



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

(11) PI 0214900-1 B1

(22) Data do Depósito: 11/12/2002

(45) Data de Concessão: 18/10/2016



(54) Título: INSTALAÇÃO DE CONTROLE NÃO DESTRUTIVO PARA PRODUTOS METALÚRGICOS

(51) Int.Cl.: G01N 29/10

(30) Prioridade Unionista: 13/12/2001 FR 01/16138

(73) Titular(es): VALLOUREC & MANNESMANN TUBES

(72) Inventor(es): BERNARD BISIAUX, MICHEL VAHE, GUILLAUME CRETENO

“INSTALAÇÃO DE CONTROLE NÃO DESTRUTIVO PARA PRODUTOS METALÚRGICOS”

[0001] A invenção se refere ao controle não destrutivo, notadamente em metalurgia, e mais especialmente ao controle não destrutivo dos tubos.

[0002] A fabricação dos tubos é tornada completamente automática tanto quanto for possível. Na saída da fabricação, os tubos são submetidos a um controle não destrutivo por ultra-sons, com o objetivo de detectar seletivamente um ou vários defeitos, a partir dos seguintes testes: defeitos de superfície de orientações sensivelmente longitudinal e/ou transversal, interiormente e/ou exteriormente; defeitos de espessura e/ou na espessura; também são controlados os diâmetros interior e exterior.

[0003] De maneira a controlar inteiramente o volume dos tubos, os tubos são animados por um movimento relativo helicoidal em relação aos sensores ultra-sônicos e os ultra-sons são emitidos em forma de tiros, com ritmo acelerado, com uma frequência de tiro dita de “recorrência”.

[0004] O acoplamento do sensor ao tubo, indireto, é efetuado em um líquido, em geral a água. Na prática, são previstos, para detectar os diferentes defeitos precitados, sensores de ondas ultra-sônicas longitudinais, que “insonificam” o tubo de acordo com ângulos de incidência diferentes. Os ângulos de incidência são ajustados em função de numerosos parâmetros, entre os quais as dimensões do tubo, suas propriedades de transmissão ultra-sônica, os tipos de defeitos procurados, etc.

[0005] A frequência de recorrência dos tiros é limitada pelo tempo de percurso de ida e volta dos ultra-sons dentro do líquido de acoplamento e dentro do metal dos tubos. Um tempo de percurso grande obriga então a diminuir a frequência de recorrência e, devido a isso, a produtividade do controle não destrutivo.

[0006] De acordo com certos modos de realização conhecidos, os sensores são fixos e o tubo é animado por um movimento helicoidal.

[0007] De acordo com outros modos de realização conhecidos, os sensores ou apalpadores de ultra-sons são acionados em rotação a uma velocidade de alguns

milhares de rotações por minuto, em torno de um tubo que se desloca a uma velocidade linear que pode ir até cerca de 1 metro por segundo.

[0008] Em outros modos de realização conhecidos ainda, é utilizado um sensor constituído por um grande número de elementos transdutores ultra-sônicos que circundam o tubo. A excitação sucessiva de grupos de elementos transdutores permite proceder à “formação” de um feixe ultra-sônico, ao qual é possível associar um ângulo de incidência sobre o tubo. Ela permite também fazer o feixe girar em torno do tubo por comutação dos grupos de elementos excitados, e substituir, em consequência disso, a rotação mecânica dos sensores, descrita acima, por uma varredura eletrônica (FR-A-2 796 153).

[0009] Um caso especial de controle é aquele dos tubos sem soldadura, obtidos por “perfuração” a quente de barras entre cilindros. Esse processo de fabricação leva a defeitos ditos “oblíquos” ou ainda em hélice, que apresentam uma certa obliquidade em relação ao eixo do tubo. Essa obliquidade pode ser positiva ou negativa, de acordo com o sentido da hélice.

[0010] A obliquidade dos defeitos depende da gama de fabricação que é executada e, em certos casos, da etapa de formação do defeito. É por isso que uma mesma instalação de controle pode então ter que controlar defeitos cuja obliquidade é suscetível de variar entre -20° e $+20^\circ$, e mesmo mais.

[0011] Ora, a menor obliquidade induz uma grande atenuação dos ecos refletidos pelos defeitos quando a incidência do feixe foi otimizada para detectar defeitos estritamente longitudinais.

[0012] A patente US 3 924 453 descreve sensores clássicos que fazem divergir mecanicamente o feixe ultra-sônico em um plano que passa pelo eixo do tubo (processo dito do “divergente tórico”). O intervalo de obliquidade detectável é no entanto limitado.

[0013] Por outro lado, a utilização de sensores de elementos múltiplos que permitem formar um feixe ultra-sônico, do qual a deflexão é adaptada para detectar uma obliquidade de efeito dada, permite, em teoria, resolver esse problema. É conveniente nesse caso ajustar cada tiro de maneira que a cada tiro corresponda

uma incidência ótima para uma obliquidade dada.

[0014] Cada tiro implica um tempo de propagação dentro da água na ida, um tempo de propagação (uma ida e volta, ou várias) no tubo e, de novo, um tempo de propagação dentro da água na volta. Se pode ser considerado multiplicar os tiros em função do número de incidências desejadas, na realidade, essa técnica não pode ser aplicada industrialmente, notadamente por causa dos tempos de duração de propagação cumulados que a multiplicação dos tiros torna proibitivos. Esses tempos de duração de propagação cumulados são características físicas que não podem diminuir no tempo.

[0015] A invenção vem melhorar a situação, aumentando para isso a produtividade da instalação de controle, ao mesmo tempo em que conserva uma boa detectabilidade dos defeitos, notadamente dos defeitos oblíquos em relação ao eixo do tubo.

[0016] Ela propõe com essa finalidade uma instalação de controle não destrutivo para produtos metalúrgicos, em especial com acoplamento indireto, que compreende:

- um dispositivo sensor ultra-sônico que compreende um conjunto de elementos transdutores ultra-sônicos (C_i), acessíveis seletivamente,
- um circuito a montante, próprio para excitar seletivamente os elementos transdutores em instantes escolhidos,
- um circuito a jusante, próprio para recolher os sinais captados em retorno pelos elementos transdutores, e
- um componente de tratamento (que pode ser incorporado ao circuito a jusante) próprio para analisar os sinais captados, como resposta global de um produto metalúrgico a uma excitação ultra-sônica.

[0017] De acordo com uma característica vantajosa da instalação:

- o circuito a montante é ajustado para operar por tiros, associados a uma mesma lei temporal de excitação dos elementos transdutores,
- o circuito a jusante compreende uma memória, e é ajustado para memorizar amostras dos sinais captados (S_{ij}) por cada elemento transdutor, em

correspondência de cada tiro, em uma profundidade temporal escolhida, e

- o componente de tratamento é apropriado para operar junto com essa memória a fim:

para cada tiro, de ler e somar repetitivamente grupos de amostras (S_{ij}) que correspondem a diferentes elementos transdutores (C_i), assim como a instantes (t_j) deslocados de um elemento para o outro, e isso de acordo com uma lei temporal de tratamento escolhida, própria a cada repetição, o que permite calcular para cada tiro uma pluralidade de respostas reconstituídas (S_T, α_T) das quais cada uma delas corresponde a uma deflexão α_T (multitratamento), e

de analisar a resposta global constituída pelo conjunto dessas respostas reconstituídas.

[0018] Assim, a partir de um só tiro, pode ser deduzida uma pluralidade de respostas ultra-sônicas que correspondem cada uma delas a uma incidência “simulada”, escolhida a posteriori.

[0019] De acordo com uma das vantagens que a presente invenção proporciona, a rapidez da análise dos produtos metalúrgicos está portanto limitada somente aos tempos de tratamento necessários.

[0020] Em uma realização vantajosa, o circuito a jusante compreende um bloco de digitalização dos sinais captados, e a memória é ajustada para operar junto com o bloco de digitalização tendo em vista estocar, em função de instantes sucessivos, por um lado, e de elementos transdutores ativos, por outro lado, as amplitudes dos sinais captados por cada elemento transdutor.

[0021] Em um modo de realização, o circuito a jusante compreende meios de cálculo capazes de definir uma repartição de retardos a aplicar respectivamente aos sinais captados para obter uma resposta global que corresponde a uma emissão de acordo com uma deflexão de feixe escolhida.

[0022] Vantajosamente, os meios de cálculo são ajustados por outro lado para levar em consideração as características de emissão dos elementos transdutores, tais como a convergência dos feixes emitidos por cada elemento, na definição da repartição dos retardos a aplicar.

[0023] A invenção é suscetível de diferentes variantes, notadamente as seguintes, que podem ser combinadas:

- a cada tiro de emissão, a lei temporal de excitação pode não compreender nenhuma defasagem entre os elementos transdutores; ela pode também incluir tais defasagens; é possível ainda prever as duas coisas, quer dizer um tiro sem defasagem, e um ou alguns tiros com defasagens, uma vez que é conservado o multitratamento de cada tiro.

- o ou os tiros com defasagens podem servir para facilitar a definição a posteriori (ao multitratamento) de grandes deflexões de feixe, para as quais a atenuação das ondas ultra-sônicas deveria ser levada em consideração.

- é previsto um movimento relativo helicoidal entre os tubos e o dispositivo sensor ultra-sônico, deslocando-se para isso o tubo ou o sensor ou ambos.

- o sensor pode ser unidimensional, quer dizer uma pequena barra linear de elementos transdutores, disposta sensivelmente paralelamente ao eixo de deslocamento dos tubos, ou então uma pequena barra pelo menos parcialmente arqueada (por exemplo em tronco de cilindro, ou em tronco de setor de cilindro), que circunda o tubo.

- o componente de tratamento pode ser disposto para tratar os sinais de retorno por grupos distintos de elementos da pequena barra. Isso constitui a cada vez um "sensor virtual", com o auxílio de um subconjunto de elementos transdutores do sensor. Assim, faz-se o conjunto dos elementos do sensor atirar simultaneamente, enquanto que a cada tiro analisa-se a posteriori os sinais recebidos pelos diferentes sensores virtuais, para uma (ou cada) lei de defasagem desejada.

- o dispositivo sensor ultra-sônico pode compreender uma rede bidimensional de elementos transdutores (não necessariamente plana). Podem ser distinguidas nela colunas e fileiras. As colunas e/ou as fileiras podem ser utilizadas como o sensor unidimensional precitado. Uma tal rede bidimensional de sensores é dita "mosaico".

- o sensor mosaico pode servir para detectar defeitos oblíquos, sem

necessidade de um deslocamento relativo helicoidal físico. De fato, ele permite uma “rotação eletrônica” do feixe. Entende-se por rotação “eletrônica” um tratamento de diferentes sensores virtuais, que seja próprio para varrer a circunferência dos produtos (pelo menos parcialmente, o complemento de rotação sendo se for necessário realizado por deslocamento físico). O circuito a jusante é nesse caso ajustado para calcular repartições de retardos, ao mesmo tempo entre os elementos de uma mesma fileira e entre os elementos de uma mesma coluna.

