medidor de deslocamento do tipo de contato, isto é, um medidor de deslocamento do tipo de contato do eixo X foi afixado ao sensor de detecção de falha 1 e, então, sua sonda foi colocada em contato com a superfície lateral do cano flexionado na direção de eixo X. O deslocamento da sonda do micrômetro foi medido em cada um dos Exemplos 1-1 e 1-2 e do Exemplo Comparativo 1. Quando o sensor de detecção de falha 1 acompanha completamente a flutuação de posição do cano flexionado na direção de eixo X de acordo com a rotação na direção circunferencial, o deslocamento medido descrito acima deve se tornar constante em todo o tempo a princípio. Como uma consequência, foi avaliado que a precisão de acompanhamento na direção de eixo X foi mais alta conforme a largura de flutuação do deslocamento medido pelo medidor de deslocamento do tipo de contato de eixo X era menor.

### <Resultados de Avaliação de Precisão de Acompanhamento>

As Figura 7A, 7B e 7C são gráficos que ilustram os resultados de avaliação descritos acima da precisão de acompanhamento, em que a Figura 7A ilustra os resultados do Exemplo Comparativo 1; a Figura 7B ilustra os resultados do Exemplo 1-2 e a Figura 7C ilustra os resultados do Exemplo 1-1. As quantidades de deslocamento medidas pelos medidores de deslocamento do tipo de não contato 2C e 2D também são plotadas nos gráficos das Figura 7A, 7B e 7C, além das quantidades de deslocamento medidas pelo medidor de deslocamento do tipo de contato de eixo Z e pelo medi-

dor de deslocamento do tipo de contato de eixo X.

Conforme ilustrado nas Figura 7A, 7B e 7C, a largura de flutuação do deslocamento medido pelo medidor de deslocamento do tipo de contato de eixo Z em um gráfico indicado por uma linha tracejada em negrito foi de 5,410 mm no Exemplo Comparativo 1 (Figura 7A). Em contraste, foi de 0,946 mm no Exemplo 1-1 (Figura 7C) e de 0,921 mm no Exemplo 1-2 (Figura 7B), respectivamente. Como resultado, foi descoberto que a precisão de acompanhamento na direção de eixo Z foi notadamente mais alta nos Exemplos do que no Exemplo Comparativo.

A propósito, conforme ilustrado nas Figura 7A, 7B e 7C, a largura de flutuação do deslocamento medido pelo medidor de deslocamento do tipo de contato de eixo X em um gráfico indicado por uma linha contínua em negrito foi de 6,602 mm no Exemplo Comparativo 1 (Figura 7A). Em contraste, foi de 0,713 mm no Exemplo 1-1 (Figura 7C) e de 1,047 mm no Exemplo 1-2 (Figura 7B), respectivamente. Como resultado, foi descoberto que a precisão de acompanhamento na direção de eixo X foi notadamente mais alta nos Exemplos do que no Exemplo Comparativo. Aqui, comparando-se o Exemplo 1-1 com o Exemplo 1-2, a razão pela qual a largura de flutuação do deslocamento no Exemplo 1-1 foi menor foi que o cano flexionado não era um círculo perfeito na seção transversal, mas ligeiramente incluía uma componente de elipse. Em outras palavras, é construído que a função efetiva da configuração no Exemplo 1-1, isto é, a configuração na terceira modalidade descrita acima pode reduzir a influência adversa pela componente elíptica, desse modo se reduzindo a precisão de acompanhamento.

<Exemplo 2-1>

Um ensaio de avaliação de precisão de acompanhamento no sensor de detecção de falha 1 foi conduzido sob as mesmas condições que no Exemplo 1-1, exceto pelo fato de como o membro cuja falha é para ser detectada ter sido usado um cano cujo diâmetro externo é de 73 mm no valor de projeto e o qual é formado em uma elipse na seção transversal tendo uma elipticidade de 2,7% (a partir deste ponto, referido como um "cano elíptico"). Aqui, a elipticidade é definida pela expressão a seguir: elipticidade = 2

$\times (\text{maior diâmetro externo} - \text{menor diâmetro externo}) / (\text{maior diâmetro externo} + \text{menor diâmetro externo}) \times 100\%$ .

<Exemplo 2-2>

Um ensaio de avaliação de precisão de acompanhamento no sensor de detecção de falha 1 foi conduzido sob as mesmas condições que no Exemplo 1-2, exceto pelo fato de o membro usado, cuja falha é para ser detectada, ter sido um cano elíptico.

<Exemplo Comparativo 2>

Um ensaio foi conduzido sob as mesmas condições que no Exemplo Comparativo 1, exceto pelo fato de o membro cuja falha é para ser detectada usado ter sido um cano elíptico.

