

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété
Intellectuelle
Bureau international



(43) Date de la publication internationale
5 janvier 2006 (05.01.2006)

PCT

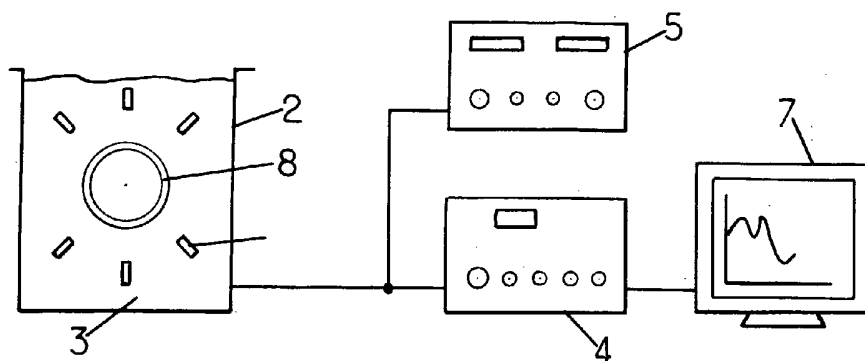
(10) Numéro de publication internationale
WO 2006/000668 A1

- (51) Classification internationale des brevets⁷ : **G01B 7/12**, 7/287, 17/02, 17/06, G01N 29/10
- (21) Numéro de la demande internationale : PCT/FR2005/001257
- (22) Date de dépôt international : 19 mai 2005 (19.05.2005)
- (25) Langue de dépôt : français
- (26) Langue de publication : français
- (30) Données relatives à la priorité :
0405694 26 mai 2004 (26.05.2004) FR
- (71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : **SOCOMATE INTERNATIONAL** [FR/FR]; Zone Industrielle, 8, rue des Abbesses, F-77580 Crecy La Chapelle (FR).
- (72) Inventeur; et
- (75) Inventeur/Déposant (pour US seulement) : **COPERET, Philippe** [FR/FR]; 12, place Jean Bureau, F-77100 Meaux (FR).
- (74) Mandataires : **BURBAUD, Eric** etc.; Cabinet Plasseraud, 65/67, rue de la Victoire, F-75440 Paris cedex 09 (FR).
- (81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.
- (84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: DEVICE AND METHOD FOR THE DIMENSIONAL CHARACTERISATION OF A CYLINDRICAL OBJECT

(54) Titre : DISPOSITIF ET PROCÉDÉ DE CARACTÉRISATION DIMENSIONNELLE D'UN OBJET CYLINDRIQUE.



(57) Abstract: The invention relates to a device for the dimensional characterisation of an object (8) comprising a cylindrical surface which is symmetrical about a longitudinal axle. Said device comprises at least six probes (Si) used to emit six pulsed waves, each probe being respectively oriented towards a separate measuring point of the cylindrical surface, and to collect the pulsed waves reflected at each measuring point. Said device also comprises first means for calculating the position of each measuring point, and second means for calculating a characteristic curve of the cylindrical surface by interpolation from the corresponding position of each of said points.

(57) Abrégé: Il s'agit d'un dispositif de caractérisation dimensionnelle d'un objet (8) comportant une surface cylindrique symétrique autour d'un axe longitudinal comprenant au moins six sondes (Si) pour émettre six ondes impulsionnelles, chacune respectivement vers un point de mesure distinct de la surface cylindrique, et pour recueillir les ondes impulsionnelles réfléchies au niveau de chacun des points de mesure. Il comporte ainsi des premiers moyens de calcul de la position de chacun des points de mesure. Ce dispositif comporte en outre des seconds moyens de calcul d'une courbe caractéristique de la surface cylindrique par interpolation à partir de la position correspondante de chacun de ces points.

WO 2006/000668 A1



Déclaration en vertu de la règle 4.17 :

- *relative à la qualité d'inventeur (règle 4.17.iv) pour US seulement*

Publiée :

- *avec rapport de recherche internationale*
- *avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont reçues*

En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.

**Dispositif et procédé de caractérisation dimensionnelle
d'un objet cylindrique.**

La présente invention est relative aux dispositifs
5 et aux procédés de caractérisation dimensionnelle d'objets
comportant une surface sensiblement cylindrique de
révolution, tels que des barres ou des tubes. La présente
invention est également relative à un programme d'ordinateur
pour la mise en œuvre d'un procédé de caractérisation
10 dimensionnelle d'un tel objet.

On connaît déjà, notamment par exemple par les
documents FR 2 234 545 et US 6 634 233, de tels dispositifs
comprenant deux sondes émettant et recueillant des ondes
ultrasonores. Ces ondes ultrasonores sont émises sous forme
15 impulsionnelle par les sondes, sont propagées par un milieu
approprié et sont réfléchies par une surface interne ou
externe de l'objet étudié. Ces ondes réfléchies reviennent
ensuite à un capteur qui génère alors un signal à partir
duquel est mesuré un temps de vol des ondes dans le milieu
20 entre leur émission et leur réception après réflexion. Ce
temps de vol, connaissant la vitesse de propagation des
ondes dans le milieu, permet de calculer la position des
points de réflexion.

De tels dispositifs sont généralement utilisés pour
25 mesurer les diamètres interne et externe d'un tube et/ou
l'épaisseur de la paroi d'un tel tube.

Selon un aspect de la présente invention, celle-ci
concerne un dispositif de caractérisation dimensionnelle
d'un objet comportant une surface sensiblement cylindrique
30 de révolution autour d'un axe longitudinal. Ce dispositif
comprend au moins un émetteur pour émettre au moins deux
ondes impulsionnelles. Par exemple, chacune de ces ondes
impulsionnelles est une onde acoustique. En pratique, le

dispositif selon l'invention peut comprendre une sonde, constituée par exemple d'un cristal piézoélectrique, formant à la fois un émetteur et un récepteur. Ainsi, chaque onde impulsioneuse peut être émise par un émetteur distinct ou
5 par un même émetteur tournant d'un certain angle autour de l'axe longitudinal, entre les émissions successives de deux ondes impulsioneuses. Chaque émission est effectuée dans un milieu adapté pour propager ces ondes chacune respectivement vers un point de mesure distinct de la surface cylindrique.

10 L'expression "point de mesure" désigne dans la présente demande une zone de l'objet, placée sur sa surface interne ou sa surface externe, qui reçoit et réfléchit les ondes impulsioneuses. Cette zone n'est pas nécessairement ponctuelle. Le dispositif selon l'invention comporte
15 également au moins un récepteur pour recueillir les ondes réfléchies, par la surface cylindrique, au niveau de chacun des points de mesure. De plus, le dispositif selon l'invention comporte des premiers moyens de calcul pour déterminer la position de chacun des points de mesure, à
20 partir du temps de vol des ondes impulsioneuses sur un trajet comprenant un aller et un retour. L'aller s'effectue entre chaque émetteur et le point de mesure correspondant. Le retour s'effectue entre ce point de mesure et un récepteur. Le dispositif selon l'invention comporte en outre
25 des seconds moyens de calcul, qui peuvent être les mêmes que les premiers moyens de calcul. Ces seconds moyens de calcul permettent de reconstruire une portion de la surface ou de la paroi cylindrique sur laquelle se trouve chacun des points de mesure, par exemple sous la forme d'une courbe
30 caractéristique de cette surface. Les seconds moyens de calcul déterminent cette courbe caractéristique sur 360 degrés autour de l'axe longitudinal, en passant par chacun des points de mesure, par interpolation à partir de

la position correspondante de chacun de ces points. Cette courbe caractéristique représente par exemple le diamètre externe d'une barre ou d'un tube, le diamètre interne d'un tube ou l'épaisseur d'une paroi de tube, sous sa surface externe, ou bien encore une ovalisation ou une excentration d'une barre ou d'un tube.

Un tel dispositif selon l'invention permet de déterminer des courbes représentatives du développé d'une caractéristique dimensionnelle d'objets cylindriques, à partir d'un minimum de points de mesure.