[0024] Outras características e vantagens da invenção aparecerão com o exame da descrição detalhada abaixo, assim como dos desenhos anexos, nos quais:

- a figura 1 representa um tubo T que apresenta um defeito obliquo D;
- a figura 2A representa um dispositivo de controle com ultra-sons, com uma incidência escolhida em um plano de corte longitudinal do tubo T que passa pelo eixo desse último;
- a figura 2B representa um dispositivo de controle por ultra-sons, com uma incidência escolhida em um plano de corte transversal do tubo T;
- a figura 3 representa esquematicamente sensores C_i e os retardos τ_i a aplicar para criar um desvio α , a priori, de um raio de ultra-sons R_1 ;
- a figura 4 representa um diagrama que mostra as incidências de feixe de ultra-sons a aplicar para uma obliquidade β de um defeito presente em um tubo;
- a figura 5 representa um tiro ultra-sônico, com uma coluna de água CE que materializa a interface entre o sensor C e o tubo T, esse tiro ultra-sônico percorrendo primeiramente a água, e depois o metal do tubo T;
- a figura 6 representa esquematicamente uma instalação para a detecção de defeitos, no sentido da presente invenção;
- a figura 7 representa esquematicamente a divergência δ de um feixe F1 que um sensor sonoro C emite, de largura dada L;
- a figura 8 representa esquematicamente as intensidades seleccionadas nos sinais recebidos, sem levar em consideração uma focalização aplicada ao feixe de ultra-sons (hachuras verticais) e levando em consideração essa focalização (hachuras horizontais);

- a figura 9 representa um diagrama dos tempos de duração globais de propagação das ondas ultra-sônicas e dos tempos de duração de cálculo (ordenadas em microssegundos) em função do número de obliquidades de defeitos que podem ser detectadas (em abscissas), de acordo com a técnica da arte anterior (traços interrompidos curtos e longos) e de acordo com a invenção (traço contínuo) e por um processo otimizado, no sentido da presente invenção (traços interrompidos);

- a figura 10 representa a amplitude de um sinal recebido (a partir de um feixe inicial não desviado) para várias obliquidades β de um defeito detectado com um sensor de acordo com a figura 6 e um sensor padrão utilizado em uma técnica clássica (curvas em traços pontilhados);

- as figuras 10B e 10A são curvas de sinais A-SCAN obtidas em defeitos oblíquos respectivamente por uma técnica de acordo com a invenção e por uma técnica de tiros desmultiplicados da técnica anterior;

- a figura 11 representa a perda de sensibilidade (por atenuação acústica) para grandes obliquidades visadas, com a técnica de tiros desmultiplicados (curva em traço cheio) e a técnica de tiro único de acordo com a invenção (curva em traços pontilhados); e

- a figura 12 representa um dispositivo de controle com ultra-sons, em uma realização que utiliza um sensor em arco;

- a figura 13 representa um dispositivo de controle com ultra-sons, em uma realização que utiliza um sensor “mosaico”;

- a figura 14 representa a resposta de um entalhe em função das posições relativas do entalhe e da pequena barra, para sensores virtuais justapostos e compostos por 8 elementos; e

- a figura 15 representa a resposta de um entalhe em função das posições relativas do entalhe e da pequena barra, para sensores virtuais imbricados a 50% e compostos por 8 elementos.

[0025] Os desenhos e a descrição abaixo contêm, essencialmente, elementos de caráter seguro. Eles poderão portanto não somente servir para fazer compreender melhor a presente invenção, mas também contribuir para sua definição, se for o

caso.

[0026] Faz-se primeiro referência à figura 1 na qual um tubo T na saída de uma cadeia de fabricação apresenta um defeito obliquo D, de obliquidade β em relação ao eixo longitudinal do tubo. Em especial, em um processo de fabricação de tubos, sem soldadura, no qual perfura-se a quente barras metálicas entre cilindros, os tubos T apresentam às vezes tais defeitos, em hélice, com uma certa obliquidade β em relação ao eixo do tubo T.

[0027] Fazendo-se referência à figura 2A, um dispositivo de controle não destrutivo de tubos T compreende um dispositivo sensor C, constituído por um ou vários elementos transdutores ultra-sônicos, que “insonifica” o tubo T por emissão ultra-sônica, a um ritmo de tiro, dito frequência de recorrência, por exemplo próxima de 4 KHz. Em princípio, o acoplamento entre o sensor ultra-sônico e o tubo metálico T é indireto. Uma coluna de líquido, em especial água, é gerada entre o sensor C e o tubo, de modo que as ondas ultra-sônicas que o sensor emite se propagam primeiro na água, e depois no tubo.

[0028] A incidência do feixe de ultra-sons emitido pelos sensores c pode ser definida, no espaço, por dois ângulos de incidência. Fazendo-se referência à figura 2A, um raio incidente R1 forma com uma normal do tubo N um ângulo α_T (deflexão axial ou longitudinal) em um plano de corte longitudinal do tubo T, esse plano compreendendo o eixo do tubo. O segundo ângulo que permite definir uma incidência de feixe é o ângulo α_L da figura 2B. O raio R1 que o sensor C emite forma um angulo α_L em relação à normal N do tubo T. esse ângulo α_L (deflexão transversa) é definido em um plano de corte transversal, perpendicular ao eixo do tubo T.

[0029] O defeito D está em princípio situado na superfície exterior ou interior do tubo T ou na proximidade dessas superfícies. Ele compreende uma componente longitudinal, assim como uma componente transversal, cuja proporção é função do ângulo β do defeito. Essa obliquidade β é definida em relação a uma geratriz do tubo cilíndrico T, paralela ao eixo do tubo e pode ser positiva ou negativa.

[0030] O próprio tubo tem geralmente um movimento helicoidal relativo em relação ao sensor C de maneira a controlar sensivelmente a totalidade da superfície

do tubo. Ao longo do eixo do tubo, a componente do movimento helicoidal relativo é retilínea, de velocidade sensivelmente constante que pode ir até cerca de 1 metro/segundo. A componente rotativa do movimento helicoidal relativo pode ser gerada pela rotação do sensor em torno do eixo do tubo ou por uma rotação do tubo em torno de seu eixo, o sensor sendo fixo, ou ainda por uma combinação dessas duas rotações. Nos dois casos, orienta-se o sensor para que ele atire no tubo de acordo com uma deflexão transversa α_L próxima de 17° para detectar defeitos longitudinais ou de acordo com uma deflexão axial α_T próxima de 17° para detectar defeitos transversais. Essas deflexões α_L e α_T têm valores diferentes para um meio de propagação que não seja a água e para tubos de material que não seja o aço. A orientação pode ser preestabelecida (não regulável) ou regulável mecanicamente em uma certa medida, mas o ajuste é demorado e delicado.

[0031] Em uma técnica recente, mais evoluída, é utilizada uma pluralidade de elementos transdutores C_i (figura 3), cuja normal é perpendicular ao tubo. São aplicados aos elementos transdutores retardos de emissão respectivos τ_i , de maneira a criar uma defasagem entre as ondas elementares respectivas emitidas O_i , o que se traduz por uma diferença de marcha entre as ondas respectivas emitidas R_i . O feixe que resulta do conjunto das ondas emitidas apresenta nesse caso uma energia máxima de acordo com uma deflexão α , gerada eletronicamente pelo comando do instante de emissão dos elementos C_i . É desse modo que o conjunto dos retardos aplicados τ_i define uma repartição dos retardos, dita lei de fase ou lei temporal, na rede de sensores C_i e, em consequência disso, a deflexão α do feixe de emissão que resulta das diferentes ondas emitidas R_i .

[0032] Os elementos transdutores são dispostos em uma pequena barra. Conhecendo-se o passo p_e entre cada elemento C_i , é possível construir a repartição dos retardos a aplicar na emissão nos diferentes elementos (lei de fase) para obter uma deflexão α dada, a partir da fórmula (1):

$$\sin \alpha = V \cdot dt / p_e,$$

na qual dt é o retardo a aplicar entre os dois elementos consecutivos e v corresponde à velocidade de uma onda longitudinal ultra-sônica na água ($V = 1490$

m.s^{-1}). O feixe assim formado e defletido de α chega no tubo de acordo com a incidência α , dito de outro modo o ângulo de incidência no produto é praticamente o ângulo de deflexão do feixe.

[0033] Para escutar o sinal de maneira ótima, quer dizer na direção da incidência de emissão, é aplicada a mesma lei de fase aos sinais refletidos por um defeito e recebidos em retorno pelos diferentes elementos C_i .

[0034] Também é possível excitar grupos sucessivos de elementos C_i para realizar uma varredura eletrônica, por exemplo em torno do tubo, se os elementos C_i estão em arco de círculo ou equivalente.

[0035] De uma maneira geral, os defeitos oblíquos são difíceis de detectar ao mesmo tempo em que os defeitos longitudinais, notadamente porque uma incidência otimizada do feixe de ultra-sons para o controle dos defeitos longos produz uma resposta bastante atenuada em defeitos oblíquos, mesmo pouco oblíquos. Por exemplo, a atenuação ultrapassa geralmente um fator 2, para uma obliquidade de defeito de 5° . Ora procura-se aqui detectar simultaneamente os defeitos longitudinais e oblíquos (se possível, com uma obliquidade compreendida entre $+35^\circ$ e -35° no mínimo, sem perda redibitória de sensibilidade).

[0036] A detecção dos defeitos oblíquos necessita nesse caso adaptar os ângulos α_L e α_T , que variam com a obliquidade de um defeito. De fato, fazendo-se referência à figura 4, é revelado que o ótimo para detectar um defeito longitudinal ($\beta = 0$) corresponde a 17° para o ângulo α_L , enquanto que o ângulo α_T é nulo. Esses valores de α_L e α_T são invertidos, naturalmente, para uma obliquidade do defeito de 90° (defeito transverso). Por exemplo, para uma obliquidade β de 45° , os ângulos α_L e α_T correspondem a deflexões de cerca de 12° , em um plano transversal e em um plano longitudinal (figura 2A e figura 2B), respectivamente.

[0037] De fato, para obliquidades inferiores a 30° , as variações do ângulo α_L são relativamente pequenas e podem ser desprezadas (variação de 3° de ângulo no máximo no início do decréscimo de α_L em função da obliquidade β). Em contrapartida, a introdução de um ângulo α_T permite detectar os defeitos oblíquos, com uma obliquidade inferior a 30° em valor absoluto.

[0038] Assim, quando se procura detectar defeitos oblíquos, é-se levado a fixar o valor de α_L a 17° e a fazer variar α_T no plano de corte longitudinal do tubo T, por exemplo em uma faixa de deflexão compreendida entre -10° e $+10^\circ$ para detectar as diferentes obliquidades possíveis, inclusive a obliquidade nula (defeitos longitudinais).

