

(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
16 janvier 2014 (16.01.2014)

WIPO | PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2014/009632 A1

(51) Classification internationale des brevets :
G01N 29/04 (2006.01) G01N 29/22 (2006.01)
G01N 29/07 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2013/051556

(22) Date de dépôt international :
2 juillet 2013 (02.07.2013)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
1256629 10 juillet 2012 (10.07.2012) FR

(71) Déposant : SNECMA [FR/FR]; 2 Boulevard du Général
Martial Valin, F-75015 Paris (FR).

(72) Inventeur : CHATELLIER, Jean-Yves, François, Ro-
ger; c/o SNECMA PI (AJI), Rond-point René Ravaud-
Réau, F-77550 Moissy-cramayel Cedex (FR).

(74) Mandataires : LEFEVRE, David et al.; CABINET
BEAU DE LOMENIE, 158 rue de l'Université, F-75340
Paris Cedex 07 (FR).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

— avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))

(54) Title : METHOD FOR CHARACTERISING AN OBJECT COMPRISING, AT LEAST LOCALLY, A PLANE OF SYMMETRY

(54) Titre : PROCEDE DE CARACTERISATION D'UN OBJET COMPRENANT AU MOINS LOCALEMENT UN PLAN DE SYMETRIE

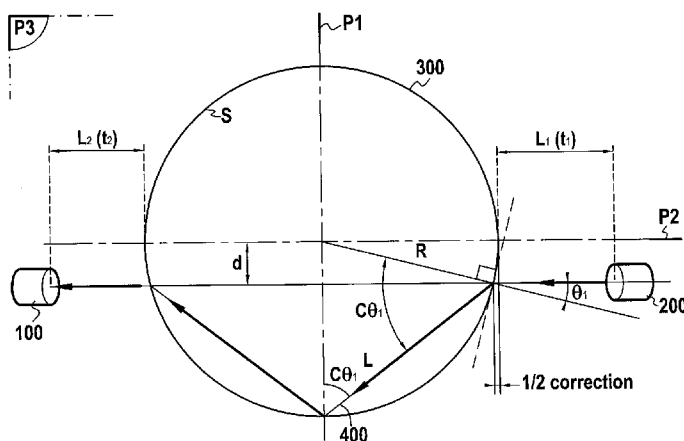


FIG.2

(57) Abstract : The invention concerns a method for characterising an object (300) comprising, at least locally, a plane of symmetry (PI), the method comprising at least one observation of ultrasound emitted by said object, each observation being carried out on an axis (d) perpendicular to the plane of symmetry (PI), each observation following an ultrasound emission generated respectively according to said axis (d) and meeting the object (300) along said axis (d) with an angle of incidence (-1) different from the normal, the ultrasound meeting the object (300) in such a way as to follow a path symmetrical to the plane of symmetry (PI).

(57) Abrégé :

[Suite sur la page suivante]

WO 2014/009632 A1



L'invention concerne un procédé de caractérisation d'un objet (300) comprenant au moins localement un plan de symétrie (PI), le procédé comprenant au moins une observation d'ultrasons transmis par ledit objet, chaque observation étant effectuée sur un axe (d) perpendiculaire au plan de symétrie (PI), chaque observation faisant suite à une émission d'ultrasons générés selon, respectivement ledit axe (d) et rencontrant l'objet (300) selon ledit axe (d) avec une incidence (-1) différente de la normale, les ultrasons rencontrant l'objet (300) en sorte de suivre un trajet symétrique par rapport au plan de symétrie (PI).

Procédé de caractérisation d'un objet comprenant au moins localement un plan de symétrie

5 Domaine technique et art antérieur

L'invention s'inscrit dans le domaine des méthodes d'étude et de caractérisation des pièces pour l'industrie, notamment pour déterminer les propriétés mécaniques volumiques et les caractéristiques de surface.

10 L'invention s'applique notamment à des éléments de petites tailles pour lesquelles il n'est pas possible de mener des essais mécaniques de traction. C'est par exemple le cas des billes de roulements à billes, de diamètre de l'ordre du centimètre. L'invention est particulièrement destinée aux pièces présentant une surface, qui dans un plan de section est courbe.