Dans des modes de réalisation de l'invention, on peut éventuellement avoir recours en outre à l'une et/ou à l'autre des dispositions suivantes :

- chaque émetteur et chaque récepteur sont fixes par rapport à l'objet qui, lui, se déplace sensiblement parallèlement à l'axe longitudinal ; on peut ainsi réaliser un contrôle des objets en continu, sans aucune rotation ; ceci évite d'avoir à mettre en œuvre un double mouvement simultané de rotation et de translation, comme dans certains dispositifs de l'art antérieur dans lesquels ce double mouvement est obtenu par l'intermédiaire de galets d'entraînement de l'objet, inclinés, qui ne permettent pas d'obtenir de grandes vitesses de défilement de cet objet, vitesses qui ne sont pas par ailleurs parfaitement contrôlées du fait de glissements engendrés entre les galets et l'objet ;

- chaque émetteur est également récepteur ; et
- le dispositif comporte au moins quatre émetteurs et quatre récepteurs, répartis autour de l'objet, de manière sensiblement symétrique autour de l'axe longitudinal, pour déterminer la position d'au moins quatre points de mesure ; on dispose ainsi par exemple six sondes, formant chacune à

la fois un émetteur et un récepteur, à 60 degrés l'une de l'autre, autour de l'axe longitudinal.

Selon un autre aspect, l'invention concerne un procédé de caractérisation dimensionnelle d'un objet
5 comportant une surface sensiblement cylindrique de révolution autour d'un axe longitudinal, tel qu'une barre ou un tube, comprenant :

- l'émission d'au moins deux ondes impulsionnelles, dans un milieu adapté pour propager ces ondes, chacune
10 respectivement vers un point de mesure distinct de la surface cylindrique,

- la détection d'ondes impulsionnelles réfléchies, par la surface cylindrique, au niveau de chacun des points de mesure, et

15 - la calcul de la position de chacun des points de mesure, à partir du temps de vol des ondes impulsionnelles sur un trajet comprenant un aller entre chaque émetteur et le point de mesure correspondant et un retour entre ce point de mesure et un récepteur,

20 caractérisé par le fait que, qu'il comporte en outre une opération consistant à calculer une courbe caractéristique de la surface cylindrique, sur 360 degrés autour de l'axe longitudinal et passant par chacun des points de mesure, par interpolation à partir de la position correspondante de
25 chacun de ces points.

Selon des modes de mise en œuvre de ce procédé, on peut éventuellement avoir recours en outre à l'une et/ou à l'autre des dispositions suivantes :

- on déplace l'objet sensiblement parallèlement à
30 l'axe longitudinal ;

- la courbe caractéristique est calculée à partir de la position d'au moins quatre points de mesure ;

- la courbe caractéristique correspond à une courbe d'épaisseur donnée par :

$$E_p = [E_{p_F} \cdot \sin(2\pi t + \varphi_F)] + [E_{p_{2F}} \cdot \sin(4\pi t + \varphi_{2F})] + E_{p_{moy}}$$

où

5 -- E_{p_F} est l'amplitude de la variation de l'épaisseur calculée pour une excentration de l'objet par rapport à l'axe longitudinal,

-- φ_F est la phase de la variation de l'épaisseur calculée pour une excentration de l'objet par rapport à
10 l'axe longitudinal,

-- $E_{p_{2F}}$ est l'amplitude de la variation de l'épaisseur calculée pour une ovalisation de l'objet,

-- φ_{2F} est la phase de la variation de l'épaisseur calculée pour une ovalisation de l'objet,

15 -- $E_{p_{moy}}$ est la valeur moyenne de l'épaisseur calculée sur l'ensemble des points de mesure,

-- t est la période d'échantillonnage de la courbe interpolée ;

- la courbe caractéristique correspond au diamètre
20 externe et est donnée par :

$$\varnothing_{ext} = [\varnothing_{Ext_{2F}} \cdot \sin(4\pi t + \varphi_{Ext_{2F}})] + \varnothing_{moy}$$

où

-- $\varnothing_{Ext_{2F}}$ est l'amplitude de la variation calculée pour le diamètre externe de l'objet,

25 -- $\varphi_{Ext_{2F}}$ est la phase de la variation calculée pour le diamètre externe de l'objet,

-- \varnothing_{moy} est la valeur moyenne du diamètre calculé sur l'ensemble des points de mesure,

-- t est la période d'échantillonnage de la courbe
30 interpolée ;

6

- la courbe caractéristique correspond respectivement à l'amplitude et à la phase de l'ovalisation du diamètre interne et est donnée par :

$$\text{Module}(Ov_{int}) = \sqrt{([\text{Sin}(Ov_{int})]^2 + (\text{Cos}(Ov_{int}))^2)} = \varnothing_{Int_{2F}}$$

$$5 \quad \text{Phase}(Ov_{int}) = \text{Atg}[\text{Sin}(Ov_{int})/\text{Cos}(Ov_{int})] = \varphi_{Int_{2F}}$$

où

$$\text{Sin}(Ov_{int}) = (\sum Eplnt_i \cdot \sin 2F_i) / (n/2)$$

$$\text{Cos}(Ov_{int}) = (\sum Eplnt_i \cdot \cos 2F_i) / (n/2)$$

avec :

$$10 \quad -- Eplnt_i = ep_i - (\varnothing_i - \varnothing_{moy}),$$

-- \varnothing_{moy} : la valeur moyenne du diamètre calculé sur l'ensemble des points de mesure,

-- \varnothing_i : est une valeur d'échantillonnage du diamètre externe,

$$15 \quad -- 2F_i \text{ est la fréquence d'ovalisation,}$$

-- n égal au nombre de points de mesure ;

- l'émission des ondes impulsionnelles est simultanée à partir d'un ensemble d'émetteurs sensiblement également répartis angulairement autour de l'axe longitudinal ;

- l'émission des ondes impulsionnelles est réalisée séquentiellement sur un ensemble d'émetteurs sensiblement également répartis angulairement autour de l'axe longitudinal.

25 Selon encore un autre aspect, l'invention concerne un programme d'ordinateur pour la mise en œuvre d'un procédé de caractérisation dimensionnelle d'un objet comportant une surface cylindrique symétrique autour d'un axe longitudinal, tel qu'une barre ou un tube, ce programme comprenant les

30 instructions pour

- déclencher l'émission d'au moins deux ondes impulsionnelles par au moins un émetteur,

- calculer la position d'au moins deux points de mesure, à partir de données recueillies par au moins un récepteur et correspondant à une onde impulsionnelle réfléchiée par la surface cylindrique, et

5 - calculer une courbe caractéristique de la surface cylindrique, sur 360 degrés autour de l'axe longitudinal et passant par chacun des points de mesure, par interpolation à partir de la position correspondante de chacun de ces points.

10 Dans des modes de réalisation de ce programme, on peut éventuellement avoir recours à l'une et/ou à l'autre des dispositions suivantes :

- la courbe caractéristique est calculée à partir de la position d'au moins quatre points de mesure ;

15 - la courbe caractéristique correspond à une courbe d'épaisseur donnée par :

$$E_p = [E_{p_F} \cdot \sin(2\pi t + \phi_F)] + [E_{p_{2F}} \cdot \sin(4\pi t + \phi_{2F})] + E_{p_{moy}}$$

où

20 -- E_{p_F} est l'amplitude de la variation de l'épaisseur calculée pour une excentration de l'objet par rapport à l'axe longitudinal,

 -- ϕ_F est la phase de la variation de l'épaisseur calculée pour une excentration de l'objet par rapport à l'axe longitudinal,

25 -- $E_{p_{2F}}$ est l'amplitude de la variation de l'épaisseur calculée pour une ovalisation de l'objet,

 -- ϕ_{2F} est la phase de la variation de l'épaisseur calculée pour une ovalisation de l'objet,

30 -- $E_{p_{moy}}$ est la valeur moyenne de l'épaisseur calculée sur l'ensemble des points de mesure,

 -- t est la période d'échantillonnage de la courbe interpolée ;

- la courbe caractéristique correspond au diamètre externe et est donnée par :

$$\varnothing_{\text{ext}} = [\varnothing_{\text{Ext}_{2F}} \cdot \sin(4\pi t + \varphi_{\text{Ext}_{2F}})] + \varnothing_{\text{moy}}$$

où

5 -- $\varnothing_{\text{Ext}_{2F}}$ est l'amplitude de la variation calculée pour le diamètre externe de l'objet,