<Método para Avaliação da Precisão de Acompanhamento>

(1) Método para avaliação da precisão de acompanhamento na direção de eixo Z

A precisão de acompanhamento na direção de eixo Z foi avaliada nos Exemplos 2-1 e 2-2 e no Exemplo Comparativo 2 pelo mesmo método de avaliação que nos Exemplos 1-1 e 1-2 e no Exemplo Comparativo 1.

(2) Método para avaliação da precisão de acompanhamento na direção de eixo X

Mesmo se o valor medido por cada um dos medidores de deslocamento do tipo de não contato for flutuado de acordo com a rotação do cano elíptico, o sensor de detecção de falha 1 não precisará ser movido na direção de eixo X, desde que o centro do cano elíptico não seja desviado do centro de rotação do cano elíptico. Ao contrário, o movimento do sensor de detecção de falha 1 na direção de eixo X significa uma precisão baixa de acompanhamento. Portanto, o deslocamento da haste de pistão 311 no posicionador 3B (vide a Figura 2) corresponde ao movimento do sensor de detecção de falha 1 na direção de eixo X foi medido aqui. Como a largura de flutuação do deslocamento medido foi menor, foi avaliado que a precisão de acompanhamento era mais alta. Especificamente, uma sonda de um micrômetro servindo como um medidor de deslocamento do tipo de contato, isto é, um medidor de deslocamento do tipo de contato de eixo X foi coloca-

do em contato com a face de extremidade da haste de pistão 311. O deslocamento da sonda do micrômetro foi medido em cada um dos Exemplos 2-1 e 2-2 e do Exemplo Comparativo 2. Conforme descrito acima, foi avaliado que a precisão de acompanhamento na direção de eixo X foi mais alta conforme a largura de flutuação do deslocamento medido pelo medidor de deslocamento do tipo de contato de eixo X era menor.

#### <Avaliação de Resultados de Precisão de Acompanhamento>

As Figura 8A, 8B e 8C são gráficos que ilustram os resultados de avaliação descritos acima da precisão de acompanhamento, em que a Figura 8A ilustra os resultados do Exemplo Comparativo 2; a Figura 8B ilustra os resultados do Exemplo 2-2; e a Figura 8C ilustra os resultados do Exemplo 2-1. As quantidades de deslocamento medidas pelos medidores de deslocamento do tipo de não contato 2C e 2D também são plotadas nos gráficos das Figura 8A, 8B e 8C, além das quantidades de deslocamento medidas pelo medidor de deslocamento do tipo de contato de eixo Z e pelo medidor de deslocamento do tipo de contato de eixo X.

Conforme ilustrado nas Figura 8A, 8B e 8C, a largura de flutuação do deslocamento medido pelo medidor de deslocamento do tipo de contato de eixo Z em um gráfico indicado por uma linha tracejada em negrito foi de 0,683 mm no Exemplo Comparativo 2 (Figura 8A). Em contraste, foi de 0,639 mm no Exemplo 2-1 (Figura 8C) e de 0,652 mm no Exemplo 2-2 (Figura 8B), respectivamente. Como resultado, foi descoberto que a precisão de acompanhamento na direção de eixo Z foi ligeiramente mais alta nos Exemplos do que no Exemplo Comparativo.

A propósito, conforme ilustrado nas Figura 8A, 8B e 8C, a largura de flutuação do deslocamento medido pelo medidor de deslocamento do tipo de contato de eixo X em um gráfico indicado por uma linha contínua em negrito foi de 0,098 mm no Exemplo Comparativo 2 (Figura 8A). Em contraste, foi de 0,725 mm no Exemplo 2-1 (Figura 8C) e de 0,869 mm no Exemplo 2-2 (Figura 8B), respectivamente. Aqui, a largura de flutuação do deslocamento medido pelo medidor de deslocamento do tipo de contato de eixo X no Exemplo Comparativo 2 naturalmente se aproximou de 0 mm, uma vez

que o sensor de detecção de falha 1 foi posicionado de forma fixa (a flutuação do deslocamento foi ligeiramente causada por uma vibração mecânica). Como resultado, os Exemplos não puderam ser comparados com o Exemplo Comparativo com referência à precisão de acompanhamento na direção de eixo X. Comparando o Exemplo 2-1 com o Exemplo 2-2, foi descoberto que a precisão de acompanhamento foi melhorada no Exemplo 2-1, uma vez que a largura de flutuação do deslocamento no Exemplo 2-1 foi menor do que no Exemplo 2-2, conforme descrito acima. Este resultado revelou que a configuração da terceira modalidade descrita acima foi particularmente efetiva ao permitir que o sensor de detecção de falha 1 acompanhasse o cano formado em uma elipse na seção transversal.