[0039] Para detectar defeitos oblíquos, a patente US 3 924 453 propõe um processo óptico (dito de divergente tórico) que consiste em fazer divergir, com o auxílio de uma lente, o feixe no plano longitudinal do tubo e, em contrapartida, em focalizar esse feixe no plano perpendicular (plano da figura 2B). Tem-se assim acesso a um campo de detecção, relativamente limitado, da ordem de 10° em torno de uma obliquidade visada ($-10^\circ < \alpha_T < +10^\circ$). Por outro lado, esse processo apresenta o inconveniente de uma sensibilidade variável de acordo com a obliquidade. É possível portanto detectar imperfeições que seriam aceitáveis e deixar passar defeitos inaceitáveis.

[0040] Um outro processo de acordo com a presente invenção consiste em formar um feixe defletido de um ângulo α_T com o auxílio de um sensor em forma de pequena barra que compreende uma grande número de elementos transdutores, enquanto que o ângulo α_L é fixado pela configuração da célula (preferencialmente próximo de 17°).

[0041] Fazendo-se referência à figura 7, um sensor C emite de fato um feixe F1 de ultra-sons, do qual a borda extrema forma, com a normal ao sensor C, um ângulo δ , dito ângulo de divergência (ou de abertura). A divergência δ é dada pela fórmula (2):

$$\text{sen } \delta = 1,22 \lambda / L,$$

na qual λ é o comprimento de ondas do feixe na água e L a largura de um elemento transdutor do sensor (figura 7). Em todo o caso, a divergência permanece superior ao ângulo α_T máximo (11°) para detectar obliquidades de $\beta = 30^\circ$. Essa divergência é vantajosamente utilizada para atingir os valores α_T desejados.

[0042] Por exemplo, para ultra-sons emitidos na água a 5 MHz com elementos Ci com largura de 1,4 mm de uma pequena barra linear, δ vale cerca de 15° .

[0043] Utilizando-se a lei de fase apropriada para a emissão dos elementos C_i de acordo com a fórmula (1) e a figura 3, é possível formar um feixe defletido de um ângulo α_T , enquanto o valor de α_T for inferior à divergência δ dada para a fórmula (2). É nesse caso possível ajustar “eletronicamente” α_T , modificando-se para isso a lei de fase, sem que seja necessário orientar o sensor nessa direção. Aplica-se então a mesma lei de fase aos sinais recebidos em retorno e soma-se os sinais recebidos em retorno assim defasados para obter uma resposta global maximizada.

[0044] Esse processo, considerado pela Requerente, permite visar uma obliquidade dada, com uma sensibilidade correta e conhecida, e ter uma resposta homogênea para as diferentes obliquidades possíveis dos defeitos do tubo. A tabela do anexo A1 contém os resultados dos testes preliminares de deflexão α_T do feixe tendo em vista detectar defeitos oblíquos (método de tiros múltiplos).

[0045] Mais precisamente, esses resultados têm como objeto a amplitude dos ecos obtidos em retorno para diferentes obliquidades de defeitos e diferentes valores de deflexão α_T do feixe e os valores de ganho da amplificação dos sinais. Os valores indicados em negrito correspondem aos valores de deflexão a utilizar para detectar uma obliquidade dada. É constatado que os resultados obtidos para os ganhos de amplificação são satisfatórios (23,5 dB para o entalhe a 25°).

[0046] É possível, por outro lado, compensar a variação de sensibilidade de detecção em função da deflexão utilizada e portanto realizar uma sensibilidade uniforme de detecção de defeitos qualquer que seja a obliquidade dos mesmos.

[0047] Em contrapartida, para cada obliquidade visada, é necessário efetuar um tiro agrupado dos elementos transdutores do sensor. Assim, se várias obliquidades de defeitos são procuradas, um mesmo número de tiros de ultra-sons deve ser previsto, visto que uma lei de retardo específica para a emissão e para a recepção deve ser prevista para cada obliquidade visada.

[0048] Fazendo-se referência à figura 5, um tiro ultra-sônico R1 é composto por um percurso na água T_e , seguido por um percurso no tubo T_m (percurso útil), esses percursos tendo tempos de duração proporcionais à espessura dos materiais atravessados. Por razões acústicas, a coluna de água C_e que banha a interface

entre o sensor C e o tubo T é tal que o tempo de percurso na água é superior ao tempo de percurso no metal do tubo.

[0049] Em especial, o tempo total de um tiro ultra-sônico T_t é dado pela relação:

$$T_t = T_e + T_m, \text{ com } T_e > T_m.$$

[0050] Na aplicação para a detecção de tiros múltiplos dos defeitos oblíquos, se n é o número total de obliquidades visadas, o tempo total T_t se torna:

$$T_t = n.(T_e + T_m).$$

[0051] Para ritmos de tiros industriais clássicos (próximos de 4 kHz para efetuar um simples controle dos defeitos longitudinais), só é possível detectar cerca de uma ou duas obliquidades, além dos defeitos longitudinais pela técnica dos tiros múltiplos no caso de tubos relativamente espessos (cerca de 36 mm de espessura), levando-se em consideração tempos de propagação dos feixes ultra-sônicos.

[0052] A detecção dos defeitos oblíquos, no sentido da presente invenção, se baseia em um princípio ainda diferente.

[0053] De acordo com a invenção, os elementos transdutores C_i de uma pequena barra linear disposta paralelamente ao eixo do tubo são comandados de modo que na emissão, todos os elementos são ativados ao mesmo tempo (sensivelmente sem defasagem). Dito de outro modo, a “deflexão física na emissão” é nula. Em contrapartida, uma deflexão “virtual” do feixe é construída nos sinais de retorno, deslocando-se para isso os instantes nos quais são somados os sinais recebidos, para cada elemento C_i .

[0054] Fazendo-se referência à figura 6, os elementos transdutores C_i do sensor são dispostos, no exemplo descrito, de acordo com uma pequena barra 3. Essa pequena barra é fixa na instalação de controle e sua direção geral é paralela ao eixo do tubo T a controlar. Essa pequena barra é inclinada de um ângulo α_L próximo de 17° em relação à normal ao tubo em um plano de corte transversal do tubo T (plano da figura 2B) e o tubo T é animado por um movimento helicoidal ao longo de seu eixo. Esse ângulo α_L de 17° corresponde ao ângulo ótimo α_L para a detecção de defeitos de pequena obliquidade (β inferior a cerca de 30°).

[0055] Os elementos C_i são excitados por um circuito de comando 1 para emitir

cada um deles uma onda ultra-sônica impulsional R_i de frequência ultra-sônica da ordem de 5 MHz. Preferencialmente, os elementos C_i são comandados de modo que eles emitam ao mesmo tempo, quer dizer sensivelmente sem defasagem. As ondas ultra-sônicas refletidas por um defeito e captadas em retorno por cada elemento C_i são convertidas em sinais elétricos $S_i(t)$. Esses sinais analógicos $S_i(t)$ são convertidos respectivamente por conversores analógicos/digitais 2, que funcionam por exemplo a 10 vezes a frequência ultra-sônica, ou seja 50 MHz.

[0056] Os conversores analógicos/digitais 2 são conectados a uma memória 4, para estocar em uma profundidade temporal de várias dezenas de microssegundos dados digitais que constituem amostras de sinal S_{ij} (por exemplo em amplitude), associados respectivamente a instantes t_j . Na notação S_{ij} , o índice i corresponde a um identificador de elemento C_i na pequena barra 3, enquanto que o índice j corresponde a um identificador de instante t_j .

[0057] Um módulo de cálculo na instalação seleciona na memória 4 uma pluralidade de amostras de sinais S_{ij} deslocados, por um lado em função do índice i dos elementos C_i e, por outro lado, em função dos instantes sucessivos t_j e soma as amostras de sinais deslocados. A soma pode ser feita por exemplo em amplitude instantânea, ou de qualquer outra maneira apropriada.

[0058] O enquadramento que leva a referência 5 na figura 6 ilustra, a título de exemplo, a maneira pela qual são efetuados os cálculos assim como a estrutura da memória 4. O órgão 5 pode ser considerado como um circuito ou componente de tratamento (ou ainda como um módulo de tratamento, sem que a palavra módulo implique uma individualização qualquer).

[0059] A memória 4 é preferencialmente ordenada em endereços associados a um índice de coluna i (que corresponde aos elementos C_i) e a um índice de linha j (que corresponde aos instantes sucessivos t_j).

[0060] O módulo de tratamento 5 calcula os retardos dt a aplicar entre colunas i sucessivas, de acordo com a fórmula (1), pela deflexão α_T :

$$dt = pe.\text{sen } \alpha_T / V$$

[0061] Os valores de retardo dt são da ordem de várias dezenas de

nanossegundos.

[0062] O módulo de tratamento seleciona em seguida, com uma precisão da ordem do nanossegundo, valores de S_{ij} , em um conjunto de colunas de elementos C_i , deslocadas temporalmente. Ele efetua em seguida a soma das amostras a cada instante t_j , para definir um sinal de resposta reconstituído para a deflexão α_T :

$$S_{ij}(\alpha_T) = S_{1,j} + S_{2,j+2dt} + S_{3,j+4dt} + \dots + S_{n,j+2(n-1)dt}$$

[0063] Uma tal soma permite recolocar em fase ao nível dos elementos transdutores sinais emitidos no mesmo momento que foram submetidos a percursos com tempos de percursos que diferem de dt na ida e de dt na volta entre dois elementos.

[0064] Depois de ter calculado o valor de dt de acordo com a fórmula (1), utiliza-se a soma efetuada acima para maximizar a energia do feixe na direção de deflexão α_T .

[0065] A tabela do anexo 2 compreende os resultados de testes de deflexão α_T do feixe para detectar defeitos oblíquos, pelo método de acordo com a presente invenção. Ela permite determinar os valores de dupla deflexão ($2\alpha_T$) que correspondem a defasagens de ($2dt$) na ida e na volta. Para diferentes obliquidades, o valor ($2\alpha_T$) a utilizar corresponde aos valores de amplitudes indicadas em negrito na tabela. Essa tabela fornece também os valores de ganho para os diferentes valores de α_T . Esses valores são aceitáveis mesmo para grandes valores de α_T .

[0066] No que precede, foi considerada uma diferença temporal dt constante entre os instantes sucessivos t_j , o que corresponde a uma lei de retardos linear NF (figura 8) com dt constante. Essa lei não leva no entanto em consideração uma focalização que é suscetível de ser aplicada ao feixe de ultra-sons no tubo. Para levar em consideração essa focalização na lei dos retardos, a defasagem dt decresce até um mínimo e depois cresce até o valor inicial. Fazendo-se referência à figura 8, as intensidades S_{ij} selecionadas formam, para um tempo t_j , na matriz 5 de colunas C_i e de linhas t_j , uma linha FOC encurvada.