 -- $\varphi_{\text{Ext}_{2F}}$ est la phase de la variation calculée pour le diamètre externe de l'objet,

 -- \varnothing_{moy} est la valeur moyenne du diamètre calculé
10 sur l'ensemble des points de mesure,

 -- t est la période d'échantillonnage de la courbe interpolée ;

 - la courbe caractéristique correspond respectivement à l'amplitude et à la phase de l'ovalisation
15 du diamètre interne et est donnée par :

$$\text{Module}(Ov_{\text{int}}) = \sqrt{([\text{Sin}(Ov_{\text{int}})]^2 + [\text{Cos}(Ov_{\text{int}})]^2)} = \varnothing_{\text{Int}_{2F}}$$

$$\text{Phase}(Ov_{\text{int}}) = \text{Atg}[\text{Sin}(Ov_{\text{int}})/\text{Cos}(Ov_{\text{int}})] = \varphi_{\text{Int}_{2F}}$$

où

$$\text{Sin}(Ov_{\text{int}}) = (\sum \text{Eplnt}_i \cdot \sin 2F_i) / (n/2)$$

$$20 \quad \text{Cos}(Ov_{\text{int}}) = (\sum \text{Eplnt}_i \cdot \cos 2F_i) / (n/2)$$

avec :

$$\text{-- Eplnt}_i = \text{ep}_i - (\varnothing_i - \varnothing_{\text{moy}}),$$

 -- \varnothing_{moy} : la valeur moyenne du diamètre calculé sur l'ensemble des points de mesure,

25 -- \varnothing_i : est une valeur d'échantillonnage du diamètre externe,

 -- $2F_i$ est la fréquence d'ovalisation,

 -- n égal au nombre de points de mesure.

 D'autres aspects, buts et avantages de l'invention
30 apparaîtront à la lecture de la description d'un de ses modes de réalisation.

L'invention sera également mieux comprise à l'aide des dessins, sur lesquels :

- la figure 1 représente schématiquement un exemple de dispositif conforme à la présente invention ;

5 - la figure 2 représente schématiquement une cellule de mesure constitutive du dispositif de la figure 1 ;

- la figure 3 est un diagramme fonctionnel des moyens d'excitation et de calcul constitutifs du dispositif de la figure 1 ;

10 - la figure 4 représente un exemple de courbe interpolée correspondant à la variation d'épaisseur, sur 360 degrés, d'un tube ;

- la figure 5 correspond à l'analyse spectrale de la courbe représentée sur la figure 4.

15 Sur les différentes figures, les mêmes références désignent des éléments identiques ou similaires.

Un exemple de réalisation d'un dispositif 1 conforme à l'invention est représenté sur la figure 1. Selon cet exemple, le dispositif 1 met en œuvre des ultrasons et permet de mesurer des distances à partir de temps de vol de ces ultrasons. Ce dispositif 1 comporte une cellule de mesure 2, des moyens de calcul 4, des moyens d'excitation 5 et des moyens de visualisation 7. La cellule de mesure 2 est remplie d'un milieu 3 adapté pour propager des ondes ultrasonores.

20

25

Comme représenté sur la figure 2, la cellule de mesure comporte une cuve 6 communément appelée "boîte à eau" par l'Homme du Métier. Dans cette cuve 6 est immergé un tube 8. Le tube 8 constitue ici l'objet que l'on cherche à caractériser dimensionnellement. Le tube 8 comporte des surfaces interne 10 et externe 12 sensiblement cylindriques de révolution autour d'un axe longitudinal 14.

30

Six sondes S_i avec $i = 1$ à 6 sont disposées de

manière sensiblement symétrique autour de l'axe longitudinal 14. Plus précisément, les six sondes S_i sont disposées uniformément par pas de 60 degrés autour du tube 8 afin de permettre un échantillonnage à angle constant des épaisseurs Epi avec $i = 1$ à 6 et des distances d_i avec $i = 1$ à 6.

Les épaisseurs Epi représentent les épaisseurs de la paroi 16 du tube 8 en six points de mesure P_i avec $i = 1$ à 6, distincts. Chacune des distances d_i représentent la distance entre la sonde S_i et le point de mesure P_i correspondant.

Chaque sonde S_i est à la fois un émetteur adapté pour émettre une onde ultrasonore impulsionnelle et un récepteur adapté pour détecter des ondes ultrasonores propagées par le milieu 3. Il s'agit par exemple d'éléments piézoélectriques.

La précision du positionnement de chacune des sondes S_i n'est pas critique. En effet, d'une part, les différences de distance par rapport à l'axe longitudinal 14 peuvent être facilement corrigées à l'aide des moyens de calcul 4 et, d'autre part, la position angulaire de chaque sonde S_i doit simplement être suffisante pour permettre une précision de 0,1 % sur l'épaisseur nominale, ce qui dans la pratique autorise sans aucun problème une erreur de positionnement de l'ordre de 1 degré.

La cellule de mesure 2 comporte également une sonde S_{ref} pour mesurer la distance d_{ref} d'un réflecteur fixe 18 à cette sonde S_{ref} afin de permettre aux moyens de calcul 4 de prendre en compte la vitesse réelle de propagation des ultrasons dans le milieu 3 pour compenser les mesures d_i effectuées par les sondes S_i .

Des moyens de déplacement non représentés, tels qu'un convoyeur, entraînent le tube 8 parallèlement à l'axe longitudinal 14.

Comme représenté sur la figure 3, les sondes Si sont connectées d'une part aux moyens de calcul 4 et d'autre part aux moyens d'excitation 5.

Les moyens d'excitation 5 sont constitués d'émetteurs Ei avec $i = 1$ à 6 et Eref. Ces émetteurs Ei et Eref génèrent des signaux d'excitation des sondes Si. Ils sont avantageusement de bandes passantes nettement supérieures à celles des sondes Si, de façon à ne pas limiter le temps nécessaire pour atteindre le maximum de l'amplitude des ondes impulsives de mesure et d'obtenir ainsi la meilleure précision possible. Les émetteurs Ei et Eref de ce type ont généralement des temps de commutation inférieurs à 5 nanosecondes, ce qui permet d'utiliser des sondes Si ayant des fréquences d'excitation pouvant aller jusqu'à 25 MHz. Ces fréquences d'excitation correspondent aux fréquences de vibration de l'élément constitutif des sondes Si.

Par ailleurs, chaque sonde Si génère un signal de mesure, en réponse à la réception d'une onde ultrasonore. Chaque signal de mesure est traité par les moyens de calcul 4.

Les moyens de calcul 4 comprennent des premiers moyens de calcul 22 et des seconds moyens de calcul 24.

Les premiers moyens de calcul 22 comportent essentiellement

- des amplificateurs analogiques Ai avec $i = 1$ à 6 et Aref,
- des convertisseurs analogiques-numériques CANi avec $i = 1$ à 6 et CANref,
- des intervalomètres TOFdi avec $i = 1$ à 6, TOFepi avec $i = 1$ à 6 et TOFref et
- des circuits de filtrage TRTdi avec $i = 1$ à 6, TRTepi avec $i = 1$ à 6 et TRTref.

Les amplificateurs analogiques Ai et Aref sont destinés à conditionner les signaux provenant des sondes Si pour les amener dans la dynamique d'entrée des convertisseurs CANi et CANref. Pour les raisons déjà exposées ci-dessus, les amplificateurs analogiques Ai et Aref ont une bande passante supérieure à celle des sondes Si.

Les convertisseurs CANi et CANref réalisent l'échantillonnage des signaux provenant des amplificateurs Ai et Aref, avec une résolution temporelle compatible avec la précision souhaitée. En effet, la précision sur la mesure de temps définit celle des courbes caractéristiques que sont les courbes d'épaisseur et de diamètre. En pratique, un échantillonnage compris entre 100 MHz et 200 MHz s'avère suffisant. En effet, les traitements numériques effectués postérieurement peuvent augmenter encore cette résolution si nécessaire.