## REIVINDICAÇÕES

1. Dispositivo de acompanhamento de detecção de falha para um cano ou tubo, por meio do qual um sensor de detecção acompanha o cano ou tubo (P), sendo o sensor de detecção de falhas (1) disposto oposto a uma superfície externa de um cano ou tubo (P) e relativamente se movendo ao longo de uma direção axial do cano ou tubo (P), para a detecção de uma falha no cano ou tubo (P), cuja direção axial é a direção do eixo Y de um sistema de coordenadas ortogonais XYZ, e que é rodado em uma direção circunferencial, caracterizado pelo fato de que compreende:
- 10                    pelo menos um medidor de deslocamento do tipo de não contato (2, 2A, 2B, 2C, 2D) adaptado para medir o deslocamento na superfície externa do cano ou tubo (P) em um estado de não-contato;
- um posicionador (3, 3A, 3B) adaptado para movimentar o sensor de detecção de falha (1) em um plano perpendicular a uma direção do eixo Y do cano ou tubo (P) ao longo do eixo Z, que é a direção oposta do cano ou tubo (P) ao sensor de detecção de falha (1) e a direção do eixo X, que é a direção perpendicular à direção do eixo Z; e
- 15                    um controlador de posicionamento (4) adaptado para controlar o posicionador (3, 3A, 3B),
- 20                    em que o controlador de posicionamento (4) é adaptado para:
- prever um tempo até uma porção do cano ou tubo (P), cujo deslocamento é medido pelo medidor de deslocamento do tipo de não contato (2) que atinge uma posição predeterminada em uma linha reta que se estende na direção do eixo Z através do centro de rotação (O) do cano ou tubo (P), com base na relação de posição entre o medidor de deslocamento do tipo de não contato (2, 2A, 2B, 2C, 2D) e o sensor de detecção de falha (1) e uma velocidade de rotação do cano ou tubo (P);
- 25                    controlar o posicionador (3, 3A, 3B) para mover o sensor de detecção de falhas (1) ao longo da direção do eixo Z com base no deslocamento medido pelo medidor de deslocamento do tipo de não contato (2, 2A, 2B, 2C, 2D) e um tempo de atraso operacional do posicionador (3, 3A, 3B), de maneira tal que a posição relativa do sensor de detecção de falha (1) até o
- 30

cano ou tubo (P) na direção do eixo Z, após o lapso do tempo predito, é substancialmente a mesma que a posição relativa do sensor de detecção de falha (1) até o cano ou tubo (P) na direção do eixo Z em uma posição inicial do sensor de detecção de falha (1); e

5 o controlador de posicionamento (4) é adaptado para prever um tempo até uma porção do cano ou tubo (P), cujo deslocamento é medido pelo medidor de deslocamento do tipo de não contato (2, 2A, 2B, 2C, 2D) que atinge uma posição predeterminada em uma linha reta que se estende na direção do eixo X através do centro de rotação (O) do cano ou tubo (P),  
10 com base na relação de posição entre o medidor de deslocamento do tipo de não contato (2, 2A, 2B, 2C, 2D) e o sensor de detecção de falha (1) e uma velocidade de rotação do cano ou tubo (P);

controlar o posicionador (3, 3A, 3B) com base no deslocamento medido pelo medidor de deslocamento do tipo de não contato (2, 2A, 2B, 2C, 2D) e um tempo de atraso operacional do posicionador (3, 3A, 3B) para mover o sensor de detecção de falhas ao longo da direção do eixo X, de maneira tal que a posição relativa do sensor de detecção de falha (1) até o cano ou tubo (P) na direção do eixo X após o lapso do tempo previsto ser substancialmente o mesmo que a posição relativa do sensor de detecção de falha (1) até o cano ou tubo (P) no eixo X direção na posição inicial do sensor de detecção de falhas (1).

2. Dispositivo de acompanhamento de detecção de falha para um cano ou tubo, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que compreende:

25 pelo menos dois medidores de deslocamento do tipo de não contato (2A, 2B) dispostos ao longo da direção do eixo Z e da direção do eixo X, respectivamente, em que:

o controlador de posicionamento (4) é adaptado para prever um tempo até uma porção do cano ou tubo (P), cujo deslocamento é medido pelo medidor de deslocamento do tipo de não contato (2A) disposto ao longo da direção do eixo Z, que atinge uma posição predeterminada em uma linha reta que se estende na direção do eixo Z através do centro de rotação (O)

do cano ou tubo (P), com base na relação de posição entre o medidor de deslocamento do tipo de não contato (2A) disposto ao longo da direção do eixo Z e o sensor de detecção de falha (1) e uma velocidade de rotação do cano ou tubo (P), controla o posicionador (3A) para mover o sensor de detecção de falha (1) ao longo da direção do eixo Z, com base no deslocamento medido pelo medidor de deslocamento do tipo de não contato (2A) ao longo da direção do eixo Z e um tempo de atraso operacional do posicionador (3A), de maneira tal que a posição relativa do sensor de detecção de falha (1) até o cano ou tubo (P) na direção do eixo Z, após o lapso do tempo predito é substancialmente o mesmo que a posição relativa do sensor de direção de falha (1) para o cano ou tubo (P) na direção do eixo Z na posição inicial do sensor de detecção de falha (1), e