[0067] Os meios de tratamento permitem calcular uma resposta reconstituída para diferentes ângulos de deflexão α_T .

[0068] O módulo 6 da instalação recupera os sinais de respostas reconstituídas $St(\alpha_T)$ para conformar um sinal diretamente utilizável por um dispositivo de visualização 7 (tela de visualização ou outro). O dispositivo 7 representa nesse caso um sinal dito "A-SCAN" que compreende impulsões de ecos ultra-sônicos reconstituídas em função do tempo e para uma ou várias deflexões escolhidas α_T .

[0069] De acordo com uma das vantagens que a presente invenção proporciona, o tempo total T_t para visar n obliquidades, com as notações precedentemente empregadas, é nesse caso dado por:

$$T_t = T_e + T_m + n.T_{calc},$$

[0070] T_{calc} sendo o tempo de cálculo que pode ser expresso em função de T_m , daí

$$T_t = T_e + n.G.T_m,$$

onde G é um coeficiente que representa a velocidade de tratamento pela cadeia que compreende os conversores analógicos/digitais, a memória 4, a seleção das intensidades no jogo de intensidades estocadas, etc. Assim, quando menor for G , maior é a velocidade de tratamento.

[0071] De acordo com uma das vantagens que a presente invenção proporciona, suprime-se assim o tempo de percurso na água para $(n-1)$ obliquidades,

[0072] Com os meios eletrônicos e informáticos atuais, G é sempre inferior a 1 e pode ser inferior a 0,5, com eletrônicas ultra-rápidas. Assim, as limitações não são mais acústicas e sim eletrônicas pois o fator limitante se torna, na presente invenção, o tempo de cálculo que os tratamentos acima necessitam. As limitações não são nesse caso mais físicas mas sim evolutivas com os progressos na rapidez dos circuitos eletrônicos.

[0073] A figura 9 representa, para uma espessura de tubo dada, os tempos de duração totais T_t para a detecção dos defeitos oblíquos, em função do número de obliquidades controladas n . esse gráfico é estabelecido utilizando-se para isso a técnica da arte anterior com desmultiplicação dos tiros (defasagem entre os elementos C_i , a partir da emissão, para cada deflexão α_T , o que corresponde à curva em traços interrompidos longos e curtos). Também é utilizada a técnica de acordo

com a invenção com um fator G de 1 (curva em tração cheio) relativa a uma eletrônica padrão e com um fator G de 0,5 (curva em traço pontilhado) relativa a uma eletrônica ultra-rápida.

[0074] É notado assim que quanto menor for o fator G, mais curto é o tempo necessário para visar várias obliquidades, o que permite aumentar a velocidade de controle dos tubos, em especial em uma cadeia de controle de tubos na saída de usinagem.

[0075] O dispositivo sensor tem um comprimento adaptado ao passo de controle da instalação, ou seja um comprimento da ordem de 100 mm no exemplo. Ora os defeitos a detectar têm um comprimento que pode ser nitidamente menor, por exemplo de 20 mm. Um defeito com comprimento de 100 mm, ou seja com comprimento equivalente à pequena barra (3) cria um sinal em cada um dos elementos da pequena barra e portanto um sinal reconstituído intenso, por soma. Em contrapartida um defeito de 10 mm cria um sinal em 20% dos elementos da pequena barra e portanto um sinal reconstituído 5 vezes menos intenso do que o sinal reconstituído para um defeito de 100 mm.

[0076] Uma imperfeição de 100 mm de comprimento não redibitória poderá devido a isso ser detectada e um defeito de 20 mm pouco ou não detectado.

[0077] Para compensar esse inconveniente, é utilizada uma solução que consiste em efetuar o tratamento só em alguns elementos da pequena barra, para um mesmo tiro de todos os elementos da pequena barra. Por exemplo, é possível efetuar o tratamento em uma ordenação de 8 elementos de uma pequena barra de 64 elementos, e recomeçar o tratamento em outras ordenações de 8 elementos da pequena barra. O grupo dos 8 elementos é chamado de “sensor virtual”.

[0078] Cada ordenação dá bem, depois de soma dos sinais S_{ij} nos 8 elementos, um sinal de resposta reconstituída elementar para a deflexão α_T . É possível reter como resposta reconstituída global, o sinal reconstituído elementar dentre os sinais reconstituídos das diversas ordenações, que apresenta uma amplitude de pico máxima. Cada ordenação de elementos de “sensor virtual” se deduz da precedente por translação de um passo π , dito passo de imbricação.

[0079] Seja N_T o número total de elementos da pequena barra e N_v o número de elementos transdutores do sensor virtual. Quando o passo de imbricação está compreendido entre 1 e N_v , permanecendo estritamente inferior a N_v , há sobreposição ou imbricação das ordenações do sensor virtual. Quando o passo de imbricação π_i é igual a N_v , as ordenações do sensor são dispostas lado a lado. Quando o passo de imbricação é superior a N_v e inferior a N_T , as diferentes ordenações não realizam uma cobertura total dos elementos do sensor.

[0080] Efetua-se um número máximo de vezes o tratamento dos sinais nos N_v elementos do sensor virtual. O número de ordenações possíveis é dado pela fórmula (3):

$$N = \text{truncatura} \{ (N_T - N_v) / \pi_i \} + 1$$

[0081] Por exemplo,

- se $N_T = 64$, $N_v = 8$ e $\pi_i = 1$, então $N = 57$. Nesse caso, duas ordenações sucessivas têm 7 elementos em comum.

- se $N_T = 64$, $N_v = 8$ e $\pi_i = 8$, então $N = 57$. Nesse caso, duas ordenações sucessivas não têm nenhum elemento comum.

- se $N_T = 64$, $N_v = 8$ e $\pi_i = 4$, então $N = 57$. Nesse caso, duas ordenações sucessivas têm 4 elementos em comum, o que corresponde a um recobrimento de 50% das ordenações sucessivas.

[0082] Depois de ter retido como resposta reconstituída global das N ordenações, aquela que apresenta uma amplitude máxima de pico para a deflexão α_T procurada, é possível do mesmo modo efetuar os cálculos para outros valores da deflexão α_T .

[0083] Em variante, é possível determinar primeiro os diferentes sinais de resposta reconstituída elementar para diferentes ângulos α_T e uma ordenação de sensor virtual e depois efetuar os mesmos cálculos para as outras ordenações.

[0084] Será determinada, em todos os casos, a resposta reconstituída global para uma deflexão dada, retendo-se para isso a resposta elementar que fornece, para essa deflexão, uma amplitude de pico máxima.

[0085] Quando são tratadas as ordenações de sensores virtuais que estão

situados nas extremidades da pequena barra, o sinal de resposta é perturbado pela ausência de elementos de um lado e de outro do sensor virtual. É por essa razão que, é preferível eliminar ($N_v/2$) elementos em cada extremidade da pequena barra, das diversas ordenações de sensor virtual.

[0086] O número máximo de ordenações se reduz então a:

$$N' = \text{truncatura} \{ (N_T - 2 N_v) / \pi \} + 1$$

[0087] Como o mostra a tabela do anexo A2, o sinal reconstituído global é amplificado de maneira diferente para cada valor de α_T , a fim de que o rigor do controle seja equivalente para os diferentes valores de α_T .

[0088] Em variante, o ganho de amplificação poderá ser uniforme, enquanto que o limite de desencadeamento do defeito está adaptado a cada valor α_T .

[0089] A Requerente efetuou testes “estáticos” de controle de defeitos oblíquos, em um tubo de aço, de 96 mm de diâmetro e de 12 mm de espessura. Entalhes de cerca de 5% da espessura do tubo foram formados para simular defeitos oblíquos. A obliquidade dos entalhes está compreendida entre 0° e 25° e o comprimento dos mesmos no sentido longitudinal é de cerca de 12 mm.

[0090] Os sensores utilizados são comercializados pela sociedade Imasonic sob a denominação Imasonic (marca depositada). O passo entre os elementos é de 1,5 mm (com a,4 mm de largura L para um elemento). O dispositivo compreende no total 32 elementos, com uma focalização mecânica de 50 mm na água. Em um exemplo de célula utilizada, a deflexão α_L pode ser fixada mecanicamente a 17° . A eletrônica empregada é uma eletrônica de marca RDTech de tipo Focus 32/128 capaz de gerir 32 elementos em paralelo.

[0091] Levando-se em consideração a geometria dos elementos transdutores, a divergência δ dos mesmos é da ordem de 15° , e é absolutamente adaptada aos valores de deflexão a empregar para detectar defeitos oblíquos para uma obliquidade compreendida entre -25° e $+25^\circ$.

[0092] Os testes estáticos foram efetuados a partir de um sensor virtual de 8 elementos para analisar o sinal em retorno. O defeito é disposto perpendicularmente ao sensor virtual. Um tal sensor virtual tem um comprimento de escuta de cerca de 9

mm, bem adaptado ao comprimento de defeito estudado (12 mm).

[0093] Fazendo-se referência à figura 10, a atenuação da resposta de um entalhe em função de sua obliquidade (0° , 5° ou 10°) é menor do que aquela obtida com sensores clássicos de um só elemento com largura próxima de 10 mm. Tipicamente, para um sensor clássico, a atenuação é de pelo menos 5 dB para um entalhe de 5° , enquanto que os sensores utilizados aqui são submetidos a uma atenuação inferior a 1 dB, para a mesma obliquidade de entalhe.

[0094] No entanto, para obliquidades β superiores a $+20^\circ$ ou inferiores a -20° (figura 11), a Requerente constatou uma sensibilidade um pouco menor, nos sinais de resposta reconstituída (instalação de acordo com a invenção), em relação ao caso no qual seria utilizada uma instalação de tiros múltiplos, com o mesmo tipo de pequena barra, e com a cada vez um tiro de acordo com a obliquidade preferencial procurada, o que dá um “trajeto emissão-recepção adaptado”.

[0095] De fato, na instalação de acordo com a invenção, não há envio para o defeito de um feixe defletido a priori (na emissão) do ângulo α preferencial, como isso pode ser feito em uma instalação de tiros múltiplos; a invenção procede somente por recolocação em fase dos sinais recebidos, na chegada dos mesmos nos elementos transdutores. Esses sinais recebidos compreendem a componente refletida (exatamente, “retro-difundida”) pelo defeito; e é a recolocação em fase que permite reconstituir a resposta elementar, e depois a resposta global, para uma deflexão α_T dada.

[0096] Mas essa recolocação em fase na recepção tem como objeto os sinais que não foram objeto de uma colocação em fase correspondente na emissão. Disso resulta que ela tem como objeto os sinais recebidos que não foram submetidos exatamente ao “trajeto emissão-recepção adaptado”. Em regra geral, os testes conduzidos pela Requerente mostraram que, nas condições de operação habituais, a atenuação relativa (de um elemento sensor para o outro) que provém dessa diferença de trajeto era suficientemente pequena para permanecer insignificante, pelo menos dentro de um certo intervalo de obliquidades.