Les intervalomètres TOFdi, TOFepi et TOFref mesurent les temps de propagation des ultrasons respectivement sur les distances di, epi et dref. Les temps correspondant aux distances di sont mesurés entre l'impulsion d'émission et l'écho de réflexion sur la surface externe 12 du tube 8. Ils correspondent donc à des temps de vol des ondes ultrasonores sur un trajet comprenant un aller entre chaque sonde Si et le point de mesure Pi, situé sur la surface externe 12 au droit de la sonde Si, et un retour entre ce point de mesure Pi et la sonde Si.

Les temps correspondant aux épaisseurs epi sont mesurés entre l'écho de réflexion sur la paroi externe 12 et l'écho de réflexion sur la paroi interne 10. Ceci correspond à une synchronisation sur l'écho dit d'entrée, c'est-à-dire sur la paroi externe 12. Ceci permet de s'affranchir de la position relative du tube 8 par rapport à la sonde Si.

Le temps correspondant à la distance d_{ref} est mesuré entre l'impulsion d'émission et l'écho de réflexion sur la surface externe du réflecteur fixe 18.

Les circuits TRT di , TRT epi et TRT ref reçoivent les
5 mesures de temps brut effectuées par les circuits en amont, à la cadence des tirs des ondes ultrasonores. Cette cadence est par exemple de 5 kHz. Les circuits TRT di , TRT epi et TRT ref traitent les signaux qu'ils reçoivent, en temps réel, suivant des algorithmes de filtrage conventionnels dans le
10 domaine des ultrasons, tels que le rejet de mesures aberrantes, le filtrage des variations trop rapides entre deux mesures consécutives et le moyennage glissant pour intégrer les mesures. Ces traitements ont pour but d'éliminer les mesures erronées qui ne correspondent pas à
15 une réalité physique du procédé de fabrication du tube 8, de manière à transmettre aux seconds moyens de calcul 24, en aval, des données exemptes d'erreurs.

Les seconds moyens de calcul 24 comprennent un circuit de calcul de diamètre CAL \emptyset , et des circuits
20 d'interpolation INT ep et INT \emptyset .

Le circuit CAL \emptyset calcule, à partir des mesures de distance d_i , les diamètres correspondants du tube 8. Pour ce faire, les mesures d_i sont d'abord corrigées par un coefficient déterminé par la mesure d_{ref} , afin de compenser
25 les variations de vitesse de propagation des ultrasons dans le milieu 3.

Chaque diamètre \emptyset_i avec $i = 1$ à 6 est ensuite calculé par groupe de sondes diamétralement opposées, c'est-à-dire par paires S1-S4, S2-S5 et S3-S6.

30 Les circuits d'interpolation INT ep et INT \emptyset effectuent l'interpolation des courbes caractéristiques d'épaisseur et de diamètre, de façon à obtenir une

résolution de 96 points par tour, soit un facteur d'interpolation de 16. Les circuits d'interpolation INTep, INTØ peuvent travailler dans le domaine spectral, ce qui permet d'obtenir directement les valeurs d'excentration et d'ovalisation du tube 8 à partir des six points de mesure Pi échantillonnés, sans avoir à calculer la courbe interpolée.

Dans le dispositif 1 décrit ci-dessus, le nombre $n=6$ de sondes Si a été choisi pour les raisons suivantes.

La période sur laquelle s'observe la totalité de la variation des distances d_i due à une excentration, correspond à une fois le tour du tube. Par contre, les variations de distance observées pour une ovalisation s'observent deux fois lorsque l'on effectue un tour de tube.

Donc, plutôt que d'effectuer une multitude de mesures autour du tube (par exemple de l'ordre de 100) pour obtenir une courbe représentative de la variation d'épaisseur (comme c'est le cas dans certains dispositifs de l'art antérieur), il suffit d'échantillonner cette courbe en respectant le critère de SHANNON et de calculer par interpolation les points manquants, pour construire la courbe complète. Rappelons que selon le critère de SHANNON, il faut que la fréquence d'échantillonnage soit au moins égale à deux fois la plus haute composante fréquentielle d'un signal. Si l'on ne respecte pas ce critère, on se retrouve en situation de sous échantillonnage qui peut conduire à l'apparition de fausses fréquences.

Ainsi, comme pour l'ovalisation on observe deux fois une variation pour un tour de tube, ceci impose, selon le critère de SHANNON, au moins quatre mesures par tour pour avoir un échantillonnage approprié. Le choix de six mesures permet d'obtenir une redondance qui rend l'interpolation plus fiable. Ainsi, certaines mesures aberrantes pourront être éliminées sans compromettre la précision de la

reconstruction de la courbe caractéristique recherchée.

De même, ce choix de six sondes permet d'avoir un éloignement suffisant entre chaque sonde pour que toutes les mesures soient effectuées simultanément. Ainsi, il est possible d'augmenter la vitesse de contrôle du tube 8 d'un facteur 100 par rapport aux dispositifs de l'art antérieur qui doivent effectuer une centaine de mesures par tour pour reconstituer une courbe correcte. Cependant, une telle augmentation de la vitesse de contrôle n'étant pas toujours nécessaire, les mesures peuvent également être effectuées séquentiellement de façon à réduire le coût du matériel. En effet, il suffit de prévoir une électronique simplifiée qui, à la place de la redondance par six des éléments constitutifs des moyens de calcul 4 décrits ci-dessus, peut être réduite à un exemplaire traitant séquentiellement les signaux recueillis sur chacune des sondes Si. Ceci permet néanmoins de conserver une augmentation de la vitesse de contrôle considérable puisqu'elle est encore d'un facteur 15 avec six sondes (deux sondes en vis-à-vis doivent nécessairement effectuer leurs mesures simultanément pour le calcul du diamètre).

A partir de six mesures, pour reconstruire une courbe avec une centaine de points par tour, ce qui suffit pour obtenir une précision de 0,1% sur l'épaisseur nominale, le facteur d'interpolation est de 16. Un tel exemple de courbe est représenté sur la figure 4.

Si la cadence des tirs est de 5Khz, on dispose de 200 microsecondes pour réaliser l'opération d'interpolation. Des circuits DSP (acronyme de l'expression anglo-saxonne "Digital Signal Processing") peuvent être utilisés pour des seconds moyens de calcul 24 car ils effectuent sans problème ce type de calcul en 200 microsecondes.

L'interpolation peut être faite indifféremment dans

le domaine temporel par filtrage ou dans le domaine spectral par transformée de Fourier et transformée de Fourier inverse. L'une ou l'autre de ces méthodes est choisie en fonction du facteur d'interpolation nécessaire.

5 En effet, on considère, en règle générale, qu'il est plus intéressant de réaliser l'opération d'interpolation dans le domaine temporel si le facteur d'interpolation est inférieur à 64 et qu'il vaut mieux la réaliser dans le domaine spectral s'il est supérieur à 64.

10 En effet, si le facteur d'interpolation est élevé, le nombre de coefficients pour la réalisation du filtre passe-bas nécessaire au filtrage de l'opération d'interpolation dans le domaine temporel, est important (par exemple, il est de 128 pour un facteur d'interpolation de 16
15 seulement). Dans ce cas, le calcul de la transformée de Fourier et ensuite de la transformée de Fourier inverse demande moins de ressources que le traitement par convolution dans le domaine temporel.

 Par ailleurs, dans le domaine spectral, il est
20 possible de séparer très facilement la réponse due à l'excentration de celle due à l'ovalisation (voir figure 5) par suppression de la raie spectrale correspondant au phénomène à éliminer, puisque nous savons que ces deux phénomènes répondent respectivement aux fréquences de 1Hz et
25 2Hz.

 Ainsi, sans qu'il soit nécessaire de passer par la courbe interpolée, donc sans la transformée de Fourier inverse, il est possible de fournir l'épaisseur moyenne (raie continue), l'excentration (raie à 1Hz) et
30 l'ovalisation (raie à 2Hz) d'un tube, à partir des points échantillonnés en respectant le critère de SHANNON.

 Un exemple de mode de calcul de l'épaisseur d'un tube 8, et de ses diamètres interne et externe, est donné

ci-dessous :

I - Epaisseur

1. Recherche de la phase et de l'amplitude de l'excentration :

- 5 - la première étape consiste à multiplier point à point les échantillons ep_i acquis avec les échantillons $\sin F_i$ d'une sinusoïde de période 2π et à faire la somme de ces multiplications pour obtenir le sinus de l'excentration (n =nombre d'échantillons ep_i).