o controlador de posicionamento (4) é adaptado para predizer o tempo até uma porção do cano ou tubo (P), cujo deslocamento é medido pelo medidor de deslocamento do tipo de não contato (2B) disposto ao longo da direção do eixo X, que atinge uma posição predeterminada em uma linha reta que se estende na direção do eixo X através do centro de rotação (O) do cano ou tubo (P), com base na relação de posição entre o medidor de deslocamento do tipo de não contato (2B) disposto ao longo da direção do eixo X e o sensor de detecção de falha (1) e a velocidade de rotação do cano ou tubo (P), controla o posicionador (3B) para mover o sensor de detecção de falha ao longo da direção do eixo X, com base no deslocamento medido pelo medidor de deslocamento do tipo de não contato (2B) disposto ao longo da direção do eixo X e um tempo de atraso operacional do posicionador (3B), de maneira tal que a posição relativa do sensor de detecção de falha (1) ao cano ou tubo (P) após o lapso do tempo predito é substancialmente o mesmo que a posição relativa do sensor de detecção de falha (1) no cano ou tubo (P) na direção do eixo X na posição inicial do sensor de detecção de falha (1).

3. Dispositivo de acompanhamento de detecção de falha para um cano ou tubo, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que compreende:

um par de medidores de deslocamento do tipo de não contato (2C, 2D) dispostos opostos a cada outro na direção do eixo X com um cano ou tubo (P) interposto entre eles, em que:

o controlador de posicionamento (4) é adaptado para prever o tempo até uma porção do cano ou tubo (P), cujo deslocamento é medido pelo medidor de deslocamento do tipo de não contato (2C, 2D), que atinge uma posição predeterminada em uma linha reta que se estende na direção do eixo X através do centro de rotação (O) do cano ou tubo (P), com base na relação de posição entre o par de medidores de deslocamento do tipo de não contato (2C, 2D) e o sensor de detecção de falha (1) e uma velocidade de rotação do cano ou tubo (P), controla o posicionador (3) para mover o sensor de detecção de falha (1) ao longo da direção do eixo X, com base em uma diferença entre o deslocamento medido por um dos medidores de deslocamento do tipo de não contato (2C) e o deslocamento medido pelo outro medidor de deslocamento do tipo de não contato (2D) e um tempo de atraso operacional do posicionador (3), de maneira tal que a posição relativa do sensor de detecção de falha (1) ao cano ou tubo (P) após o lapso do tempo predito é substancialmente o mesmo que a posição relativa do sensor de detecção de falha (1) no cano ou tubo (P) na direção do eixo X na posição inicial do sensor de detecção de falha (1), e

o controlador de posicionamento (4) é adaptado para prever um tempo até uma porção do cano ou tubo (P), cujo deslocamento é medido por qualquer um selecionado dentre o par de medidores de deslocamento do tipo de não contato (2C, 2D) e o outro medidor de deslocamento do tipo de não contato (2) que atinge uma posição predeterminada em uma linha reta se estendendo na direção do eixo Z através do centro de rotação (O) do cano ou tubo (P), com base na relação de posição entre o medidor de deslocamento do tipo de não contato (2C, 2D) e o sensor de detecção de falha (1) e uma velocidade de rotação do cano ou tubo (P), controla o posicionador (3) para mover o sensor de detecção de falha (1) ao longo da direção do eixo Z, com base no deslocamento medido pelo medidor de deslocamento do tipo de não contato (2C, 2D) selecionado e um tempo de atraso de operação

do posicionador (3), de maneira tal que a posição relativa do sensor de detecção de falha (1) ao cano ou tubo (P) após o lapso do tempo predito é substancialmente o mesmo que a posição relativa do sensor de detecção de falha (1) para o cano ou tubo (P) na direção do eixo Z na posição inicial do sensor de detecção de falha.

4. Dispositivo de acompanhamento de detecção de falha para um cano ou tubo, de acordo com a reivindicação 3, caracterizado pelo fato de que o controlador de posicionamento (4) é adaptado para calcular um diâmetro externo do cano ou tubo (P) com base nos deslocamentos medidos pelo par de medidores de deslocamento do tipo de não contato (2C, 2D).

5. Dispositivo de acompanhamento de detecção de falha para um cano ou tubo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 4, caracterizado pelo fato de que:

o medidor de deslocamento do tipo de não contato (2) é um medidor de deslocamento do tipo de corrente parasita, e

o controlador de posicionamento (4) é adaptado para corrigir o deslocamento medido pelo medidor de deslocamento do tipo de não contato (2) para um material do cano ou tubo (P), para controle do posicionador (3) com base no deslocamento corrigido.