[0097] O ganho a executar na instalação de acordo com a invenção no entanto

não é redibitório, e além disso o ganho de produtividade de controla para várias obliquidades contrabalança amplamente o inconveniente na menor sensibilidade.

[0098] As figuras 10A e 10B mostram um registro A-SCAN de um mesmo defeito de obliquidade de 20° , respectivamente em uma instalação de tiros múltiplos e em uma instalação de tratamento dito de “pós-aquisição” de acordo com a invenção. As figuras 10A e 10B mostram que os dois tipos de instalação permitem igualmente detectar o defeito oblíquo a 20° ; nessas figuras, o sinal EI designa o eco de interface água/aço e o sinal ED designa o eco de defeito. O segmento de reta com amplitude de 30% corresponde ao critério de defeito (porta temporal e intensidade).

[0099] A Requerente também efetuou testes dinâmicos para determinar notadamente as zonas úteis de detecção dos sensores virtuais. Esses testes dinâmicos foram efetuados nos mesmos tubos que precedentemente, mas com um entalhe de 20 mm de comprimento e uma obliquidade $\beta = 0^\circ$ para determinar os furos de detecção. Assim a obliquidade do defeito não influi na medição. Os testes foram realizados a partir do mesmo material que para os testes estáticos e de uma célula mecânica de instalação do tipo com ajuste do ângulo α_L . O ângulo α_L foi otimizado no sinal proveniente de um defeito longitudinal externo ($\beta = 0^\circ$). A Requerente também utilizou uma porta Sofranel 5052GPD com uma faixa de frequência 4-12 MHz.

[00100] As figuras 14 e 15 mostram a resposta do entalhe de 20 mm em função das posições relativas do entalhe e da pequena barra de 32 elementos com comprimento total de 48 mm, para duas séries de ordenações de sensor virtual composto por 8 elementos.

[00101] Para um passo de imbricação $\pi = 8$ elementos, as ordenações sucessivas imediatas não se recobrem e não se sobrepõem, como na configuração clássica com apalpadores de diâmetro de 15 mm.

[00102] A figura 14 mostra uma zona útil de sensor a -2 dB de 31 mm, ou seja 65% da pequena barra; os furos de detecção são inferiores a 1,5 dB e têm um comprimento suficientemente pequeno para não prejudicar a detecção de entalhes com 25 mm de comprimento.

[00103] Para um passo de imbricação $\pi_i = 4$ elementos, as ordenações sucessivas imediatas se recobrem ou se sobrepõem a 50%. Não são mais constatados furos de detecção, mas o número de ordenações e os tempos de cálculo também são duplicados.

[00104] Os testes estáticos e dinâmicos efetuados mostram que a instalação com tratamento pós-aquisição de acordo com a invenção permite detectar defeitos de obliquidade compreendidos entre -20° e 20° .

[00105] Para atingir valores de obliquidade superiores a 20° , é possível utilizar a instalação e a metodologia com tratamento pós-aquisição realizando-se para isso uma defasagem no tiro único de todos os elementos do dispositivo sensor de maneira a formar um feixe que possui uma “deflexão física na emissão” não nula, por exemplo de 5° .

[00106] O tratamento dos sinais captados em retorno é semelhante ao tratamento descrito acima, que compreende uma memorização das amostras S_{ij} , uma seleção dos valores S_{ij} deslocados de acordo com uma lei de retardo e uma soma desses valores deslocados para cada cálculo de resposta reconstituída sob uma deflexão α_T . O sinal retornado pelo defeito é nesse caso menos atenuado para as grandes deflexões α_T e se pode explorar do melhor modo possível as capacidades de divergência δ dos elementos C_i da pequena barra.

[00107] No entanto esse método apresenta certos inconvenientes. De fato, a otimização da deflexão α_L não é mãos efetuada em um defeito reto ($\beta = 0^\circ$) mas sim em um defeito de obliquidade de 20° . Além disso, esse método não permite detectar as grandes obliquidades positivas e negativas e o deslocamento das ordenações de sensores virtuais pode ser tornado mais complexo pela utilização de tiros com defasagem na emissão.

[00108] A figura 12 representa um outro modo de realização de uma instalação de acordo com a invenção destinada a controlar os defeitos longitudinais em tubos. De acordo com essa figura, o dispositivo sensor é constituído por uma pequena barra linear em arco de círculo 13 e os diferentes elementos do sensor são dispostos ao longo do arco de círculo. Os tubos T a controlar são deslocados ao longo de seu

eixo e o plano da pequena barra é perpendicular ao eixo dos tubos. Efetua-se um tiro no conjunto dos N_T elementos do sensor, com ou sem defasagem entre elementos. Efetua-se o mesmo tratamento pós-aquisição que o tratamento pós-aquisição descrito acima para determinar uma resposta reconstituída para uma deflexão α_L dada, e para diferentes sensores virtuais na pequena barra, de maneira a realizar por exemplo uma rotação eletrônica do feixe em torno do tubo, como indicado mais acima.

[00109] A figura 13 representa mais um outro modo de realização de acordo com a invenção. Nessa figura, o dispositivo sensor é disposto em uma superfície cilíndrica e é constituído por um mosaico ou por uma rede de elementos dispostos em fileiras paralelas entre si, por exemplo 13-1,...13-i,...13-n, como ilustrado, No exemplo, cada fileira é uma geratriz da superfície cilíndrica do sensor. Os tubos a controlar são deslocados ao longo de seu eixo coaxialmente à superfície cilíndrica do sensor.

[00110] Nas figuras 12 e 13, o circuito de comando (ou circuito a montante, para a emissão) é anotado 10, e o conjunto de recepção (ou circuito a jusante) é anotado 13.

[00111] O circuito a montante 10 é ajustado para produzir um mesmo tiro de todos os elementos transdutores, com ou sem defasagem entre elementos próximos. Nesse caso da figura 13, por exemplo, é possível realizar uma defasagem entre fileiras consecutivas de modo a formar um feixe inclinado de maneira ótima no plano de seção reta dos tubos (deflexão α_L próxima de 17°), mas sem defasagem entre elementos de uma mesma fileira, e realizar uma rotação eletrônica do feixe em torno do tubo utilizando para isso diferentes sensores virtuais.

[00112] Efetua-se um tratamento pós-aquisição nos sinais em retorno memorizados, de acordo com a invenção, para reconstituir um sinal de resposta para ângulos α_L otimizados (cerca de 17°) e ângulos α_{LT} compreendidos entre -5° e $+5^\circ$.

[00113] Uma tal instalação com sensor mosaico permite controlar várias obliquidades de defeitos com ritmo acelerado (de -20° a 20°) com um avanço retilíneo dos tubos na instalação contrariamente às instalações descritas

precedentemente que utilizam um avanço helicoidal para detectar defeitos oblíquos.

[00114] É possível também escolher nessa instalação leis para defletir, de maneira variável mas escolhida, o feixe em retorno de acordo com uma seção reta dos tubos ou de acordo com um plano longitudinal dos tubos para otimizar os ângulos α_T e α_L (por exemplo $\alpha_T = 17^\circ$ com $\alpha_T = 0^\circ$, $\alpha_T = 13^\circ$ com $\alpha_T = 11$).

[00115] É possível utilizar sensores virtuais bidimensionais nessa instalação. Nesse caso, os sensores são deslocados de um passo de imbricação π que apresenta uma componente axial e uma componente circunferencial.

[00116] As instalações descritas têm em comum sua capacidade para aumentar o ritmo de controle efetuando para isso um só tratamento pós-aquisição dos sinais em retorno. É possível prever simplificações dos exemplos descritos, assim como combinações das características dos exemplos descritos, notadamente em função dos tipos de controle que se deseja efetuar, juntos ou separadamente.

[00117] Anexos

A1

Deflexão α_1 (°)	Ganho (dB)	Amplitude do eco no entalhe de acordo com a obliquidade (%)						
		0	5	10	15	20	25	45
0	14,4	90	50	10				
1	15,4	70	90	40	15			
3	15,8	10	55	90	55	20		
4	16,8		20	75	90	30	10	
5	20			55	>100	90	30	
7	23,5			10	40	83	90	

A2

Dupla Deflexão $2 \alpha_T (^{\circ})$	Ganho (dB)	Amplitude do eco no entalhe de acordo com a obliquidade (%)						
		0	5	10	15	20	25	45
0	11	90	53	10				
3	12	20	90	20				
6	15,5		20	90	10			
8	20,5	25	20	35	90	10		
11	32,2	80	50	35	50	90		
16	40	>100	>100	90	65	65	70	

REIVINDICAÇÕES

1. Instalação de controle não destrutivo para produtos metalúrgicos, em especial com acoplamento indireto, que compreende:

- um dispositivo sensor ultra-sônico (3) que compreende um conjunto de elementos transdutores ultra-sônicos (C_i), acessíveis seletivamente,
- um circuito a montante (1), próprio para excitar seletivamente os elementos transdutores em instantes escolhidos,
- um circuito a jusante (2, 4), próprio para recolher os sinais captados em retorno pelos elementos transdutores, e
- um componente de tratamento (5) próprio para analisar os sinais captados, como resposta global (7) de um produto metalúrgico a uma excitação ultra-sônica.

caracterizada pelo fato de que o circuito a montante (1) é ajustado para operar por tiros, associados a uma mesma lei temporal de excitação dos elementos transdutores, pelo fato de que o circuito a jusante (2, 4) compreende uma memória (4), e é ajustado para memorizar amostras dos sinais captados (S_{ij}) por cada elemento transdutor, em correspondência de cada tiro, em uma profundidade temporal escolhida, e pelo fato de que o componente de tratamento é apropriado para operar junto com essa memória a fim:

- para cada tiro, de ler e somar (5) repetitivamente grupos de amostras (S_{ij}) que correspondem a diferentes elementos transdutores (C_i), assim como a instantes (t_j) deslocados de um elemento para o outro, e isso de acordo com uma lei temporal de tratamento escolhida, própria a cada repetição, o que permite calcular para cada tiro uma pluralidade de respostas reconstituídas (S_T, α_T) das quais cada uma delas corresponderia a uma deflexão α_T na emissão, e

- de analisar a resposta global constituída pelo conjunto dessas respostas reconstituídas.

em que os elementos transdutores ultra-sônicos (C_i) têm uma divergência (δ) pelo menos igual ao ângulo de deflexão máximo, para as diferentes respostas reconstituídas.

2. Instalação de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de que o circuito a jusante compreende um bloco de digitalização (2) dos sinais captados por cada um dos elementos (Ci) do dispositivo sensor (3).