10
$$\text{Sin}(Ex) = (\sum ep_i \cdot \sin F_i) / (n/2)$$

- la deuxième étape consiste à multiplier points à points les échantillons acquis avec les échantillons $\cos F_i$ de la même sinusoïde de période 2π mais déphasée de $\pi/2$ et à faire la somme de ces multiplications pour obtenir le cosinus de l'excentration.
- 15

$$\text{Cos}(Ex) = (\sum ep_i \cdot \cos F_i) / (n/2)$$

Il ne reste alors qu'à calculer le module et la phase à partir des $\text{Sin}(Ex)$ et $\text{Cos}(Ex)$ ci-dessus, à savoir :

20

$$\text{Module}(Ex) = \sqrt{([\text{Sin}(Ex)]^2 + [\text{Cos}(Ex)]^2)} = Ep_F$$

$$\text{Phase}(Ex) = \text{Atg}[\text{Sin}(Ex)/\text{Cos}(Ex)] = \varphi_F$$

2. Recherche de la phase et de l'amplitude de l'ovalisation :

25

- le principe est le même, mais cette fois les échantillons ep_i acquis sont multipliés avec les échantillons $\sin 2F_i$ et $\cos 2F_i$ obtenus à partir d'une sinusoïde de période 4π de même phase que la sinusoïde de période 2π précédente.
- 30

- nous obtenons ainsi avec n = nombre d'échantillons ep_i :

18

$$\text{Sin}(Ov) = (\sum ep_i \cdot \sin 2F_i) / (n/2)$$

$$\text{Cos}(Ov) = (\sum ep_i \cdot \cos 2F_i) / (n/2)$$

$$\text{Module}(Ov) = \sqrt{([\text{Sin}(Ov)]^2 + [\text{Cos}(Ov)]^2)} = Ep_{2F}$$

$$\text{Phase}(Ov) = \text{Atg}[\text{Sin}(Ov)/\text{Cos}(Ov)] = \varphi_{2F}$$

5

3. Calcul de la valeur moyenne de l'épaisseur :

$$Ep_{\text{moy}} = (\sum ep_i) / n$$

4. Calcul de la courbe d'épaisseur interpolée :

$$10 \quad Ep = [Ep_F \cdot \sin(2\pi t + \varphi_F)] + [Ep_{2F} \cdot \sin(4\pi t + \varphi_{2F})] + Ep_{\text{moy}}$$

Avec : t = période d'échantillonnage de la courbe interpolée

II- Diamètre externe

15 Le principe est le même mais s'applique cette fois sur les échantillons \emptyset_i avec la période 4π puisque nous ne recherchons pas d'excentration, ce qui conduit, avec n = nombre d'échantillons \emptyset_I à :

$$\text{Sin}(OV_{\text{ext}}) = (\sum \emptyset_I \cdot \sin 2F_i) / (n/2)$$

$$20 \quad \text{Cos}(OV_{\text{ext}}) = (\sum \emptyset_I \cdot \cos 2F_i) / (n/2)$$

$$\text{Module}(OV_{\text{ext}}) = \sqrt{([\text{Sin}(OV_{\text{ext}})]^2 + [\text{Cos}(OV_{\text{ext}})]^2)} = \emptyset_{\text{Ext}_{2F}}$$

$$\text{Phase}(OV_{\text{ext}}) = \text{Atg}[\text{Sin}(OV_{\text{ext}})/\text{Cos}(OV_{\text{ext}})] = \varphi_{\text{Ext}_{2F}}$$

$$\emptyset_{\text{moy}} = (\sum \emptyset_i) / n$$

$$\emptyset_{\text{ext}} = [\emptyset_{\text{Ext}_{2F}} \cdot \sin(4\pi t + \varphi_{\text{Ext}_{2F}})] + \emptyset_{\text{moy}}$$

25 Avec : t = période d'échantillonnage de la courbe interpolée

III- Ovalisation interne

30 Le procédé permet également d'extraire l'ovalisation du diamètre interne ce qui n'est pas possible directement à

partir de la courbe d'épaisseur car celle-ci restitue la somme vectorielle des ovalisations internes et externes.

Pour ce faire, il suffit de soustraire aux échantillons ep_i , les échantillons \emptyset_i correspondants diminués de \emptyset_{moy} , ce qui revient à enlever la part d'ovalisation externe à l'épaisseur.

$$Eplnt_i = ep_i - (\emptyset_i - \emptyset_{moy})$$

Le calcul est ensuite le même que pour le diamètre externe, mais avec les échantillons $Eplnt_i$ ce qui conduit, avec n = nombre d'échantillons $Eplnt_i$ à :

$$\text{Sin}(O_{v_{int}}) = (\sum Eplnt_i \cdot \sin 2F_i) / (n/2)$$

$$\text{Cos}(O_{v_{int}}) = (\sum Eplnt_i \cdot \cos 2F_i) / (n/2)$$

$$\text{Module}(O_{v_{int}}) = \sqrt{([\text{Sin}(O_{v_{int}})]^2 + [\text{Cos}(O_{v_{int}})]^2)} = \emptyset_{Int_{2F}}$$

$$\text{Phase}(O_{v_{int}}) = \text{Atg}[\text{Sin}(O_{v_{int}}) / \text{Cos}(O_{v_{int}})] = \phi_{Int_{2F}}$$

Connaissant le module et la phase de l'ovalisation, celle-ci est entièrement déterminée.

Le dispositif selon l'invention décrit ci-dessus permet d'obtenir les principaux avantages suivants :

- une augmentation considérable des vitesses de contrôle qui peut théoriquement atteindre un facteur 100 ; la limite est en fait imposée par la vitesse maximale de translation des tubes autorisée par le convoyeur ;
- le coût du dispositif est, quant à lui, réduit dans des proportions importantes car il est possible d'économiser le coût du moyen de mise en rotation dans le cas de systèmes rotatifs et de réduire le nombre de voies de contrôle d'un facteur qui peut atteindre plusieurs dizaines, voire centaines, par rapport au cas de sondes encerclantes ;
- le dispositif s'applique à tous les types de tubes, de faibles et de fortes dimensions, car, d'une part

le nombre de sondes nécessaires ne dépend pas du diamètre du tube à contrôler, et d'autre part les sondes peuvent être installées dans une seule "boîte à eau" comme décrit ci-dessus pour le contrôle des tubes de faibles dimensions, ou
5 dans des "boîtes à eau" individuelles dans le cas de tubes de fortes dimensions ;

- comme indiqué plus haut, le réglage de positionnement des sondes n'est absolument pas critique pour le procédé lui-même ; les sondes doivent seulement être
10 réglées, comme dans tous systèmes de contrôle par ultrasons, pour obtenir des échos de mesure corrects ; ces réglages peuvent, par ailleurs, se faire très facilement puisque les sondes sont statiques et indépendantes ; et

- le dispositif permet, de par son principe
15 d'analyse spectral, de séparer et d'identifier directement les valeurs d'excentration et d'ovalisation avec leurs phases respectives, ce qui permet de reconstruire le profil exact du tube pour chaque section mesurée.

Ce dispositif s'applique en premier lieu, mais non
20 exclusivement, au contrôle dimensionnel par ultrasons des tubes et des barres.

Le dispositif s'applique également au contrôle dimensionnel des tubes et des barres par tout autre moyen de mesure que les ultrasons, par exemple par des moyens
25 optiques, par des rayons-X, etc.

Le dispositif s'applique d'une manière générale au contrôle dimensionnel de tous produits de forme continue sans variation abrupte effectuée par tous moyens de mesure dimensionnelle.