6. Dispositivo de acompanhamento de detecção de falha para um cano ou tubo, de acordo com uma das reivindicações 1 a 5, caracterizado pelo fato de que:

o sensor de detecção de falha (1) é uma sonda ultrassônica, e

o controlador de posicionamento (4) é adaptado para controlar o posicionador (3), com respeito ao cano ou tubo (P) em um estado estacionário, que move a sonda ultrassônica ao longo da direção do eixo X e regula, como uma posição inicial da sonda ultrassônica, uma posição na qual uma intensidade de eco recebida a partir da superfície externa do cano ou tubo (P) pela sonda ultrassônica se torna mais alta.

7. Aparelho de detecção de falha automático para um cano ou tubo, caracterizado pelo fato de que compreende:

o dispositivo de acompanhamento de detecção de falha (100)

para o cano ou tubo, como definido em qualquer uma das reivindicações 1 a 6; e

um sensor de detecção de falha (1) para acompanhamento do cano ou tubo (P) pelo dispositivo de acompanhamento de detecção de falha (100) para o cano ou tubo.

Fig. 1A

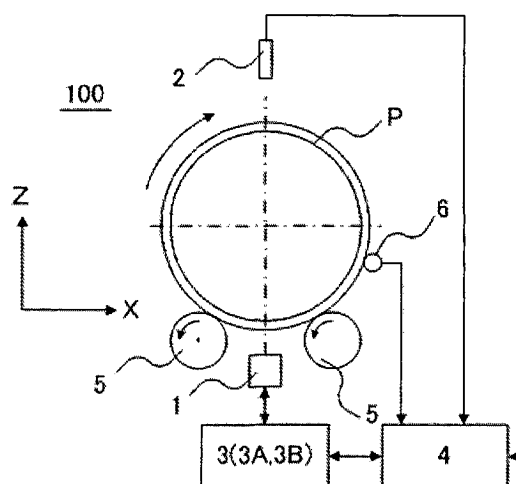
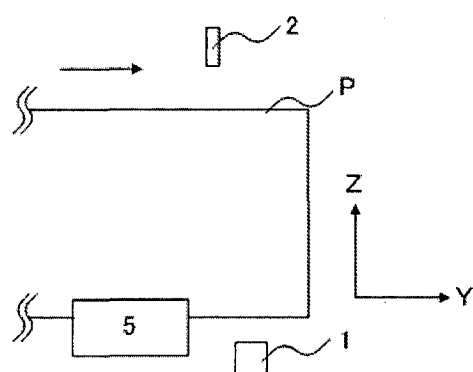