3. Instalação de acordo com a reivindicação 2, caracterizada pelo fato de que a memória (4) é ajustada para operar junto com o bloco de digitalização (2) tendo em vista estocar, em função de instantes sucessivos, por um lado, e de elementos transdutores ativos, por outro lado, as amostras dos sinais (Sij) captados por cada elemento transdutor.

4. Instalação de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, caracterizada pelo fato de que o componente de tratamento compreende meios de cálculo (5) capazes de definir repartições de retardos a aplicar respectivamente aos sinais captados, para obter, para cada repartição, uma resposta reconstituída que corresponderia a um tiro de acordo com uma deflexão de feixe escolhida (α_T).

5. Instalação de acordo com a reivindicação 3 ou 4, caracterizada pelo fato de que o componente de tratamento compreende meios de seleção que permitem que ele tenha acesso à memória em função dos tempos associados às amostras, para cada elemento transdutor.

6. Instalação de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 5, caracterizada pelo fato de que o circuito a montante (1) é munido de uma lei temporal de excitação que corresponde a uma excitação dos elementos transdutores (Ci), sensivelmente sem defasagem entre eles.

7. Instalação de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 6, caracterizada pelo fato de que o circuito a montante (1) é munido de uma lei temporal de excitação que corresponde a uma excitação dos elementos transdutores (Ci), com, entre eles, defasagens que definem um feixe defletido na emissão, e pelo fato de que, em presença dessa lei temporal de excitação, o componente de tratamento (5) é ajustado para definir repartições de retardos a aplicar aos sinais captados, levando para isso em consideração defasagens entre elementos transdutores na excitação, de modo que as respostas reconstituídas correspondem cada uma delas a uma deflexão α_T centrada em torno do ângulo de deflexão física

do feixe na emissão.

8. Instalação de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 7, caracterizada pelo fato de que cada grupo de amostras (S_{ij}) somadas corresponde a um subconjunto escolhido de elementos transdutores, dito sensor virtual.

9. Instalação de acordo com a reivindicação 8, caracterizada pelo fato de que o componente de tratamento (5) é ajustado para calcular várias respostas reconstituídas elementares do produto ao mesmo tiro sob a mesma deflexão α_T , para diferentes subconjuntos do dispositivo sensor.

10. Instalação de acordo com a reivindicação 9, caracterizada pelo fato de que o componente de tratamento (5) é ajustado para calcular a resposta reconstituída sob a forma de uma função das respostas reconstituídas elementares para uma mesma deflexão α_T e para diferentes subconjuntos do dispositivo sensor.

11. Instalação de acordo com a reivindicação 10, caracterizada pelo fato de que a resposta reconstituída do produto ao tiro sob uma deflexão α_T é a resposta elementar que apresenta uma amplitude de pico máxima.

12. Instalação de acordo com qualquer uma das reivindicações 8 a 11, caracterizada pelo fato de que o componente de tratamento (5) é ajustado para calcular respostas reconstituídas para diferentes deflexões α_T , com diferentes subconjuntos do dispositivo sensor.

13. Instalação de acordo com qualquer uma das reivindicações 8 a 12, caracterizada pelo fato de que os diferentes subconjuntos do dispositivo sensor, para calcular uma resposta reconstituída do produto ao tiro sob uma deflexão α_T compreendem sensivelmente um mesmo número (N_v) de elementos transdutores.

14. Instalação de acordo com a reivindicação 13, caracterizada pelo fato de que os subconjuntos do dispositivo sensor são escolhidos nesse último excluindo-se para isso a cada ponta uma faixa de proteção da qual o número de elementos transdutores é próximo da metade ($N_v/2$) do número de elementos transdutores de um subconjunto.

15. Instalação de acordo com a reivindicação 13 ou 14, caracterizada pelo fato de que dois subconjuntos consecutivos se deduzem um do outro por uma

translação de um passo π , dito passo de imbricação.

16. Instalação de acordo com a reivindicação 15, caracterizada pelo fato de que dois subconjuntos consecutivos compreendem elementos comuns.

17. Instalação de acordo com qualquer uma das reivindicações 8 a 16, caracterizada pelo fato de que o número escolhido de subconjuntos do dispositivo sensor para calcular uma resposta reconstituída sob uma deflexão α_T corresponde sensivelmente ao número máximo de subconjuntos possíveis para o passo de imbricação π escolhido e para o número N_v de elementos escolhidos entre $(N_T - N_v)$ elementos.

18. Instalação de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 17, destinada ao controle de produtos metalúrgicos do tipo tubos feitos de aço (T), caracterizada pelo fato de que ela compreende meios de acionamento dos tubos de acordo com um movimento helicoidal em torno do eixo dos tubos e pelo fato de que o dispositivo sensor ultra-sônico é realizado sob a forma de uma pequena barra linear (3) de elementos transdutores, disposta sensivelmente paralelamente ao eixo do tubo (T) é ajustada para que o feixe ultra-sônico na emissão possua uma deflexão escolhida (α_L) em um plano de seção transversal do tubo (T), o que permite detectar notadamente defeitos oblíquos.

19. Instalação de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 17, destinada ao controle de produtos metalúrgicos do tipo tubos feitos de aço, caracterizada pelo fato de que ela compreende meios de acionamento dos tubos (T) de acordo com um movimento retilíneo ao longo do eixo dos mesmos, e pelo fato de que o dispositivo sensor ultra-sônico é realizado sob a forma de uma pequena barra linear (3) de elementos transdutores, disposta sensivelmente paralelamente ao eixo do tubo (T) é ajustada para que o feixe ultra-sônico na emissão possua uma deflexão escolhida (α_L) em um plano de seção transversal do tubo (T), a pequena barra sendo colocada em rotação em torno do tubo, o que permite detectar notadamente defeitos oblíquos.

20. Instalação de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 17, destinada ao controle de produtos metalúrgicos do tipo tubos feitos de aço,

caracterizada pelo fato de que ela compreende meios de acionamento dos tubos (T) de acordo com um movimento retilíneo ao longo do eixo dos mesmos, e pelo fato de que o dispositivo sensor ultra-sônico é realizado sob a forma de uma pequena barra linear (3) de elementos transdutores, sensivelmente em arco de círculo, disposta em torno de um tubo (T), o que permite detectar notadamente defeitos longitudinais.

21. Instalação de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 17, caracterizada pelo fato de que ela compreende meios de acionamento dos tubos (T) de acordo com um movimento retilíneo ao longo do eixo dos mesmos, e pelo fato de que o dispositivo sensor ultra-sônico compreende uma rede de elementos transdutores (13) dispostos sensivelmente de acordo com uma superfície cilíndrica coaxial a um tubo (T), em várias fileiras de elementos paralelas entre si e ao eixo do tubo (T), e pelo fato de que o circuito a jusante e seu componente de tratamento são próprios para determinar repartições de retardos nos sinais captados em retorno pelos elementos de um subconjunto ou do conjunto da rede, o que permite detectar notadamente defeitos oblíquos.

22. Instalação de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 21, caracterizada pelo fato de que o componente de tratamento é incorporado ao circuito a jusante.

