



República Federativa do Brasil
Ministério do Desenvolvimento, Indústria
e Comércio Exterior
Instituto Nacional de Propriedade Industrial

(21) **PI0710986-5 A2**

(22) Data de Depósito: 24/04/2007
(43) Data da Publicação: 24/05/2011
(RPI 2107)



(51) *Int.Cl.:*
G01N 29/22 2006.01
G01N 29/28 2006.01
G01N 29/265 2006.01
F16L 55/26 2006.01

(54) Título: **APARELHO E MÉTODO PARA INSPECIONAR UM TUBO, E, TRANSDUTOR PARA TRANSMITIR ENERGIA DE ULTRA-SOM EM UM TUBO**

(30) Prioridade Unionista: 28/04/2006 GB 0608421.4

(73) Titular(es): Genesis Oil & Gas Consultants Ltd , Guided Ultrasonics LTD

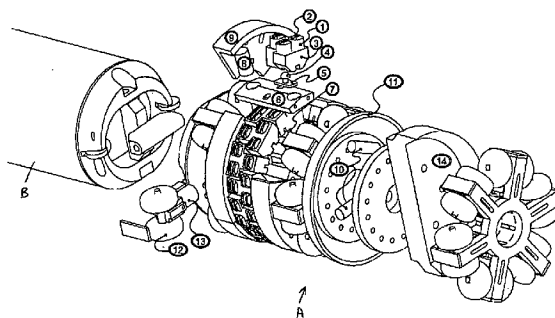
(72) Inventor(es): Brian Pavlakovic, David Alleyne, Steve Banks

(74) Procurador(es): Momsen, Leonardos & CIA.

(86) Pedido Internacional: PCT GB2007001499 de 24/04/2007

(87) Publicação Internacional: WO 2007/125308 de 08/11/2007

(57) Resumo: APARELHO E METODO PARA INSPECIONAR UM TUBO, E, TRANSDUTOR PARA TRANSMITIR ENERGIA DE ULTRA-SOM EM UM TUBO. Um aparelho para inspecionar um tubo compreendendo um corpo adaptado para passagem através do furo de um tubo a ser inspecionado, um arranjo de transdutor principal compreendendo uma pluralidade de transdutores espaçados circunferencialmente para transmitir energia de ultra-som, os transdutores estando montados no corpo para movimento entre uma posição retraída, em que o corpo pode se mover livremente através do furo do tubo, e uma posição estendida, em que a pluralidade de transdutores é apertada em contato operativo com a parede interna do tubo, meio de atuação sendo provido para impelir seletivamente a pluralidade de transdutores a suas posições estendidas, meio de controle sendo provido para transmitir energia de ultra-som em dito tubo para propagar uma onda guiada dentro das paredes de tubo em pelo menos uma direção longitudinal ao longo do tubo quando o transdutores estão na sua posição operativa e para receber a onda propagada e analisar dita onda para determinar a presença ou ausência ou defeitos na parede de tubo.



“APARELHO E MÉTODO PARA INSPECIONAR UM TUBO, E, TRANSDUTOR PARA TRANSMITIR ENERGIA DE ULTRA-SOM EM UM TUBO”

5 A presente invenção relaciona-se a um método e aparelho para inspecionar tubos, em particular tubos ascendentes de catenária de aço de água profunda (SCR) e tubulações de gás (ambos fora da costa e na costa, compreendendo tubulações embutidas).

10 Devido a carregamento ambiental, correntes de submar e profundidades de água crescentes, SCR's são suscetíveis à rachadura de fadiga nas áreas de toque abaixo e nos locais de junca de tensão onde eles conectam à plataforma de hospedeiro. A orientação e natureza das rachaduras de fadiga que se desenvolvem nas soldas circunferenciais e zonas afetadas por calor associadas são difíceis de detectar com técnicas de inspeção em linha ou de 'pigging' atuais. Frequentemente, uma cobertura isolante é aplicada aos SCR's e outras linhas de fluxo para prevenir formação de hidrato dentro do tubo. Tal
15 cobertura restringe o uso de técnicas de inspeção externamente aplicadas.

Defeitos críticos a serem detectados em SCR's são rachaduras de fadiga em soldas circunferenciais (ou em zonas afetadas por calor associadas) adjacentes a áreas de contato inferior onde as tensões de flexão
20 são geralmente maiores e a vida de fadiga do SCR é portanto mais curta. Estas rachaduras críticas geralmente se formam paralelas à solda e sua orientação é portanto circunferencial com referência ao tubo.

Corrosão em SCR's e outras tubulações também é um problema principal nas indústrias de petróleo, gás, químicas e outras. Muitos tubos são
25 isolados que significa que até mesmo corrosão externa não pode ser vista sem remover o isolamento, que é proibitivamente caro e pode conduzir a dano ao tubo. Corrosão e erosão internas também são problemas particulares em SCR's e gasodutos onde fluidos agressivos são carregados pelas tubulações.

A inspeção em linha de gasodutos de transmissão de gás é o

modo mais apropriado para verificar a integridade da tubulação. A exposição e inspeção externas de tubo embutido na terra, não só é extremamente caro, mas em muitos locais totalmente impraticável. Em locais fora da costa pode não haver os mesmos constrangimentos como aqueles experimentados em terra para expor a tubulação, mas em ambos grande cuidado de incidentes é tomado para assegurar que o gás transmitido tenha alcançado um certo ponto de orvalho e esteja seco. É portanto benéfico que o método de inspeção em linha não introduza qualquer umidade na tubulação durante a inspeção.

Muitas das linhas de fluxo em campo de SCR e tubos ascendentes estão entre aproximadamente 200 e 305 mm de diâmetro, com trabalho de tubo coletor entre aproximadamente 100 e 160 mm em diâmetro. Trabalho de tubo coletor, especialmente no lado de produção, como os SCRs, normalmente tem uma cobertura isolante no lugar que pode ser até 50,4 mm de espessura, portanto, como SCRs, métodos de inspeção externa só podem ser usados em uma capacidade limitada, por exemplo a orifícios de inspeção designados. As linhas de diâmetro menor no local de coletor também fazem extremamente difícil para os 'pigs' de inspeção em linha atuais passarem por curvas apertadas.

Caixões flutuantes de plataforma podem ser usados para várias aplicações fora da costa, para bombear água do mar para o sistema de inundação de água de incêndio de plataforma, ou para propósitos de descarga. Embora sua integridade não seja tão crítica quanto um tubo ascendente de gás ou de produção, suas conseqüências podem ser sérias da sua falha. Falhas podem fazer caixões flutuantes romperem e colidirem tubulações no solo oceânico ou conduzir à falha das bombas internas que entregam água do mar para sistemas de combate de incêndio no lado de cima. A inspeção destes componentes por rachadura ou perda de parede é difícil devido à cobertura de crescimento marinha externa normalmente pesada.

A fim de diminuir o risco de falha ou vazamentos, é desejável

inspecionar e detectar rachadura de fadiga em SCRs e outros tubos e linhas de fluxo e também detectar qualquer redução na espessura de parede de tais tubos devido à corrosão e/ou erosão. É particularmente desejável detectar qualquer rachadura tendo uma seção maior que 1% da seção transversal de tubo.