REVENDEICATIONS

1. Dispositif de caractérisation dimensionnelle d'un objet (8) comportant une surface sensiblement cylindrique de révolution autour d'un axe longitudinal (14), tel qu'une barre ou un tube, comprenant :

- au moins un émetteur (Si) pour émettre au moins deux ondes impulsionnelles, dans un milieu (3) adapté pour propager ces ondes, chacune respectivement vers un point de mesure (Pi) distinct de la surface cylindrique,

- au moins un récepteur (Si) pour recueillir les ondes impulsionnelles réfléchies, par la surface cylindrique, au niveau de chacun des points de mesure (Pi), et

- des premiers moyens de calcul (22) de la position de chacun des points de mesure (Pi), à partir du temps de vol des ondes impulsionnelles sur un trajet comprenant un aller entre chaque émetteur (Si) et le point de mesure (Pi) correspondant et un retour entre ce point de mesure (Pi) et un récepteur (Si),

caractérisé par le fait qu'il comporte en outre des seconds moyens de calcul (24) d'une courbe caractéristique de la surface cylindrique, sur 360 degrés autour de l'axe longitudinal (14) et passant par chacun des points de mesure (Pi), par interpolation à partir de la position correspondante de chacun de ces points (Pi).

2. Dispositif selon la revendication 1, dans lequel chaque émetteur (Si) et chaque récepteur (Si) sont fixes par rapport à l'objet qui lui se déplace sensiblement parallèlement à l'axe longitudinal (14).

3. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, dans lequel chaque émetteur (Si) est également récepteur.

4. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, comportant au moins quatre émetteurs (Si) et quatre récepteurs, répartis autour de l'objet (8), de manière sensiblement symétrique autour de l'axe longitudinal (14), pour déterminer la position d'au moins quatre points de mesure (Pi).

5. Procédé de caractérisation dimensionnelle d'un objet (8) comportant une surface sensiblement cylindrique de révolution autour d'un axe longitudinal (14), tel qu'une barre ou un tube, comprenant :

- l'émission d'au moins deux ondes impulsionnelles, dans un milieu (3) adapté pour propager ces ondes, chacune respectivement vers un point de mesure (Pi) distinct de la surface cylindrique,

- la détection d'ondes impulsionnelles réfléchies, par la surface cylindrique, au niveau de chacun des points de mesure (Pi), et

- le calcul de la position de chacun des points de mesure (Pi), à partir du temps de vol des ondes impulsionnelles sur un trajet comprenant un aller entre chaque émetteur (Si) et le point de mesure (Pi) correspondant et un retour entre ce point de mesure (Pi) et un récepteur (Si),

caractérisé par le fait que, qu'il comporte en outre, un calcul d'une courbe caractéristique de la surface cylindrique, sur 360 degrés autour de l'axe longitudinal (14) et passant par chacun des points de mesure (Pi), par interpolation à partir de la position correspondante de chacun de ces points (Pi).

6. Procédé selon la revendication 5, dans lequel on déplace l'objet (8) sensiblement parallèlement à l'axe longitudinal (14).

7. Procédé selon l'une des revendications 5 et 6, dans lequel la courbe caractéristique est calculée à partir de la position d'au moins quatre points de mesure (P_i).

8. Procédé selon l'une des revendications 5 à 7, dans lequel la courbe caractéristique correspond à une courbe d'épaisseur donnée par :

$$E_p = [E_{p_F} \cdot \sin(2\pi t + \varphi_F)] + [E_{p_{2F}} \cdot \sin(4\pi t + \varphi_{2F})] + E_{p_{moy}}$$

où

-- E_{p_F} est l'amplitude de la variation de l'épaisseur calculée pour une excentration de l'objet par rapport à l'axe longitudinal,

-- φ_F est la phase de la variation de l'épaisseur calculée pour une excentration de l'objet par rapport à l'axe longitudinal,

-- $E_{p_{2F}}$ est l'amplitude de la variation de l'épaisseur calculée pour une ovalisation de l'objet,

-- φ_{2F} est la phase de la variation de l'épaisseur calculée pour une ovalisation de l'objet,

-- $E_{p_{moy}}$ est la valeur moyenne de l'épaisseur calculée sur l'ensemble des points de mesure,

-- t est la période d'échantillonnage de la courbe interpolée.

9. Procédé selon l'une des revendications 5 à 7, dans lequel la courbe caractéristique correspond au diamètre externe et est donnée par :

$$\varnothing_{ext} = [\varnothing_{Ext_{2F}} \cdot \sin(4\pi t + \varphi_{Ext_{2F}})] + \varnothing_{moy}$$

où

-- $\varnothing_{Ext_{2F}}$ est l'amplitude de la variation calculée pour le diamètre externe de l'objet,

-- $\varphi_{Ext_{2F}}$ est la phase de la variation calculée pour le diamètre externe de l'objet,

-- \varnothing_{moy} est la valeur moyenne du diamètre calculé sur l'ensemble des points de mesure,

-- t est la période d'échantillonnage de la courbe interpolée.

5 10. Procédé selon l'une des revendications 5 à 7, dans lequel, la courbe caractéristique correspond respectivement à l'amplitude et à la phase de l'ovalisation du diamètre interne et est donnée par :

$$\text{Module}(\text{Ov}_{\text{int}}) = \sqrt{([\text{Sin}(\text{Ov}_{\text{int}})]^2 + [\text{Cos}(\text{Ov}_{\text{int}})]^2)} = \varnothing_{\text{Int}2F}$$

$$10 \quad \text{Phase}(\text{Ov}_{\text{int}}) = \text{Atg}[\text{Sin}(\text{Ov}_{\text{int}})/\text{Cos}(\text{Ov}_{\text{int}})] = \varphi_{\text{Int}2F}$$

où

$$\text{Sin}(\text{Ov}_{\text{int}}) = (\sum \text{Eplnt}_i \cdot \sin 2F_i) / (n/2)$$

$$\text{Cos}(\text{Ov}_{\text{int}}) = (\sum \text{Eplnt}_i \cdot \cos 2F_i) / (n/2)$$

avec :

$$15 \quad \text{-- Eplnt}_i = \text{ep}_i - (\varnothing_i - \varnothing_{\text{moy}}),$$

-- \varnothing_{moy} : la valeur moyenne du diamètre calculé sur l'ensemble des points de mesure,

-- \varnothing_i : est une valeur d'échantillonnage du diamètre externe,

20 -- $2F_i$ est la fréquence d'ovalisation,
-- n égal au nombre de points de mesure.

11. Procédé selon l'une des revendications 5 à 10, dans lequel l'émission des ondes impulsionnelles est simultanée à partir d'un ensemble d'émetteurs sensiblement
25 également répartis angulairement autour de l'axe longitudinal (14).

12. Procédé selon l'une des revendications 5 à 10, dans lequel l'émission des ondes impulsionnelles est réalisée séquentiellement sur un ensemble d'émetteurs (Si)
30 sensiblement également répartis angulairement autour de l'axe longitudinal (14).

13. Programme d'ordinateur pour la mise en œuvre, lorsque ce programme est exécuté sur un ordinateur, d'un procédé de caractérisation dimensionnelle d'un objet (8) comportant une surface sensiblement cylindrique de révolution autour d'un axe longitudinal (14), tel qu'une barre ou un tube, ce programme comprenant les instructions pour

- déclencher l'émission d'au moins deux ondes impulsionnelles par au moins un émetteur (Si),
- 10 - calculer de manière synchronisée par rapport à l'émission des ondes impulsionnelles, la position d'au moins deux points de mesure (Pi), à partir de données recueillies par au moins un récepteur et correspondant à une onde impulsionnelle réfléchiée par la surface cylindrique et
- 15 - calculer une courbe caractéristique de la surface cylindrique, sur 360 degrés autour de l'axe longitudinal (14) et passant par chacun des points de mesure (Pi), par interpolation à partir de la position correspondante de chacun de ces points (Pi).

20 14. Programme selon la revendication 13, dans lequel la courbe caractéristique est calculée à partir de la position d'au moins quatre points de mesure (Pi).