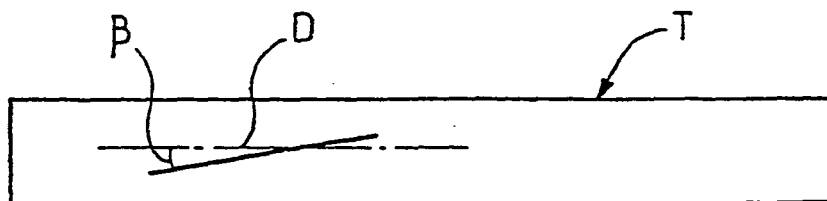


FIG. 1

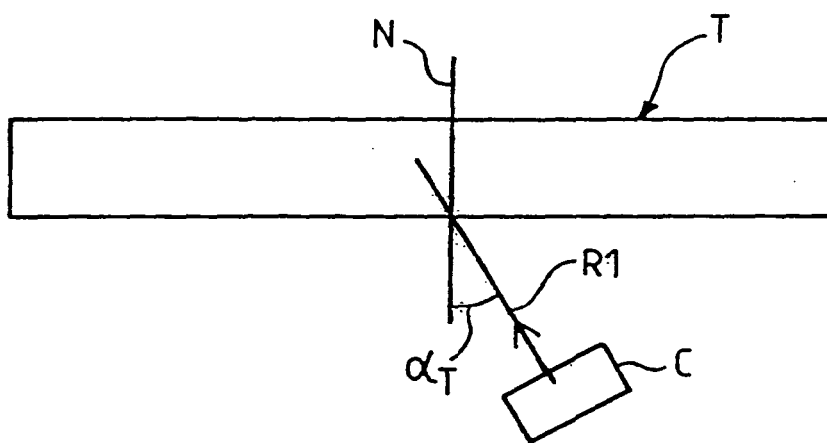


FIG. 2A

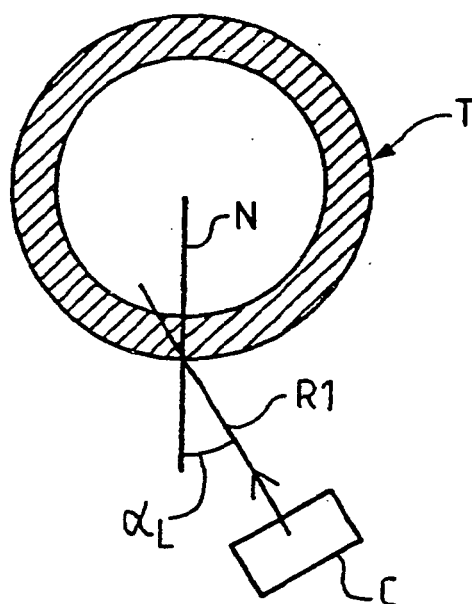


FIG. 2B

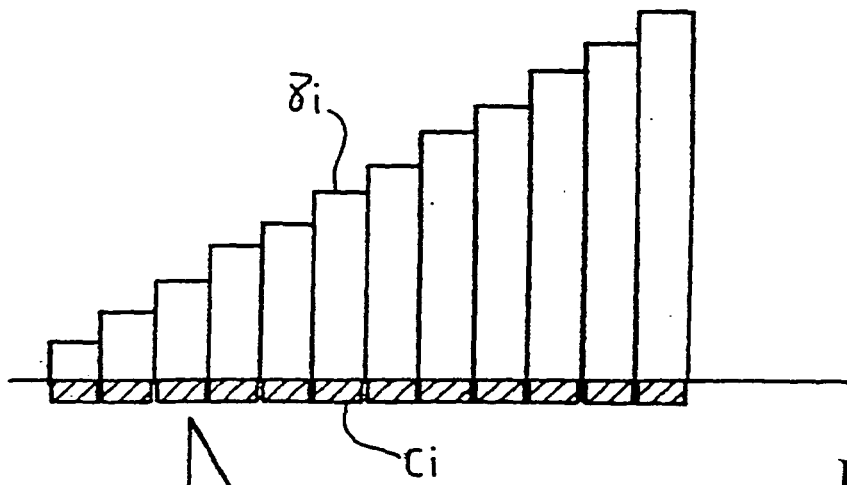


FIG. 3

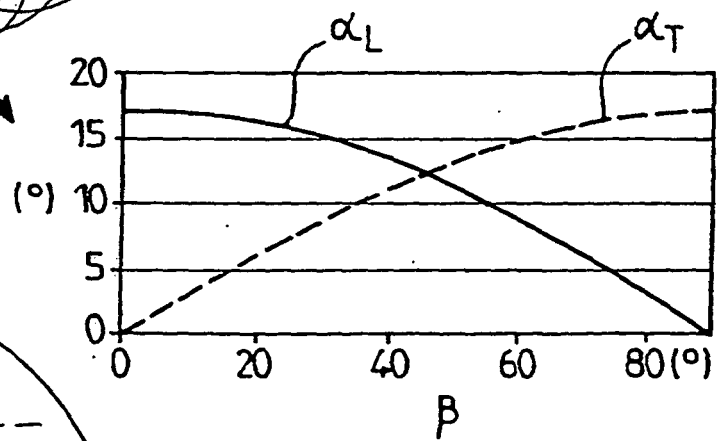
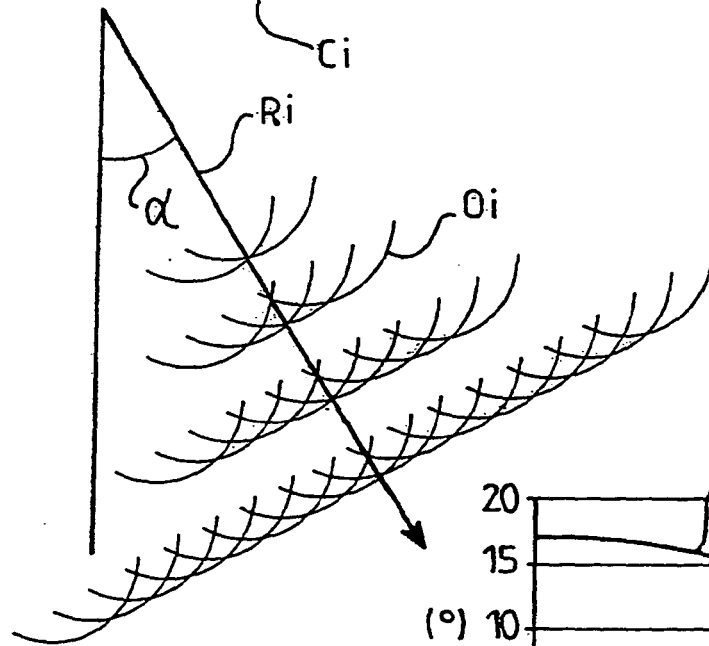