Técnicas de teste não destrutivo (NDT) para tubos de aço, e para inspecionar soldas em particular, foram desenvolvidas e tais técnicas acharam aplicação na inspeção de tubulações. Exemplos de tais técnicas são teste de raio X, teste ultra-sônico, teste de partícula magnética, teste de vazamento de fluxo magnético e corrente parasita. Porém, tais técnicas conhecidas todas possuem desvantagens que as fazem inadequadas para uso na inspeção de SCRs devido ao ambiente severo no qual SCRs operam e a falta de acessibilidade às áreas a serem inspecionadas.

Dispositivos de vazamento de fluxo magnético (MFL) são muito comuns no campo de petróleo e gás, normalmente providos em 'pigs' para passagem pelo tubo a ser inspecionado. Porém, eles não podem detectar confiavelmente rachaduras circunferenciais e são mais adequados para detecção de perda de metal de corrosão. Além disso, dispositivos de MFL carecem de flexibilidade para acomodar diâmetros de tubo diferentes. Finalmente, dispositivos de MFL só trabalham em materiais magnéticos e conseqüentemente não podem ser usados para tubos feitos de um grau de aço inoxidável não magnético.

Ondas ultra-sônicas podem se propagar pela parede de um tubo. A presença de defeitos, tais como rachaduras, no caminho das ondas pode ser detectada, tanto por um detector remoto de uma fonte de ondas ultra-sônicas ou detectando reflexões do defeito por um detector na ou adjacente à fonte. WO 99/31499 expõe um 'limpador' usando ondas ultra-sônicas de alta frequência (0,5 MHz a 1 MHz) para inspecionar comprimentos curtos de tubo enfrentando a cabeça de inspeção (tipicamente menos de 0,5 m). Tais ondas

de alta frequência provêm alta resolução e sensibilidade de detecção, mas sofrem alta atenuação e portanto curto alcance. A fim de inspecionar o comprimento inteiro de um tubo, o 'limpador' tem que ser movido ao longo do tubo enquanto transmitindo continuamente e detectando ondas ultra-sônicas. Tal sistema é volumoso e caro e seria inadequado para muitas aplicações, tais como gasodutos, porque o tubo precisa ser carregado com um líquido, tal como óleo ou água, para assegurar acoplamento ultra-sônico entre os transdutores piezelétricos e a parede de tubo. Além disso, tal sistema é muito sensível à contaminação nas paredes de tubo porque sujeira ou bolhas de ar aprisionadas podem causar falsas leituras de defeito.

Ondas guiadas ultra-sônicas na parede de tubo, tais como ondas Lamb, são particularmente úteis para inspecionar tubos por defeitos porque elas podem ser excitadas em um local no tubo e se propagarão muitos metros ao longo do tubo, retornando ecos indicando a presença de corrosão, rachaduras de fadiga ou outros defeitos de tubo. Ondas guiadas ultra-sônicas são modos vibracionais guiados de um corpo de material em que energia ultra-sônica é aprisionada entre os limites de dito corpo de material e guiada por dito corpo de material pelo grande descasamento em impedância mecânica entre a parede do corpo de material e um meio circundante. A terminologia é explicada mais completamente no artigo por M. G. Silk e K. F. Bainton no diário "Ultrasonics" de janeiro de 1979 nas páginas 11-19, intitulado "The propagation in metal tubing of ultrasonic wave modes equivalent to Lamb waves".

WO 96/12951 (incorporada aqui por referência) expõe o uso de ondas guiadas ultra-sônicas de longo alcance para detectar faltas e redução na espessura de parede em um tubo. O método se confia na propriedade de ondas guiadas de baixa frequência (< 100 kHz) para se propagar dentro da parede de tubo paralelo ao eixo de tubo, com pequena atenuação, assim tornando possível detectar defeitos localizados até dezenas de metros da

cabeça de inspeção, dita detecção de falhas sendo feita pela detecção do eco refletido pelo defeito. O método é implementado apertando a seco um anel de transdutores piezelétricos à superfície exterior do tubo. Porém, esta técnica requer acesso à superfície exterior do tubo a intervalos regulares ao longo do comprimento do tubo. Isto pode não ser prático para tubulações isoladas, particularmente para SCRs que podem operar a grande profundidade, fazendo remoção do isolamento e depósitos de submar na superfície de tubo inviável. Tal método também é inadequado para tubulações embutidas pela mesma razão.

É portanto desejável prover uma ferramenta usando ondas guiadas ultra-sônicas que podem inspecionar a tubulação do interior.

De acordo com um primeiro aspecto da presente invenção, é provido um aparelho para inspecionar um tubo compreendendo um corpo adaptado para passagem através do furo de um tubo a ser inspecionado, um arranjo de transdutor principal compreendendo uma pluralidade de transdutores espaçados circunferencialmente para transmitir energia de ultra-som, os transdutores estando montados no corpo para movimento entre uma posição retraída, em que o corpo pode se mover livremente através do furo do tubo, e uma posição estendida, em que a pluralidade de transdutores é apertada em contato operativo com a parede interna do tubo, meio de atuação sendo provido para impelir seletivamente a pluralidade de transdutores a suas posições estendidas, meio de controle sendo provido para controlar os transdutores para transmitir energia de ultra-som em dito tubo para propagar uma onda guiada dentro das paredes de tubo em pelo menos uma direção longitudinal ao longo do tubo quando os transdutores estão em sua posição operativa e para receber a onda propagada e analisar dita onda para determinar a presença ou ausência ou defeitos na parede de tubo.

Preferivelmente, dito meio de atuação compreende um ou mais pistões atuados hidraulicamente para impelir dita pluralidade de transdutores

contra a parede interna do tubo. Preferivelmente, cada um de ditos pistões atuados hidraulicamente está montado em um cilindro respectivo se comunicando com um coletor comum, dito coletor sendo pressurizável para impelir os pistões e conseqüentemente os transdutores contra a parede de tubo com pressão substancialmente igual.

Preferivelmente, dita pluralidade de transdutores é impelida para sua posição retraída, preferivelmente por um ou mais meios de mola.

Preferivelmente, cada transdutor é provido com uma cabeça de contato para contato com a parede interna do tubo a ser inspecionado, a superfície externa de dita cabeça de contato definindo a interseção de um paralelepípedo retangular e a borda exterior de um toróide, em que os raios principal e secundário do toróide são pelo menos 10% menor que o raio menor do tubo a ser inspecionado a fim de obter um contato de ponto aproximado da cabeça de contato com a parede interna do tubo.

Preferivelmente, dita cabeça de contato é formada de um material eletricamente isolante, tal como alumina.

Preferivelmente, os transdutores incluem transdutores piezelétricos polarizados capazes de ambos emitir energia ultra-sônica e detectar ondas ultra-sônicas refletidas.