Fig. 1B



Informação a partir de computador  
de processo de ordem alta

Fig. 2

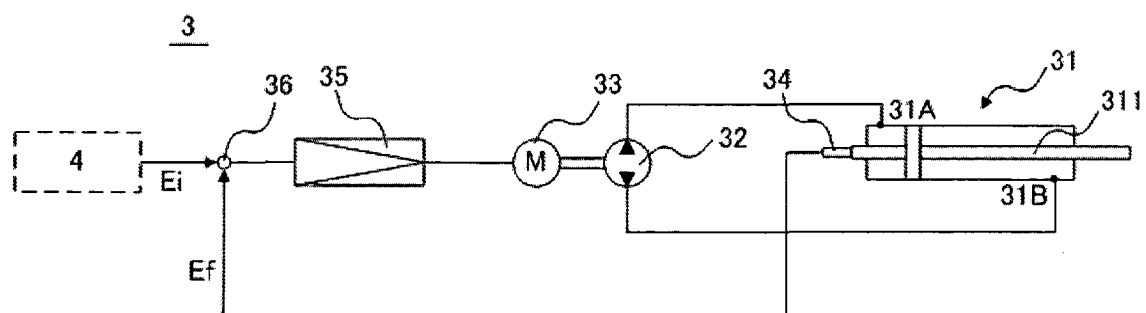


Fig. 3

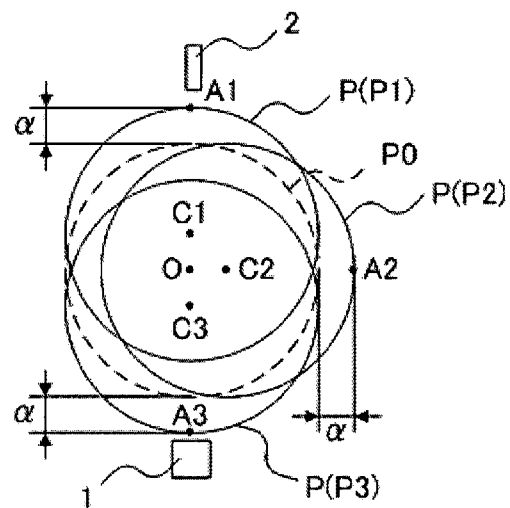


Fig. 4

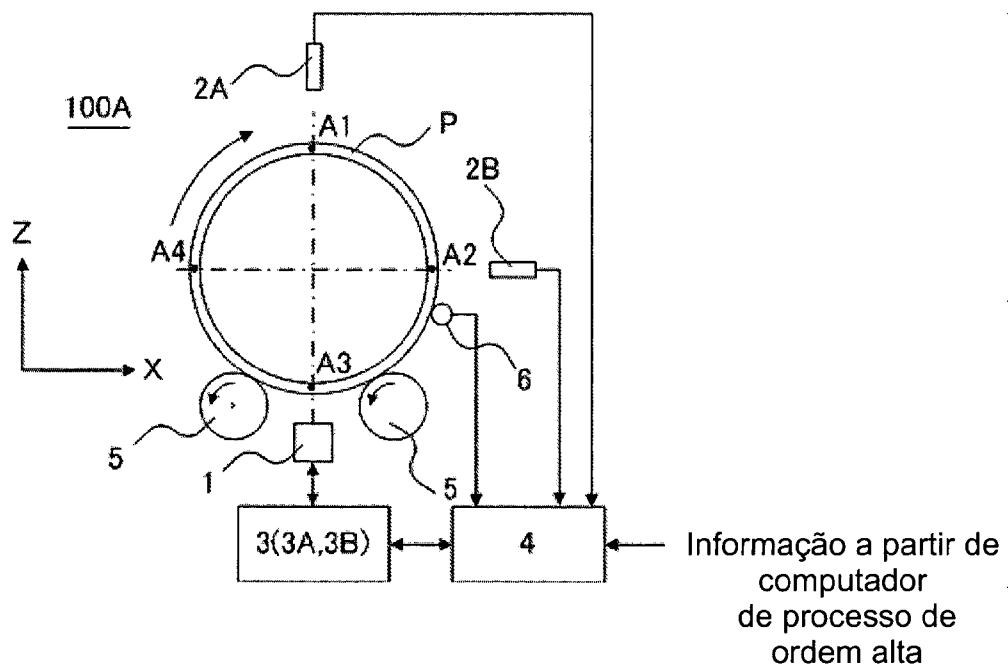