25 15. Programme selon l'une des revendications 13 et 14, dans lequel la courbe caractéristique correspond à une courbe d'épaisseur donnée par :

$$E_p = [E_{p_F} \cdot \sin(2\pi t + \phi_F)] + [E_{p_{2F}} \cdot \sin(4\pi t + \phi_{2F})] + E_{p_{moy}}$$

où

-- E_{p_F} est l'amplitude de la variation de l'épaisseur calculée pour une excentration de l'objet par rapport à l'axe longitudinal,

-- ϕ_F est la phase de la variation de l'épaisseur calculée pour une excentration de l'objet par rapport à l'axe longitudinal,

-- $E_{p_{2F}}$ est l'amplitude de la variation de l'épaisseur calculée pour une ovalisation de l'objet,

-- φ_{2F} est la phase de la variation de l'épaisseur calculée pour une ovalisation de l'objet,

5 -- $E_{p_{moy}}$ est la valeur moyenne de l'épaisseur calculée sur l'ensemble des points de mesure,

-- t est la période d'échantillonnage de la courbe interpolée.

16. Programme selon l'une des revendications 13 et
10 14, dans lequel la courbe caractéristique correspond au diamètre externe et est donnée par :

$$\varnothing_{ext} = [\varnothing_{Ext_{2F}} \cdot \sin(4\pi t + \varphi_{Ext_{2F}})] + \varnothing_{moy}$$

où

-- $\varnothing_{Ext_{2F}}$ est l'amplitude de la variation calculée
15 pour le diamètre externe de l'objet,

-- $\varphi_{Ext_{2F}}$ est la phase de la variation calculée pour le diamètre externe de l'objet,

-- \varnothing_{moy} est la valeur moyenne du diamètre calculé sur l'ensemble des points de mesure,

20 -- t est la période d'échantillonnage de la courbe interpolée.

17. Programme selon l'une des revendications 13 et
14, dans lequel la courbe caractéristique correspond respectivement à l'amplitude et à la phase de l'ovalisation
25 du diamètre interne et est donnée par :

$$\text{Module}(Ov_{int}) = \sqrt{([\text{Sin}(Ov_{int})]^2 + (\text{Cos}(Ov_{int}))^2)} = \varnothing_{Int_{2F}}$$

$$\text{Phase}(Ov_{int}) = \text{Atg}[\text{Sin}(Ov_{int})/\text{Cos}(Ov_{int})] = \varphi_{Int_{2F}}$$

où

$$\text{Sin}(Ov_{int}) = (\sum E_{p_{Int_i}} \cdot \sin 2F_i) / (n/2)$$

30
$$\text{Cos}(Ov_{int}) = (\sum E_{p_{Int_i}} \cdot \cos 2F_i) / (n/2)$$

avec :

-- $Eplnt_i = ep_i - (\varnothing_i - \varnothing_{moy})$,

-- \varnothing_{moy} : la valeur moyenne du diamètre calculé sur l'ensemble des points de mesure,

-- \varnothing_i : est une valeur d'échantillonnage du diamètre
5 externe,

-- $2F_i$ est la fréquence d'ovalisation,

-- n égal au nombre de points de mesure.

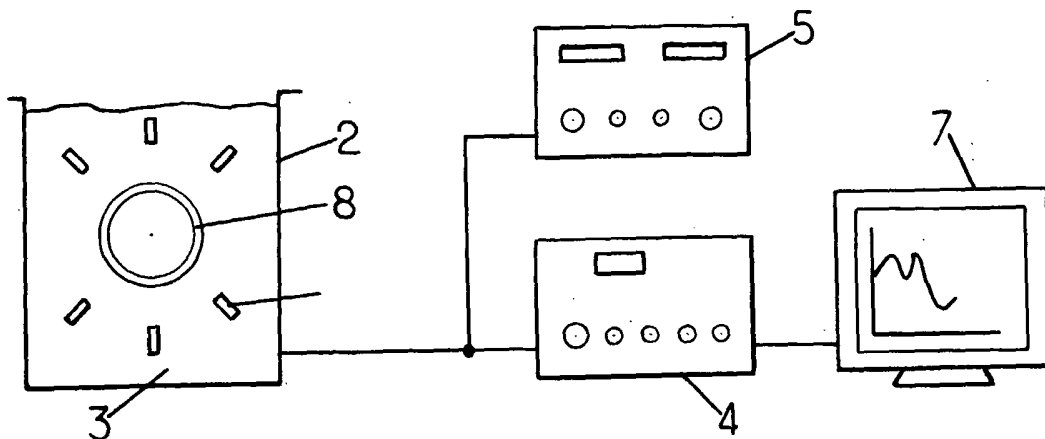
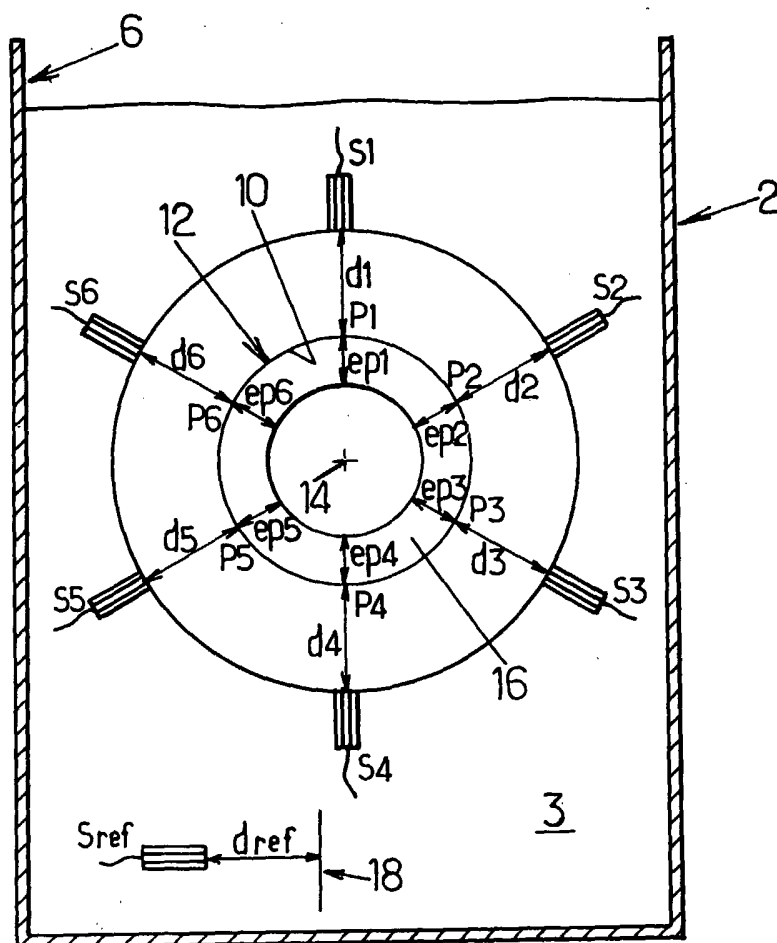


FIG.1.