Em uma concretização preferida, dita pluralidade de transdutores do arranjo de transdutor principal é arranjada em duas filas ao redor da circunferência do corpo. Os transdutores são preferivelmente orientados para gerar ondas guiadas no modo torcional $T(0, 1)$, tal que excitação unidirecional possa ser alcançada com duas filas de transdutores. A fim de assegurar que os transdutores sejam apertados contra a superfície interna do tubo com força igual, grupos de três transdutores adjacentes, dois de uma fila e um da outra, são montados em um membro portador comum, o membro portador sendo preso a um membro de base por um meio de montagem de esfera e soquete para permitir movimento de inclinação do

membro portador em qualquer direção relativa a um eixo espaçado igualmente de cada um de ditos três transdutores adjacentes.

Além de dito arranjo de transdutor principal, um arranjo de transdutor adicional pode ser provido compreendendo transdutores adicionais montados dentro de um toróide elastomérico expansível provido ao redor de uma região periférica de dito corpo, dito toróide preferivelmente sendo carregado com um líquido, tal como óleo, a pressão de dito líquido sendo ajustável para expandir seletivamente o toróide em engate operativo com a superfície interna do tubo a ser inspecionado. Preferivelmente, ditos transdutores adicionais incluem transdutores ultra-sônicos de alta frequência (aproximadamente 1-10 MHz) que podem ser usados para medir a espessura de parede de tubo padrão (por ondas volumosas incidentes normais) como também a espessura de parede de tubo média e atenuação e velocidade das ondas guiadas pela parede de tubo (por ondas guiadas orientadas circunferencialmente). Tais medições podem ser usadas para calibrar o arranjo de transdutor principal.

De acordo com um segundo aspecto da presente invenção, é provido um método de inspecionar um tubo usando um aparelho de inspeção de acordo com o primeiro aspecto da invenção, dito método compreendendo as etapas de:

- a) inserir dito aparelho de inspeção no furo de um tubo a ser inspecionado;
- b) mover dita pluralidade de transdutores a sua segunda ou posição estendida para estar em contato operativo com a parede interna do tubo;
- c) operar dita pluralidade de transdutores para transmitir energia de ultra-som em dito tubo para propagar uma onda guiada no tubo em pelo menos uma direção longitudinal ao longo do tubo;
- d) detectar reflexões da onda propagada e analisar ditas

reflexões para determinar a presença ou ausência ou defeitos na parede de tubo;

e) mover a pluralidade de transdutores a sua posição retraída e;

5 f) carregar o corpo pelo tubo a uma posição de inspeção adicional e repetir as etapas (b) a (e).

Preferivelmente, ditas reflexões da onda propagada são detectadas por dita pluralidade de transdutores.

De acordo com um terceiro aspecto da presente invenção, é provido um transdutor para transmitir energia de ultra-som em um tubo para
10 uso com um aparelho de inspeção de tubo, dito transdutor compreendendo uma cabeça de contato para contatar uma superfície interna de dito tubo, a superfície externa de dita cabeça de contato definindo a interseção de um paralelepípedo retangular e a borda exterior de um toróide, em que os raios principal e secundário do toróide são pelo menos 10% menor que o raio
15 menor do tubo a ser inspecionado a fim de obter um contato de ponto aproximado da cabeça de contato com a parede interna do tubo. Preferivelmente, dita cabeça de contato é formada de um material eletricamente isolante, tal como alumina.

A presente invenção será descrita agora, por meio de exemplo,
20 com referência aos desenhos acompanhantes, em que:

Figura 1 é uma vista de perspectiva de um aparelho de inspeção de acordo com uma primeira concretização da presente invenção;

Figura 2 é uma vista explodida detalhada da cabeça de transdutor do aparelho da Figura 1;

25 Figura 3 é uma vista seccional lateral de um transdutor piezelétrico do aparelho de arranjo de transdutor principal da Figura 1;

Figura 4 é uma vista seccional de extremidade do transdutor piezelétrico da Figura 3;

Figura 5 é uma vista esquemática do arranjo de transdutor

secundário do aparelho da Figura 1; e

Figura 6 é uma vista esquemática do arranjo de transdutor secundário da Figura 5 mostrando o toróide inflável em seu estado expandido operativo.

5 Uma primeira concretização da presente invenção será descrita com referência aos desenhos. O aparelho compreende um 'limpador' adaptado para ser passado através do furo de um tubo a ser inspecionado, tal como um tubo ascendente de catenária de aço. O 'limpador' inclui múltiplas unidades que estão ligadas juntas. À frente do 'limpador' está uma cabeça de transdutor A seguida por um recipiente de pressão B provendo uma fonte de
10 energia do 'limpador'. Seções adicionais C, D, E podem alojar a eletrônica de sistema e equipamento auxiliar. Ao término do 'limpador' está uma âncora F para uma corda.

A cabeça de transdutor é mostrada em mais detalhe na Figura
15 2. A cabeça de transdutor inclui um arranjo de transdutor principal compreendendo elementos de transdutor piezelétricos de cisalhamento ultrasônicos 1 arranjados em uma ou mais filas (duas neste caso) circunferencialmente ao redor do tubo.

O projeto dos elementos de transdutor é semelhante àquele
20 exposto em WO 96/12951. Cada elemento de transdutor está arranjado para prover uma força na parede de tubo em uma direção circunferencial para alcançar excitação de modo torcional da parede de tubo. Uso do modo torcional axi-simétrico $T(0,1)$ permite o uso só de um anel ou transdutores para excitação bidirecional ou dois anéis, como mostrado nos desenhos, para
25 excitação unidirecional.

Também é possível excitar ondas longitudinais axialmente simétricas (tipo Lamb) na parede de tubo. Para alcançar isto, os transdutores devem ser orientados para aplicar força à parede de tubo em uma direção paralela ao eixo longitudinal do tubo. Porém, tal configuração é mais

complexa, requerendo pelo menos dois anéis de transdutores para excitação bidirecional do modo único $L(0,2)$ com supressão do modo $L(0, 1)$ e três anéis para excitação unidirecional do modo único $L(0, 2)$ com supressão do modo $L(0, 1)$.

5 Também é possível excitar várias ondas de modo de flexão na parede de tubo, variando a fase e opcionalmente a amplitude dos sinais que são aplicados a cada um dos transdutores ao redor da circunferência do tubo.

A fim de prover bom contato com a parede interna do tubo para habilitar cada elemento de transdutor exercer uma força de cisalhamento na parede de tubo, cada elemento de transdutor 1 é provido com uma placa de face de alumina curvada dupla 2 que isola o elemento de transdutor eletronicamente do tubo, enquanto provendo um contato de ponto aproximado com a parede interior do tubo.

10 Como mostrado nas Figuras 3 e 4, a forma desta placa de face 2 é a interseção de um paralelepípedo retangular e a borda do toróide. O raio principal $R1$ e secundário $R2$ do toróide são escolhidos para assegurar que sua soma seja pelo menos 10 por cento menor que o raio menor do tubo que será inspecionado. Isto assegura que haja uma aproximação íntima a um contato de ponto.