Fig. 5

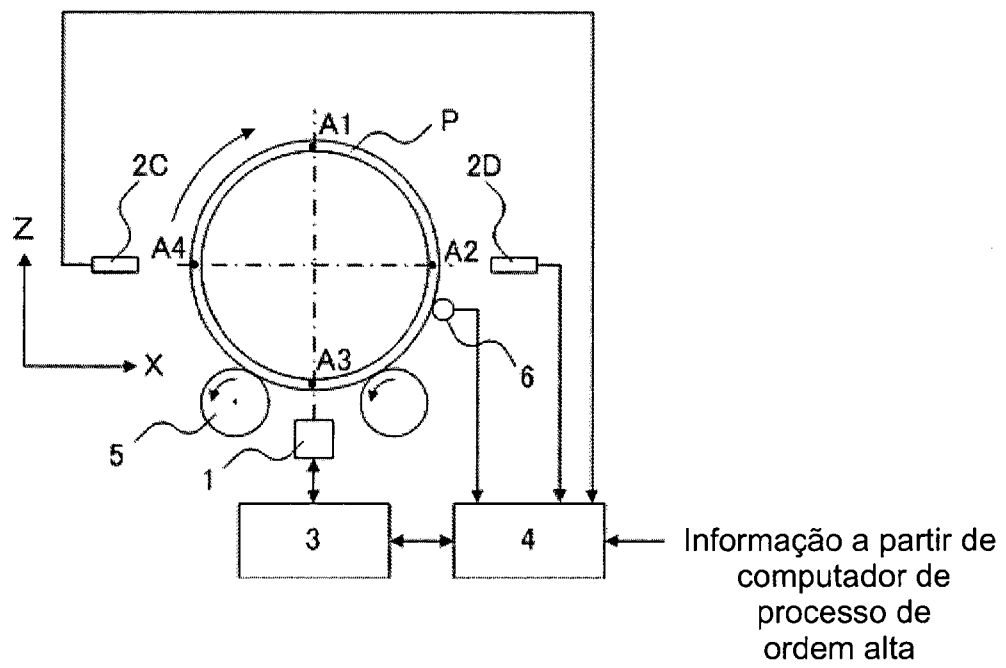
100B

Fig. 6A

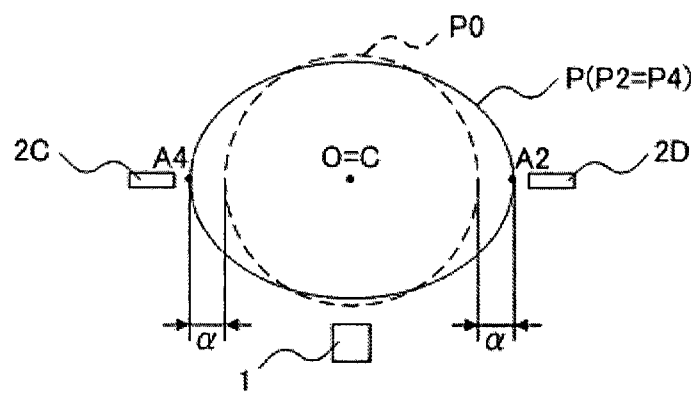


Fig. 6B

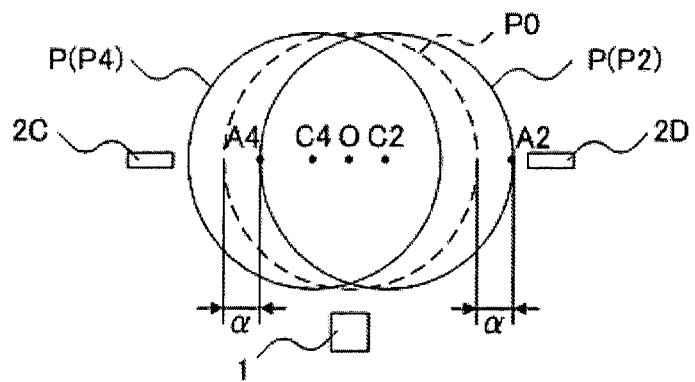


Fig. 7A

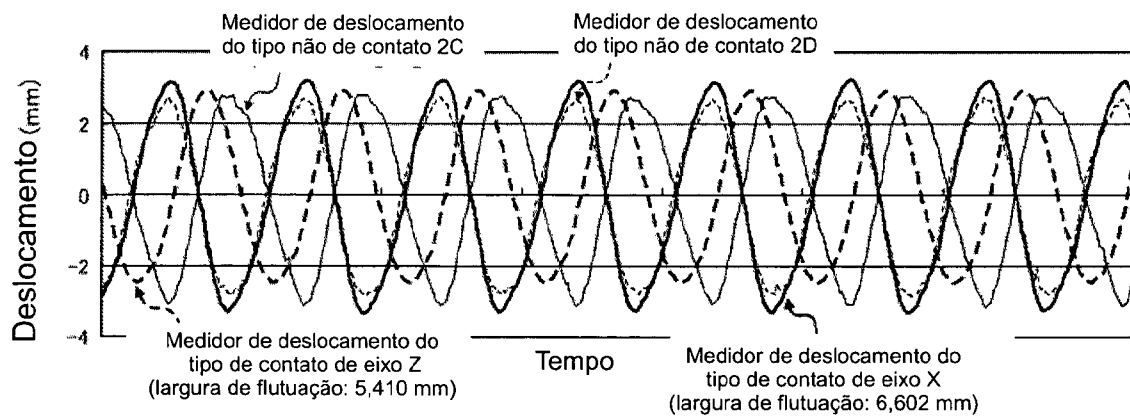