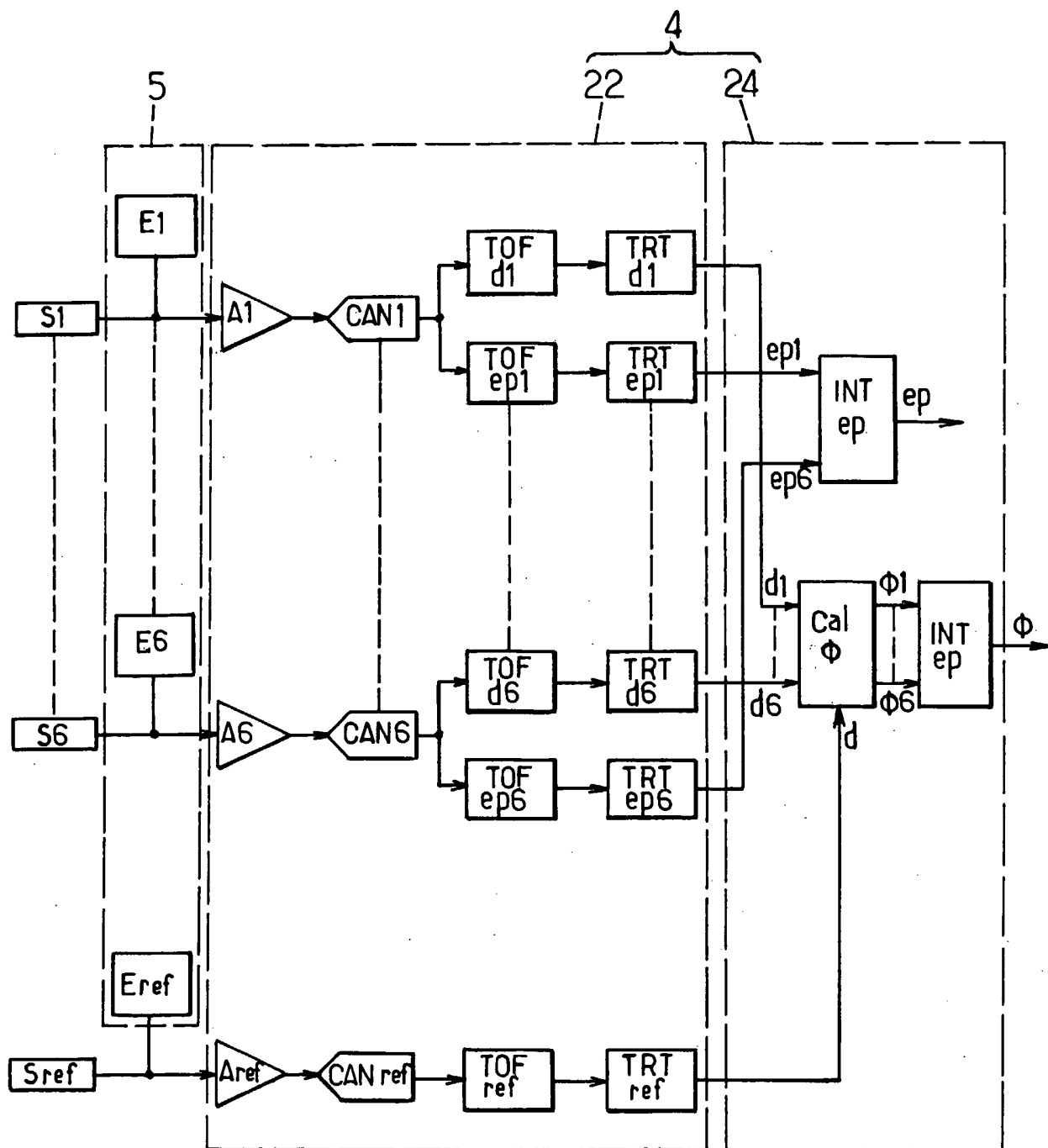


FIG.3.



FIG.4.

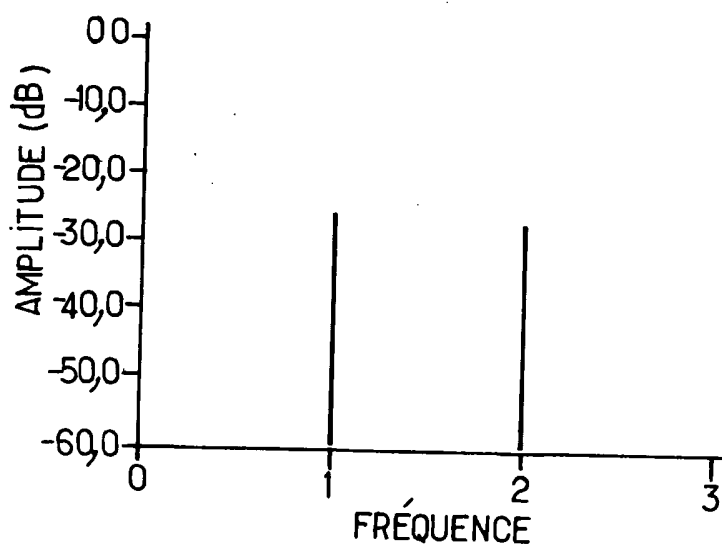


FIG.5.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/FR2005/001257

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 G01B7/12 G01B7/287 G01B17/02 G01B17/06 G01N29/10

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 G01B G01N

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, PAJ, WPI Data, IBM-TDB, INSPEC

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	<p>EP 0 304 053 A (NIPPON KOKAN KK) 22 February 1989 (1989-02-22) abstract; figures 1,2,6-10 page 2, lines 36-48 page 4, lines 25-29 page 4, lines 46-50 page 5, lines 2-27 page 5, line 45 - page 6, line 7 page 6, lines 17-21</p> <p style="text-align: center;">----- -/--</p>	1-17

Further documents are listed in the continuation of box C.

Patent family members are listed in annex.

° Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

19 October 2005

Date of mailing of the international search report

27/10/2005

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Popovici, M

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/FR2005/001257

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	FR 2 833 706 A (SETVAL) 20 June 2003 (2003-06-20) abstract; figures 5,6,10,12,13 page 1, lines 19-26 page 2, lines 1-12 page 4, lines 4-9 page 5, lines 22-24 page 9, lines 1-6 page 19, lines 18-21	1-17
A	----- PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 1997, no. 11, 28 November 1997 (1997-11-28) -& JP 09 184827 A (MITSUBISHI HEAVY IND LTD), 15 July 1997 (1997-07-15) abstract; figures 1-3 -----	1-17

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
 information on patent family members

International Application No
 PCT/FR2005/001257

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 0304053	A	22-02-1989	CA 1292306 C 19-11-1991
			DE 3853323 D1 20-04-1995
			DE 3853323 T2 07-09-1995
			JP 1050903 A 27-02-1989
			JP 1828102 C 28-02-1994
			NO 883709 A 22-02-1989
			US 4964059 A 16-10-1990

FR 2833706	A	20-06-2003	AU 2002361441 A1 23-06-2003
			BR 0214900 A 30-11-2004
			CA 2469605 A1 19-06-2003
			CN 1602424 A 30-03-2005
			EP 1454132 A1 08-09-2004
			WO 03050527 A1 19-06-2003
			JP 2005512088 T 28-04-2005
			US 2005156364 A1 21-07-2005

JP 09184827	A	15-07-1997	NONE

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande Internationale No

PCT/FR2005/001257

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE		
CIB 7	G01B7/12	G01B7/287
	G01B17/02	G01B17/06
		G01N29/10
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB		
B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE		
Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)		
CIB 7	G01B	G01N
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche		
Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)		
EPO-Internal, PAJ, WPI Data, IBM-TDB, INSPEC		
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie *	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	EP 0 304 053 A (NIPPON KOKAN KK) 22 février 1989 (1989-02-22) abrégé; figures 1,2,6-10 page 2, ligne 36-48 page 4, ligne 25-29 page 4, ligne 46-50 page 5, ligne 2-27 page 5, ligne 45 - page 6, ligne 7 page 6, ligne 17-21 ----- -/--	1-17
<input checked="" type="checkbox"/>	Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents	<input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe
° Catégories spéciales de documents cités:		
"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée) "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée		"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier "&" document qui fait partie de la même famille de brevets
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée		Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale
19 octobre 2005		27/10/2005
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale		Fonctionnaire autorisé
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016		Popovici, M

C.(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	FR 2 833 706 A (SETVAL) 20 juin 2003 (2003-06-20) abrégé; figures 5,6,10,12,13 page 1, ligne 19-26 page 2, ligne 1-12 page 4, ligne 4-9 page 5, ligne 22-24 page 9, ligne 1-6 page 19, ligne 18-21	1-17
A	----- PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 1997, no. 11, 28 novembre 1997 (1997-11-28) -& JP 09 184827 A (MITSUBISHI HEAVY IND LTD), 15 juillet 1997 (1997-07-15) abrégé; figures 1-3 -----	1-17

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande Internationale No

PCT/FR2005/001257

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)		Date de publication
EP 0304053	A	22-02-1989	CA	1292306 C	19-11-1991
			DE	3853323 D1	20-04-1995
			DE	3853323 T2	07-09-1995
			JP	1050903 A	27-02-1989
			JP	1828102 C	28-02-1994
			NO	883709 A	22-02-1989
			US	4964059 A	16-10-1990
FR 2833706	A	20-06-2003	AU	2002361441 A1	23-06-2003
			BR	0214900 A	30-11-2004
			CA	2469605 A1	19-06-2003
			CN	1602424 A	30-03-2005
			EP	1454132 A1	08-09-2004
			WO	03050527 A1	19-06-2003
			JP	2005512088 T	28-04-2005
			US	2005156364 A1	21-07-2005
			JP 09184827	A	15-07-1997