20 Os elementos de transdutor 1 são presos a tríades de transdutor 3 em grupos de três, dois de uma fila e um de uma fila adjacente. Cada tríade de transdutor 3 está montada em um pino radialmente em cúpula se estendendo 4 tendo um eixo longitudinal substancialmente eqüidistante de cada um dos três elementos no grupo. O pino 4 é retido no lugar por uma cobertura 5 para permitir à tríade 3 se inclinar ligeiramente em qualquer direção. Esta flexibilidade ajuda a assegurar que todos os três elementos de transdutor 1 toquem a parede de tubo e tenham força aproximadamente igual aplicada por eles. Pinos de orientação na tríade (não mostrado) impedem de girarem.

Pares de tríades 3 estão montados (pelos pinos em cúpula) sobre um pistão de transdutor respectivo 6. Um eixo oval de cada pistão 6 é vedado por selos de anel 'O' e se encaixa em um cilindro associado em um coletor de transdutor 7, que está parcialmente escondido na Figura 1. Quando
5 pressão hidráulica é aplicada ao centro do coletor de transdutor 7, os pistões de transdutor 6 e elementos de transdutor 1 associados são estendidos e trazidos em contato com a parede de tubo com força de contato predeterminada igual (preferivelmente 40 N).

Um par de molas de retração 8 reage contra uma tira de
10 retenção 9 para retrain os pistões de transdutor de volta no coletor quando pressão hidráulica é liberada.

A pressão hidráulica pode tanto ser provida da superfície por um umbilical ou por uma pequena bomba hidráulica a bordo ou parafuso. Limitadores de pressão adequados podem ser usados para controlar a
15 quantidade de força que é aplicada aos elementos de transdutor.

Além do arranjo de transdutor principal, um arranjo de transdutor secundário compreendendo uma pluralidade de transdutores de calibração de alta freqüência 10 também é provida na cabeça de transdutor. Este transdutores 10 estão alojados em um furo cheia de fluido cercada por
20 uma membrana de borracha toroidal 11, que foi cortada fora na Figura 1. Quando o 'limpador' é parado para executar um teste, o furo é expandida por pressão hidráulica de forma que a membrana de borracha faça bom contato com a parede de tubo. As medições de calibração são feitas pela borracha (prevenindo contaminação de líquido da tubulação). Uma borracha com baixa
25 atenuação ultra-sônica é usada para a membrana a fim de obter bons resultados. Ambas ondas ultra-sônicas incidentes normais e/ou incidentes angulares podem ser geradas. Ondas incidentes normais podem medir diretamente espessura de parede. Ondas incidentes angulares podem ser usadas para criar ondas guiadas se propagando circunferencialmente ou

axialmente para determinar a espessura de parede média ao redor da circunferência do tubo. Os transdutores podem ser girados dentro de seu furo (ou um espelho ultra-sônico pode ser girado) se múltiplos locais circunferenciais forem para ser inspecionados.

5 Muitos elementos estão presentes para ajudar o movimento e orientação do 'limpador'. Estes incluem as rodas de centralização 12, que são carregadas por mola 13 sobre as paredes de tubo para manter o 'limpador' alinhado. Uma ou mais destas rodas pode conter codificadores que podem ser
10 codificador não mostradas no desenho). Além disso, uma ou mais destas rodas podem ser acionadas para ajudar o movimento do 'limpador' (especialmente quando configurado como um 'arrastador que faz movimento de nado crawl').

 Um arado plástico 14 é um exemplo de um acessório de
15 limpeza que poderia ser adicionado à frente do 'limpador'.

 A eletrônica de controle usada dentro do aparelho de inspeção é uma versão especializada da eletrônica Wavemaker G3 fabricada por Guided Ultrasonics Limited. Porém, a disposição foi revisada a fim de adaptar nas dimensões estreitamente constrangidas requeridas para permitir ao
20 aparelho se ajustar pela tubulação. Comunicação à superfície (quando amarrada) é feita por uma conexão serial.

 A presente invenção usa principalmente propagação de onda guiada ao longo do eixo do tubo de um arranjo de transdutores para a inspeção de tubulações do interior.

25 O aparelho e método da presente invenção são capazes de detectar uma ampla variedade de defeitos, especialmente rachaduras, que são difíceis para medições de espessura passantes conhecidas. Desde que a direção de propagação principal é ao longo do eixo do tubo, defeitos circunferenciais, tais como rachaduras em soldas, são muito mais fáceis de

detectar e dimensionar, ao invés de espessura passante ou ondas orientadas circunferencialmente que só refletem da borda de avanço e fuga da rachadura.

O método e aparelho de detecção de defeito da presente invenção são menos sensíveis às mudanças de propriedade de esmero de
5 limpeza/material do que sistemas baseados em eletromagnetismo (por exemplo MFL/EMAT). Os transdutores são apertados contra a superfície com força suficiente para empurrar detritos fora do caminho. Esta grande força permite um movimento de cisalhamento ser transmitido diretamente na parede de tubo. O sistema não precisa se confiar na consistência de
10 propriedades magnéticas ou elétricas do tubo.

Ambos dados de transmissão (se confiando em detecção de mudanças a onda guiada quando viaja) e dados de reflexão podem ser usados na presente invenção.

Transmissão passante é usada para:

- 15
1. Calibração de transdutores;
 2. Determinação de condição de cobertura para procurar cobertura degradada ou desunida que poderia conduzir a falhas futuras;
 3. Atenuação devido à presença de defeitos tais como micro-rachadura.

20

Porém, transmissão passante não é usada como o método de detecção de defeito primário. Reflexões de volta ao transdutor transmissor (e aquelas ao redor dele) são usadas para a determinação de defeito principal. Este método é muito menos sensível a falsas leituras que métodos de transmissão.

25

Limites de frequência são principalmente fixados pela espessura de parede de tubo para assegurar que a frequência ultra-sônica do arranjo de transdutor principal esteja abaixo da frequência de corte do modo de onda guiada $T(0,2)$.

O número de transdutores ao redor da circunferência do

arranjo de transdutor principal é fixado para assegurar que haja pelo menos 2 transdutores por comprimento de onda da onda mais rápida de interesse (na frequência mais alta de interesse).

5 Algumas medições ultra-sônicas de alta frequência do arranjo de transdutor secundário serão sintetizadas com os resultados de onda guiada do arranjo de transdutor principal para prover resultados mais quantitativos desde que os dados de onda guiada principais respondem a mudanças na condição do tubo do local de teste atual.

10 O arranjo de transdutor secundário provê dados que são usados para calibrar o arranjo de transdutor principal, tal como a espessura de tubo e a velocidade e a atenuação das ondas guiadas.

15 O arranjo de transdutor secundário pode ser usado para fazer medições de espessura ultra-sônicas, por ondas longitudinais incidentes normais, a um ou mais pontos ao redor da circunferência do tubo. Estas medições de espessura são úteis não só para calibrar o arranjo de transdutor principal, mas também para ajudar na detecção de defeitos que podem ser difíceis de detectar com o arranjo de transdutor principal, tal como por exemplo sulcos do tipo de erosão correndo consistentemente ao longo do comprimento do tubo.