Fig. 7B

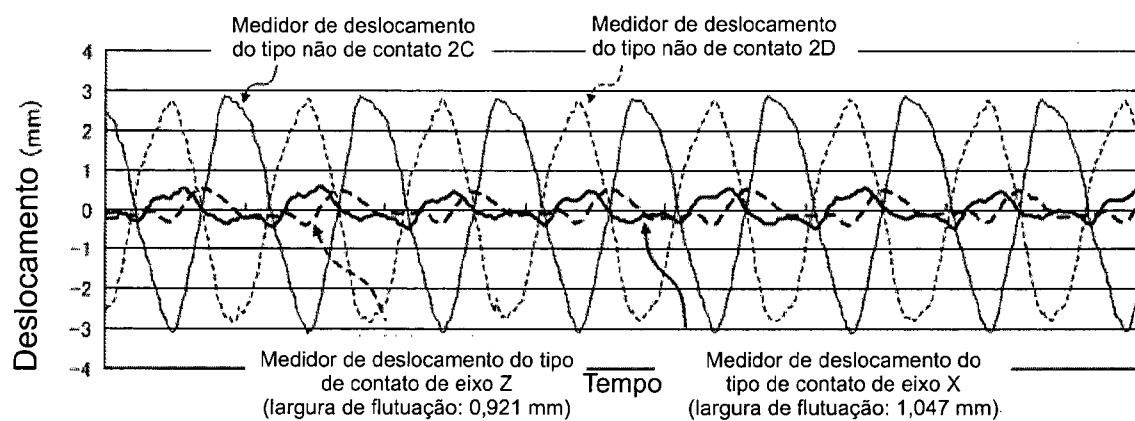


Fig. 7C

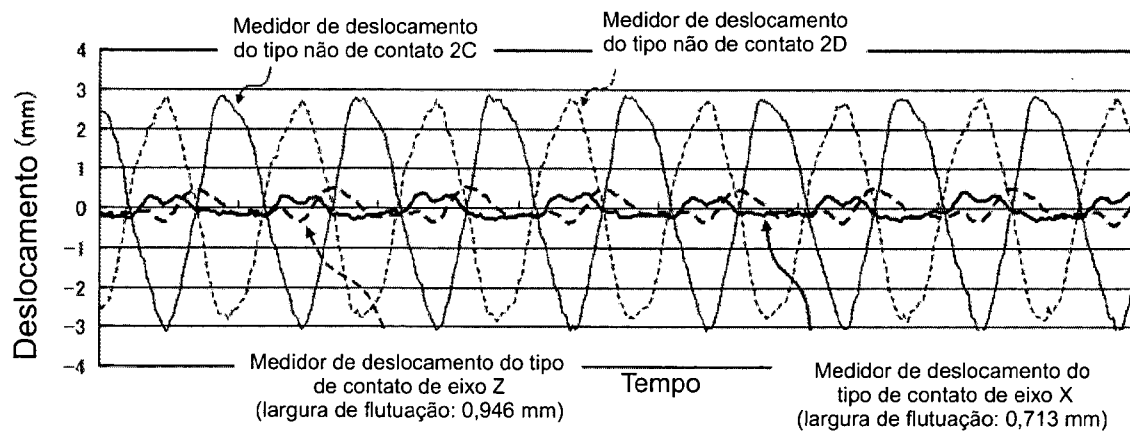


Fig. 8A

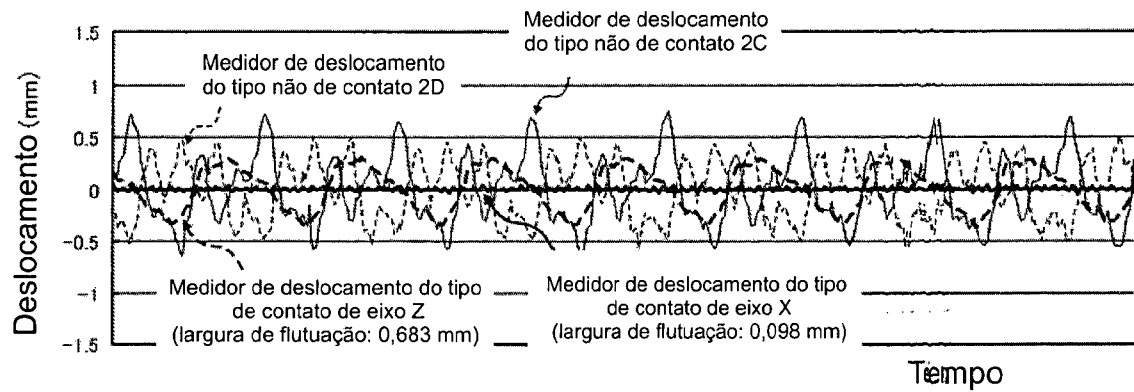


Fig. 8B

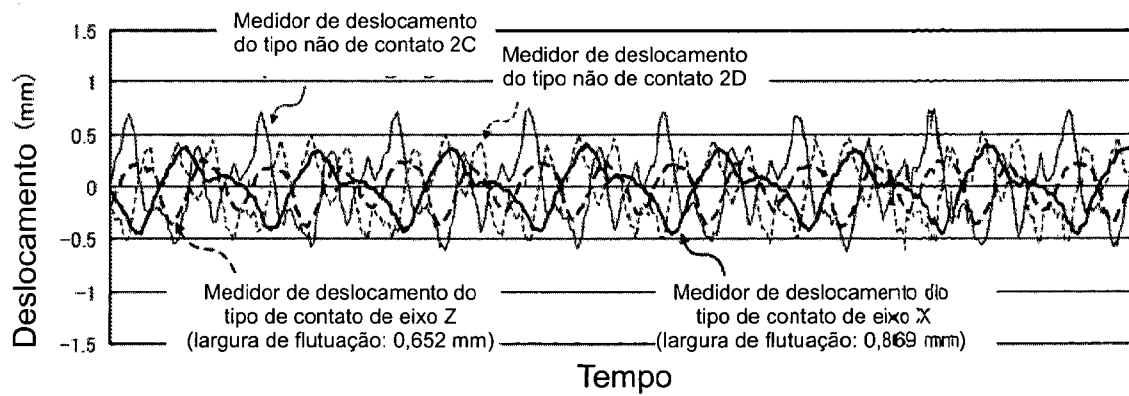


Fig. 8C