FIG. 4

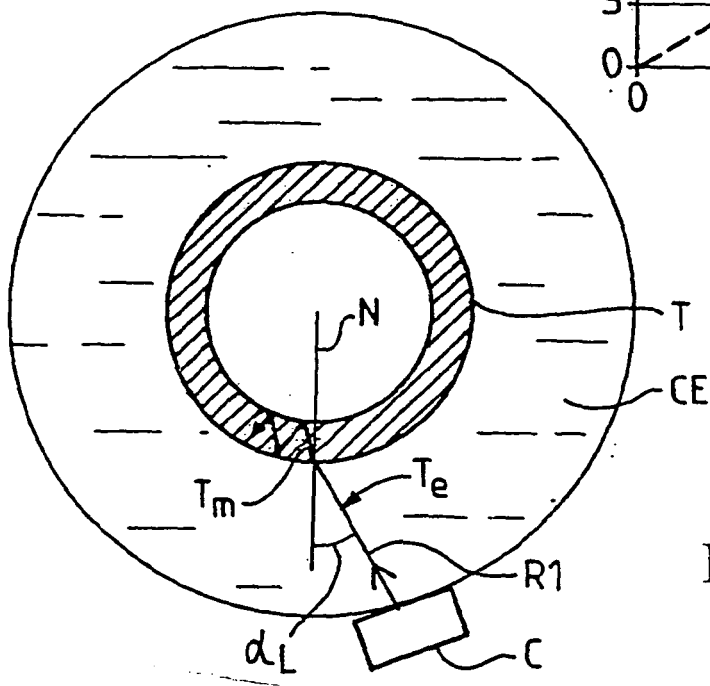


FIG. 5

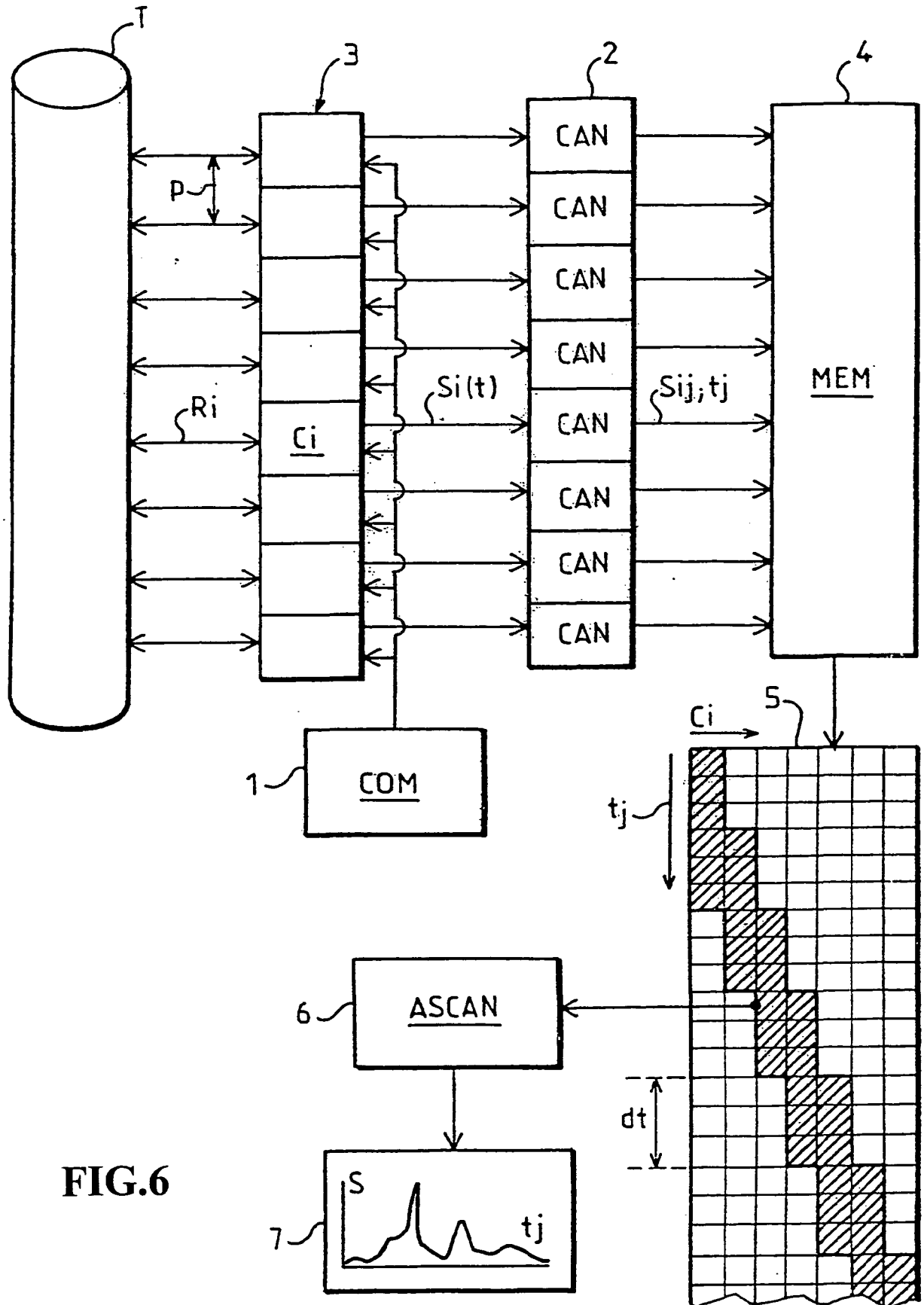


FIG. 6

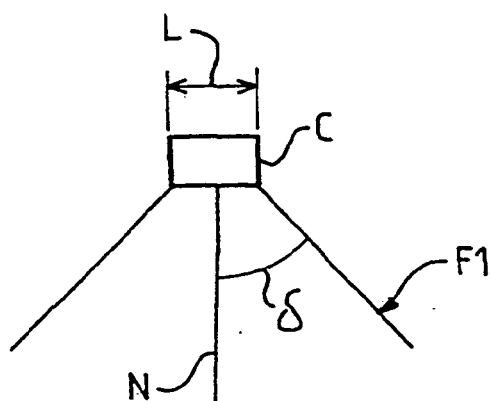


FIG.7

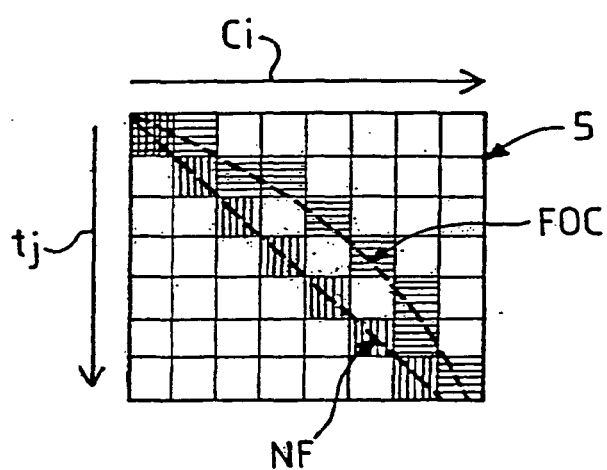


FIG.8

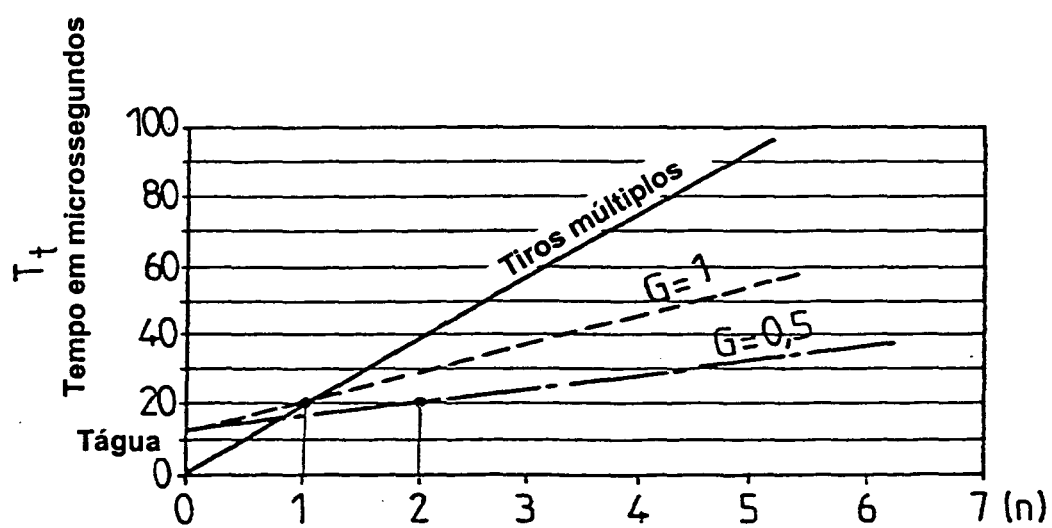


FIG.9

$\beta = 0^\circ$ $\beta = 5^\circ$ $\beta = 10^\circ$ 

FIG.10

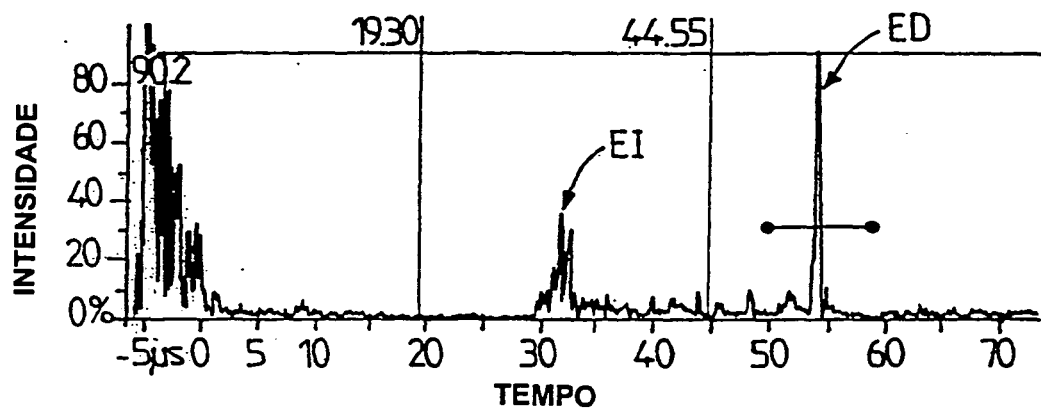


FIG.10A

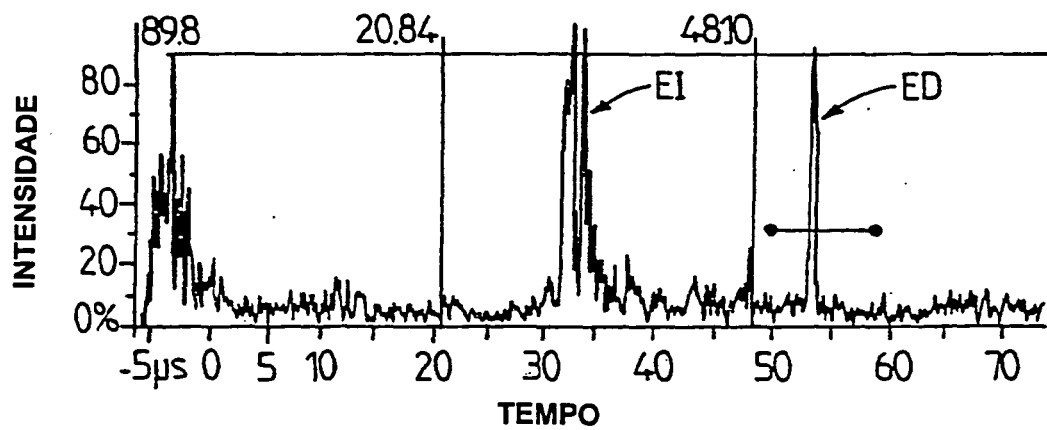


FIG.10B

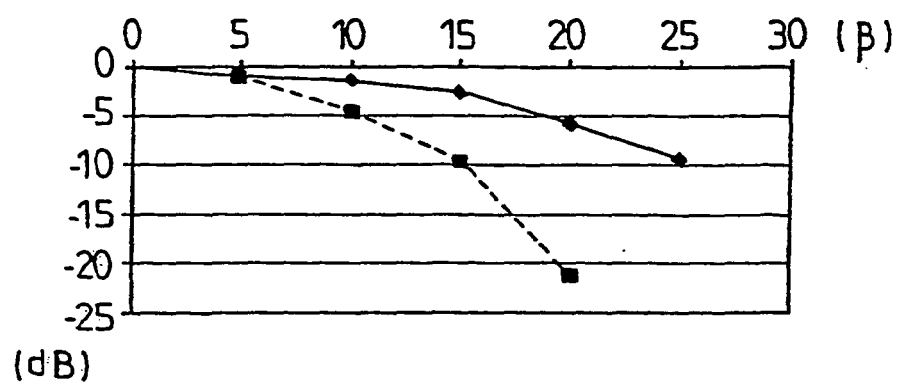


FIG.11

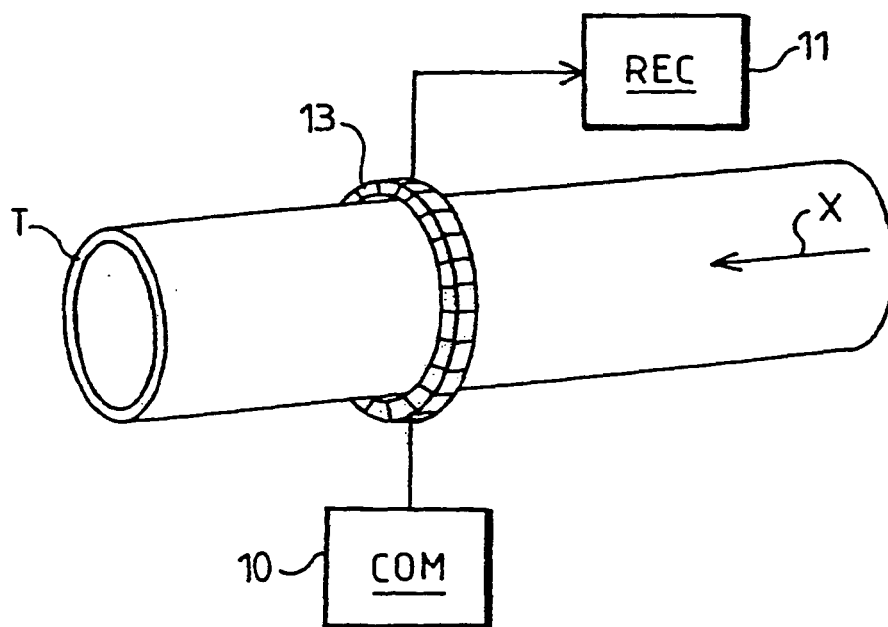


FIG.12

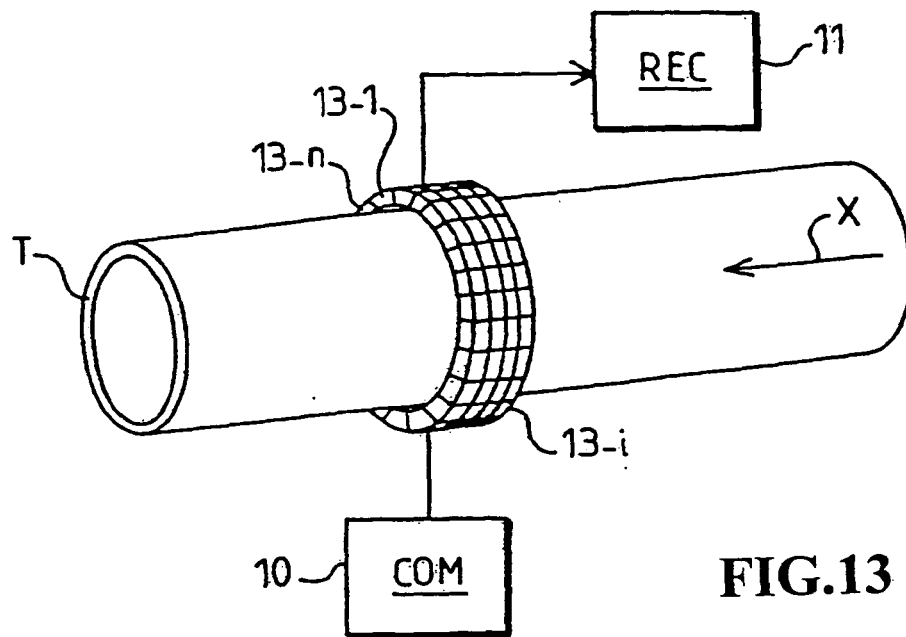


FIG.13

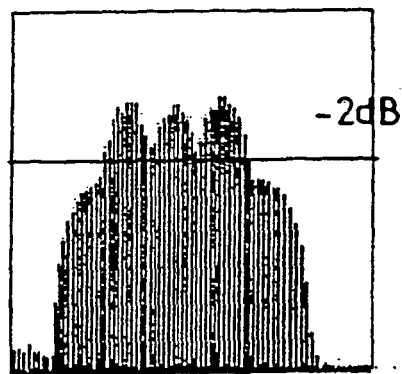


FIG.14

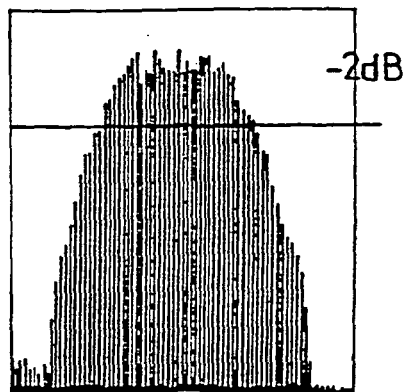


FIG.15

RESUMO**“INSTALAÇÃO DE CONTROLE NÃO DESTRUTIVO PARA PRODUTOS METALÚRGICOS”**

Em uma instalação de controle não destrutivo para tubo metálico (T) um sensor ultra-sônico (3) compreende elementos transdutores (C_i) que podem ser excitados cada um deles em instantes escolhidos. Um circuito a jusante (2, 4, 5), de tratamento dos sinais captados, analisa uma resposta global (7) do tubo a uma excitação ultra-sônica. De acordo com a invenção, os elementos transdutores só são excitados para produzir uma única emissão e o circuito a jusante recupera (4) as amostras (S_{ij}) dos sinais captados cada um deles por um elemento transdutor (C_i), para associar a eles (5) instantes sucessivos (t_j) respectivamente deslocados, a fim de calcular várias respostas globais do tubo a uma única emissão, e isso, modificando-se os deslocamentos entre instantes sucessivos.