20 O arranjo de transdutor secundário também pode ser usado para enviar, receber e medir ondas guiadas que se propagam circunferencialmente ao redor do tubo. Deste modo, é possível fazer numerosos testes cobrindo modos múltiplos através de uma ampla gama de frequência. Estes testes podem ser usados de modos diferentes e para
25 propósitos diferentes, tais como:

a) a análise de velocidade de grupo de certos modos de onda guiada de flexão circunferenciais pode ser usada para obter a espessura de parede média do tubo;

b) ondas guiadas circunferenciais também podem ser usadas

para determinar se há muita variação em espessura de parede ao redor da circunferência do tubo.

Isto ajudará a detecção dos certos tipos de defeitos, tal como erosão, que pode ser relativamente consistente ao longo do comprimento do tubo;

c) Finalmente, estas medidas podem ser usadas para uma calibração precisa do arranjo de transdutor principal. Realmente, os múltiplos modos de onda guiada orientada circunferencialmente enviados e recebidos pelo arranjo de transdutor secundário tem velocidades dependentes de frequência que variam com as propriedades do tubo e da cobertura fora do tubo. Portanto, casando iterativamente as medidas a um modelo teórico de qual modos guiados podem se propagar, as propriedades de material do tubo e da cobertura, como também suas condições de união, podem ser extraídas. Uma vez que estas propriedades sejam conhecidas, elas podem ser realimentadas no modelo teórico para predizer como elas afetarão as ondas guiadas principais sendo usadas pelo arranjo de transdutor principal.

O algoritmo de processamento é uma extensão simples do processamento de onda guiada que é usado para inspeção do exterior do tubo. Isto é baseado em uma combinação faseada (ou atrasada em tempo) de múltiplos transdutores de saída e entrada. Combinação correta dos traços de tempo permite a modos de onda guiada de ordem diferente serem extraídos, que permite a caracterização de qualquer refletor que seja encontrado.

Também é possível tratar o arranjo de transdutor principal como elementos em um arranjo faseado a fim de dirigir a energia a locais específicos perto da cabeça de transdutor. Isto permite melhor discriminação de qualquer defeito que é achado pela varredura inicial do tubo.

MÉTODOS DE DESENVOLVIMENTO

A presente invenção se presta a vários métodos de desenvolvimento que são descritos abaixo. Uma das vantagens principais da

presente invenção sobre outras tecnologias é que pode ser re-empacotada facilmente para desenvolvimento em aplicações diferentes para cumprir constrangimentos operacionais específicos do cliente.

‘Limpador’ natatório livre

5 Na primeira concretização, como discutido acima, o aparelho de inspeção pode ser provido em um sistema de ‘limpador’ natatório livre. A ferramenta pode ser dividida em componentes/segmentos separados unidos por uma conexão semi-rígida que permite a comunicação entre cada segmento. O ‘limpador’ pode ser impelido tanto por gás (para injeção de gás)
10 ou produto recuperado.

 Em uso, o ‘limpador’ parará a certos pontos baseado em cálculos de tempo/distância ou por hodômetros fixados permitindo a alguma da pressão desviar a ferramenta e desviar em um atuador que empurra os transdutores fora; os transdutores serão desenvolvidos da cabeça de transdutor
15 e um teste executado. Uma vez que o teste esteja completo, a pressão atrás dos transdutores será liberada e os transdutores estarão livres para serem empurrados de volta na cabeça de transdutor quando a ferramenta é movida adiante permitindo a pressão ser elevada novamente.

Amarrado

20 Em uma concretização adicional, o aparelho de inspeção pode ser desenvolvido com uma corda e sistema de guincho seguindo um conceito de projeto semelhante àquele do ‘limpador’ natatório livre. Este sistema pode ser visado inicialmente para detecção de rachadura de fadiga nas áreas de contato inferior dos SCRs. O aparelho pode ser desenvolvido em um tubo
25 ascendente preso a uma corda e guincho. A corda proverá energia e comunicação ao aparelho como também proverá um método para recuperar o aparelho. O aparelho de inspeção será enviado uma distância específica no tubo ascendente/tubulação, além do local de toque abaixo, e então recuperado em estágios fixos, tipicamente a intervalos de 10 m. A cada intervalo de 10 m,

o aparelho será estacionário e os transdutores serão desenvolvidos da cabeça de transdutor por uma pressão hidráulica pela corda ou por uma pequena bomba hidráulica a bordo, e um teste executado. Uma vez que o teste esteja completo, os transdutores serão retraídos, pela liberação de pressão hidráulica e a ferramenta será recuperada 10 m adicional até que a área de contato inferior de tubo ascendente (ou o sistema de tubo ascendente inteiro) esteja completa. Inspeção de soldas críticas será conduzida normalmente de ambos os lados e os dados fundidos juntos.

Desenvolvimento de mergulhador

Uma concretização desenvolvida de mergulhador da presente invenção pode ser específica a trabalho de tubo de coletor de diâmetro menor onde acesso é por uma conexão de flange, o sistema foi isolado. Um exemplo típico pode ser quando alguma parte do sistema de produção dentro da cabeça de coletor falhou devido a corrosão interna por um produto agressivo e é necessário inspecionar o resto do trabalho de tubo para modos de falha semelhantes. Uma inspeção completa só pode normalmente ser executada internamente devido à cobertura isolante externa. Esta cobertura isolante exigiria ferramentas de potência para remover e haveria uma chance de danificar o tubo abaixo se esta operação fosse executada.

A cabeça de transdutor é presa a uma alça adequada e então inserida no tubo. O cabo de comunicação da cabeça de transdutor correrá de volta a uma unidade de controle desenvolvida de mergulhador na cesta de trabalho alguns metros longe. A cabeça de transdutor pode então ser bombeada até a pressão requerida (hidráulica) para impelir os transdutores no conduto com a parede de tubo.

Veículo Remotamente Operado (ROV)

Como o método de mergulhador, a cabeça de transdutor pode ser usada separadamente e desenvolvida de um ROV para a inspeção de caixões flutuantes (aqueles sem grelha protetor). Há várias vantagens de

aplicar a tecnologia de dentro do caixão flutuante que não externamente e central ao redor preparando o ponto de contato de crescimento marinho antes de aplicar a cabeça de transdutor. Também pode haver algumas vantagens ao fabricar e desenvolver a cabeça de transdutor para a inspeção de caixões flutuantes se a inspeção for executada internamente.

"Arrastador que faz movimento de nado crawl"

Em uma concretização adicional, o aparelho de inspeção pode ser desenvolvido por 'arrastadores que faz movimento de nado crawl' dentro do tubo/tubos ascendentes se as condições operacionais requererem.

10 VANTAGENS

- O aparelho de inspeção de acordo com a presente invenção se confia na pressão dos transdutores para acoplar à parede de tubo em lugar da exigência de um acoplamento separado. Isto permite à técnica ser desenvolvida internamente em linhas de transmissão de gás que precisam permanecer secas, e linhas que não foram limpas a qualquer padrão.

- O projeto global da cabeça de transdutor e acessórios é muito mais simples e mais facilmente empacotado do que técnicas competidoras. Isto permite desenvolvimento em linhas de diâmetro menor e para a ferramenta navegar geometrias diferentes mais facilmente do que tecnologias de inspeção em linha atuais.

- Quando cada teste é executado, ondas guiadas são enviadas seqüencialmente em ambas as direções da cabeça de transdutor dando dados sobrepostos ao longo do processo de inspeção inteiro.

- Como as ondas guiadas se propagam ao longo da linha, não há nenhuma necessidade por precisão de ponto de pino para a ferramenta estar a um local de solda específico para detectar qualquer rachadura de fadiga que poderia estar dentro da solda ou zona afetada por calor associada.

- Durante operações amarradas, anomalias podem ser detectadas e engenheiros informados enquanto o 'limpador' ainda está no

local permitindo prosseguir ações pela ferramenta em linha se requerido.

- A apresentação dos dados é facilmente compreendida por engenheiros com só uma compreensão básica do conceito ultra-sônico guiado.

- Desenvolvendo internamente na abertura de caixão flutuante, 5 uma ferramenta de limpeza rotativa hidráulica é mais eficiente em limpar crescimento marinho e a cabeça de transdutor terá um melhor acoplamento à parede de caixão flutuante.

REIVINDICAÇÕES

1. Aparelho para inspecionar um tubo, caracterizado pelo fato de compreender um corpo adaptado para passagem através do furo de um tubo a ser inspecionado, um arranjo de transdutor principal compreendendo
5 uma pluralidade de transdutores espaçados circunferencialmente para transmitir energia de ultra-som, os transdutores estando montados no corpo para movimento entre uma posição retraída, em que o corpo pode se mover livremente através do furo do tubo, e uma posição estendida, em que a pluralidade de transdutores é apertada em contato operativo com a parede
10 interna do tubo, meio de atuação sendo provido para impelir seletivamente a pluralidade de transdutores a suas posições estendidas, meio de controle sendo provido para transmitir energia de ultra-som em dito tubo para propagar uma onda guiada dentro das paredes de tubo em pelo menos uma direção longitudinal ao longo do tubo quando os transdutores estão na sua posição
15 operativa e para receber a onda propagada e analisar dita onda para determinar a presença ou ausência ou defeitos na parede de tubo.

2. Aparelho de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que dito meio de atuação compreende um ou mais pistões atuados hidraulicamente para impelir dita pluralidade de transdutores contra a parede
20 interna do tubo.

3. Aparelho de acordo com a reivindicação 2, caracterizado pelo fato de que cada um de ditos pistões atuados hidraulicamente é montado de modo deslizante em um cilindro respectivo se comunicando com um coletor comum, dito coletor sendo pressurizável para impelir os pistões e
25 conseqüentemente transdutores contra a parede de tubo com pressão substancialmente igual.

4. Aparelho de acordo com a qualquer reivindicação precedente, caracterizado pelo fato de que dita pluralidade de transdutores é solicitada para sua posição retraída, preferivelmente por um ou mais meios de

mola.

5. Aparelho de acordo com a qualquer reivindicação precedente, caracterizado pelo fato de que cada transdutor é provido com uma cabeça de contato para contato com a parede interna do tubo a ser inspecionado, a superfície externa de dita cabeça de contato definindo a interseção de um paralelepípedo retangular e a borda exterior de um toróide, em que os raios principal e secundário do toróide são pelo menos 10% menor do que o raio menor do tubo a ser inspecionado a fim de obter um contato de ponto aproximado da cabeça de contato com a parede interna do tubo.

6. Aparelho de acordo com a reivindicação 5, caracterizado pelo fato de que dita cabeça de contato é formada de um material eletricamente isolante, tal como alumina.

7. Aparelho de acordo com a qualquer reivindicação precedente, caracterizado pelo fato de que os transdutores compreendem transdutores de piezelétricos polarizados por cisalhamento capaz de ambos emitir energia ultra-sônica e detectar ondas ultra-sônicas refletidas.

8. Aparelho de acordo com a qualquer reivindicação precedente, caracterizado pelo fato de que dita pluralidade de transdutores do arranjo de transdutor principal é arranjada em duas filas ao redor da circunferência do corpo.

9. Aparelho de acordo com a reivindicação 8, caracterizado pelo fato de que os transdutores são preferivelmente orientados para gerar ondas guiadas no modo torcional $T(0,1)$.

10. Aparelho de acordo com a reivindicação 8 ou reivindicação 9, caracterizado pelo fato de que grupos de três transdutores adjacentes, dois de uma fila e um da outra, estão montados em um membro portador comum, o membro portador sendo preso a um membro de base por um meio de montagem de esfera e soquete para permitir movimento de inclinação do membro portador em qualquer direção sobre um eixo

igualmente espaçado de cada um de ditos três transdutores adjacentes.

11. Aparelho de acordo com a qualquer reivindicação precedente, caracterizado pelo fato de que uma arranjo de transdutor adicional é provido compreendendo transdutores adicionais montados dentro de um toróide elastomérico expansível ao redor de uma região periférica de dito corpo, dito toróide sendo preferivelmente carregado com um líquido, tal como óleo, a pressão de dito líquido sendo ajustável para expandir seletivamente o toróide em engate operativo com a superfície interna do tubo a ser inspecionado.

12. Aparelho de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato de que ditos transdutores adicionais compreendem transdutores ultra-sônicos de alta frequência (aproximadamente 1-10 MHz), que podem ser usados para medir a espessura de parede de tubo padrão (por ondas volumosas incidentes normais) como também a espessura de parede de tubo média e velocidade de onda média e atenuação pela parede de tubo (por ondas guiadas orientadas circunferencialmente) para calibrar a arranjo de transdutor principal.

13. Método para inspecionar um tubo usando um aparelho de inspeção como definido em quaisquer das reivindicações 1 a 12, caracterizado pelo fato de compreender as etapas de:

a) inserir dito aparelho de inspeção no furo de um tubo a ser inspecionado;

b) mover dita pluralidade de transdutores a sua segunda ou posições estendidas para estar em contato operativo com a parede interna do tubo;

c) operar dita pluralidade de transdutores para transmitir energia de ultra-som em dito tubo para propagar uma onda guiada no tubo em pelo menos uma direção longitudinal ao longo do tubo;

d) detectar reflexões da onda propagada e analisar ditas

reflexões para determinar a presença ou ausência ou defeitos na parede de tubo;

e) mover a pluralidade de transdutores a sua posição retraída e;

f) carregar o corpo pelo tubo para uma posição de inspeção

5 adicional e repetir as etapas (b) a (e).

14. Método de acordo com a reivindicação 13, caracterizado pelo fato de que ditas reflexões da onda propagada são detectadas por dita pluralidade de transdutores.

10 15. Transdutor para transmitir energia de ultra-som em um tubo para uso com um aparelho de inspeção de tubo, caracterizado pelo fato de compreender uma cabeça de contato para contatar uma superfície interna de dito tubo, a superfície externa de dita cabeça de contato definindo a interseção de um paralelepípedo retangular e a borda exterior de um toróide, em que os raios principal e secundário do toróide são pelo menos 10% menor
15 do que o raio menor do tubo a ser inspecionado a fim de obter um contato de ponto aproximado da cabeça de contato com a parede interna do tubo.

16. Transdutor de acordo com a reivindicação 15, caracterizado pelo fato de que dita cabeça de contato é formada de um material eletricamente isolante, tal como alumina.

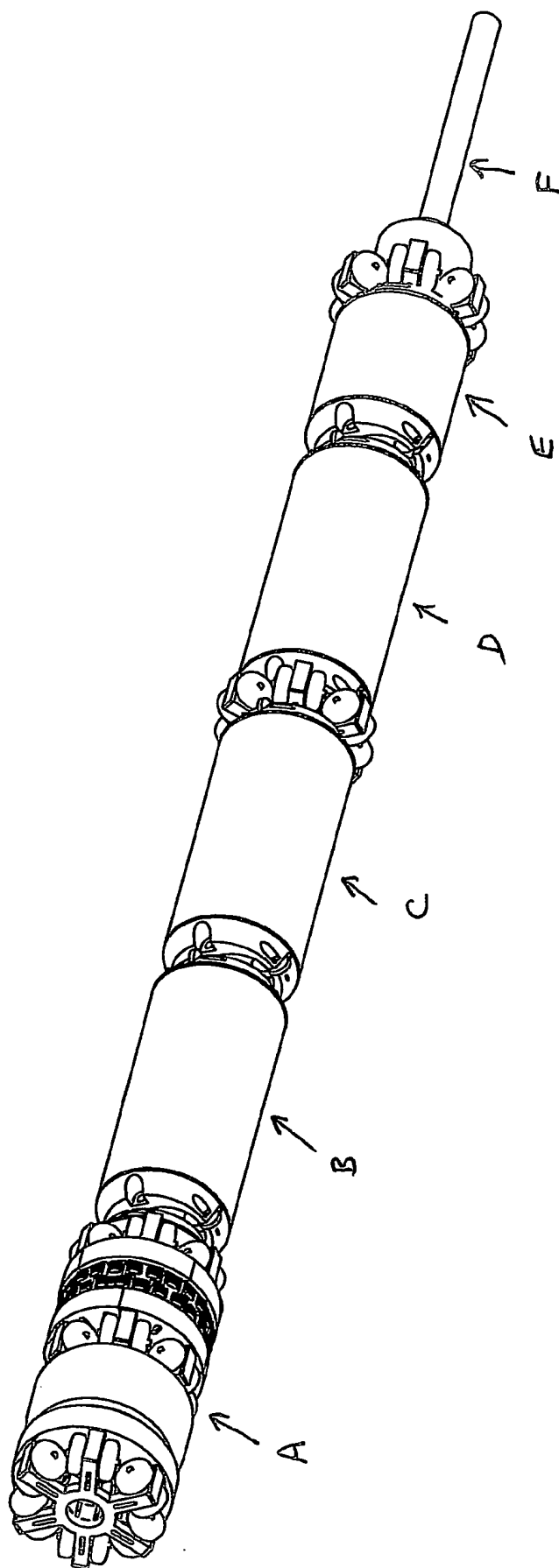


Fig. 1

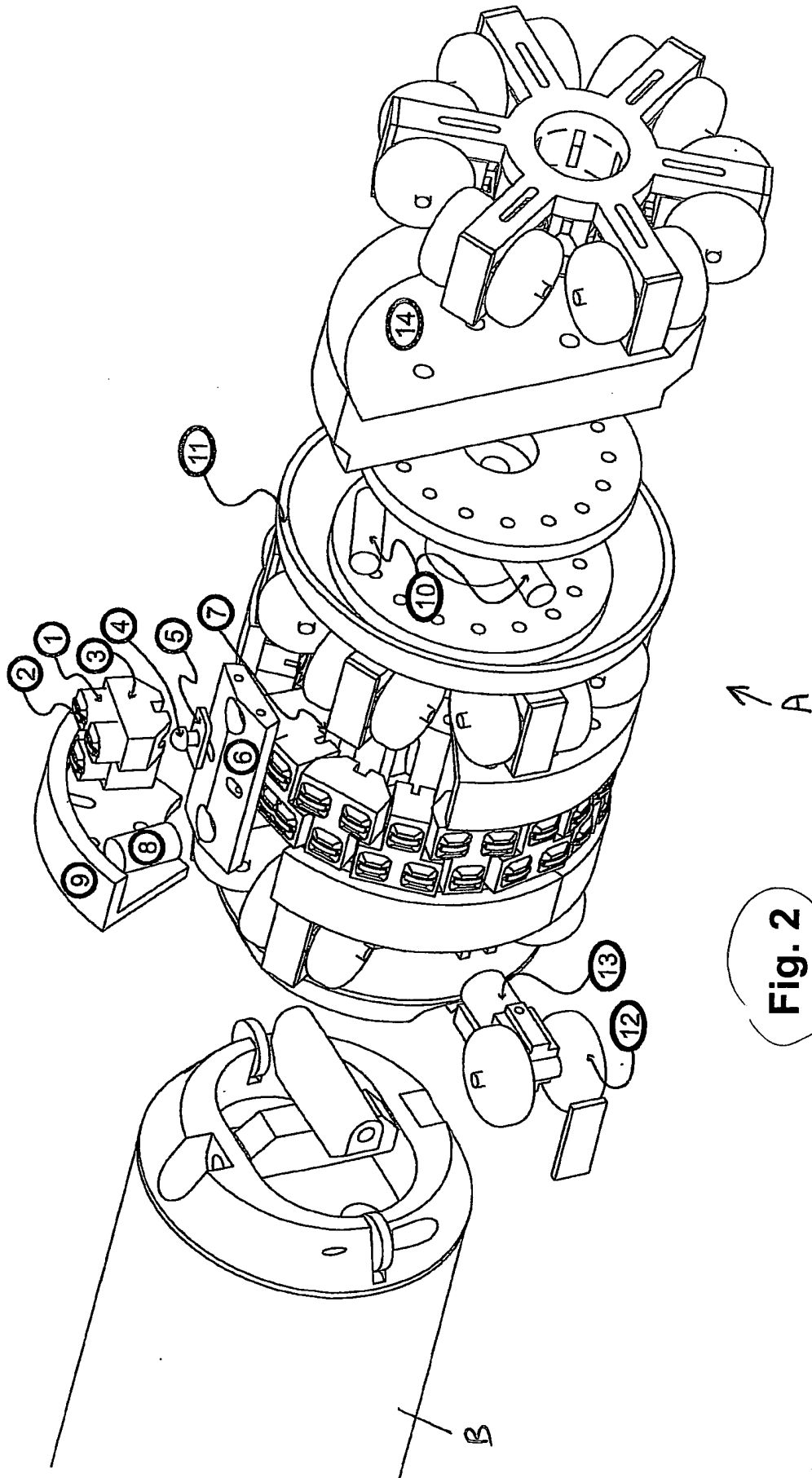


Fig. 2

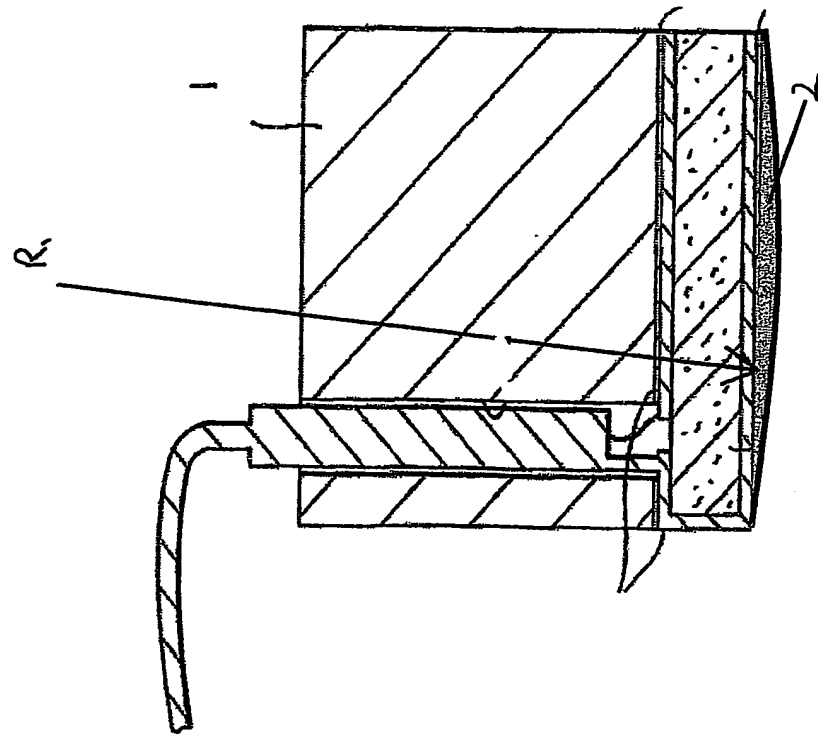


Fig. 3

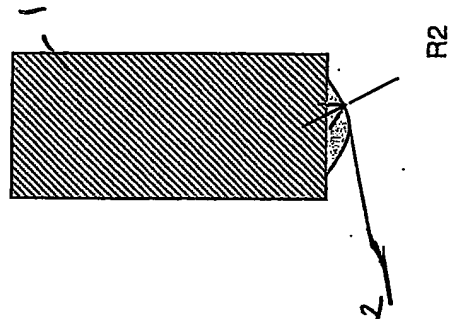


Fig. 4

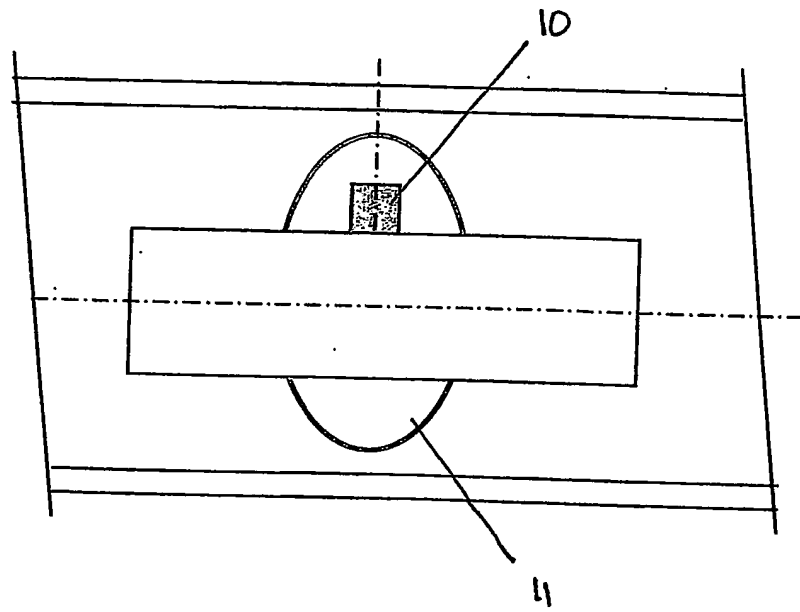


Fig. 5

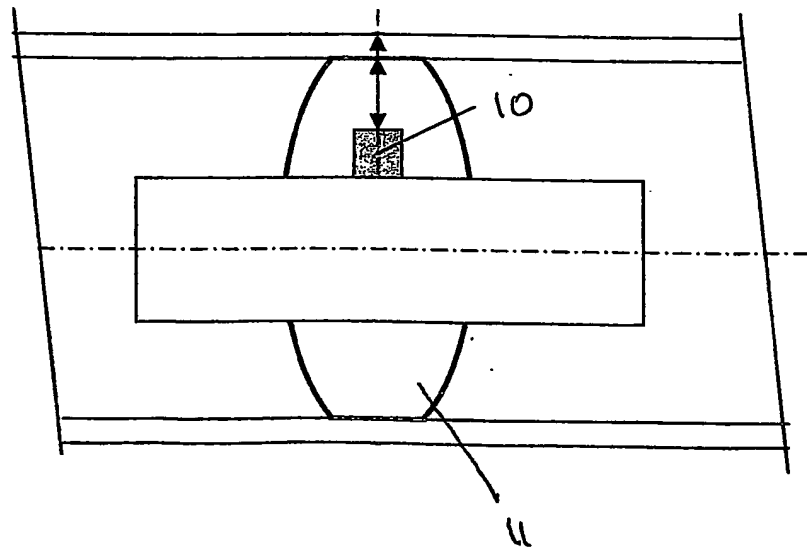


Fig. 6

RESUMO

“APARELHO E MÉTODO PARA INSPECIONAR UM TUBO, E, TRANSDUTOR PARA TRANSMITIR ENERGIA DE ULTRA-SOM EM UM TUBO”

5 Um aparelho para inspecionar um tubo compreendendo um corpo adaptado para passagem através do furo de um tubo a ser inspecionado, um arranjo de transdutor principal compreendendo uma pluralidade de transdutores espaçados circunferencialmente para transmitir energia de ultra-som, os transdutores estando montados no corpo para movimento entre uma
10 posição retraída, em que o corpo pode se mover livremente através do furo do tubo, e uma posição estendida, em que a pluralidade de transdutores é apertada em contato operativo com a parede interna do tubo, meio de atuação sendo provido para impelir seletivamente a pluralidade de transdutores a suas posições estendidas, meio de controle sendo provido para transmitir energia
15 de ultra-som em dito tubo para propagar uma onda guiada dentro das paredes de tubo em pelo menos uma direção longitudinal ao longo do tubo quando o transdutores estão na sua posição operativa e para receber a onda propagada e analisar dita onda para determinar a presença ou ausência ou defeitos na parede de tubo.

20