On ne connaît pas actuellement de solution permettant de déterminer l'isotropie
15 interne d'un tel petit élément, ni ses caractéristiques mécaniques comme le module d'Young ou le coefficient de Poisson. Or ces pièces doivent être bien connues pour assurer la fiabilité des roulements.

On connaît les techniques de caractérisation par mesure d'onde ultrasonore, notamment d'onde réfléchie, mais aussi d'onde réfractée ou d'onde de surface.

20 Ainsi les documents FR2806162 et EP1691193 présentent des systèmes de détection de défaut par un traducteur mesurant les ondes réfléchies, la surface de matériau irradiée par les ultrasons étant plane.

Le document EP1767898 divulgue quant à lui d'utiliser l'onde de Rayleigh, qui est une onde de surface, produite à la surface d'une pièce exposée à une onde
25 ultrasonore incidente, pour mesurer l'épaisseur d'une couche superficielle, comme une couche de nitruration.

Et le document FR2930034 enseigne d'utiliser l'onde réfractée longitudinale pour mesurer des contraintes résiduelles dans un matériau ayant subi un traitement.

On utilise à ces différentes fins des traducteurs ultrasonores pour l'inspection par
30 contact, ou des traducteurs ultrasonores pour l'inspection de pièces immergées. Les méthodes utilisant ces traducteurs ont l'avantage d'être non destructives.

Définition de l'invention – avantages apportés par celle-ci

L'invention proposée est un procédé de caractérisation d'un objet comprenant au moins localement un plan de symétrie, le procédé comprenant au moins une observation d'ultrasons transmis par ledit objet, chaque observation étant effectuée sur un axe perpendiculaire au plan de symétrie, chaque observation faisant suite à une émission d'ultrasons rencontrant l'objet selon ledit axe avec une incidence différente de la normale, les ultrasons rencontrant l'objet en sorte de suivre un trajet symétrique par rapport au plan de symétrie.

L'analyse du temps de parcours de l'onde ultrasonore et/ou de la position de l'axe sur lequel sont effectuées l'émission et l'observation permet de caractériser l'objet, qu'il soit petit ou grand, ce qui constitue un avantage important par rapport aux techniques antérieures, qui ne permettaient pas de caractériser un petit élément.

Le fait que les ultrasons rencontrent l'objet avec une incidence différente de la normale permet d'utiliser la surface de l'objet comme un outil de conversion de mode (ondes de volume ou de surface), ce qui apporte des informations supplémentaires par rapport à l'observation d'une onde transmise ou réfléchie.

L'utilisation d'un trajet symétrique par rapport à un plan de symétrie permet d'utiliser des transducteurs d'émission et de réception en vis-à-vis, faciles à mettre en place et à régler.

Dans un mode de réalisation particulier, on déplace des transducteurs ultrasonores émetteur et récepteur positionnés de manière coaxiale tout en effectuant l'émission d'ultrasons et l'observation d'ultrasons transmis, et on observe au moins deux ondes parmi les ondes longitudinales, transversales, et de Rayleigh créées par les ultrasons émis. Les propriétés déterminées par un tel procédé de caractérisation peuvent inclure le module d'Young ou le Coefficient de Poisson de l'objet.

Il peut être avantageux d'observer les trois ondes parmi les ondes longitudinales, transversales, et de Rayleigh et de valider le procédé en utilisant la formule de Viktorov.

Dans un autre mode de réalisation, l'objet ayant un deuxième plan de symétrie perpendiculaire au premier plan de symétrie, on déplace de part et d'autre du deuxième plan de symétrie des transducteurs ultrasonores émetteur et récepteur

positionnés de manière coaxiale tout en effectuant l'émission d'ultrasons et l'observation d'ultrasons transmis et on observe de part et d'autre du deuxième plan de symétrie deux ondes longitudinales, ou deux ondes transversales. Les propriétés de l'objet déterminées par un tel procédé de caractérisation peuvent

5 inclure un caractère isotrope ou anisotrope au moins dans un plan.

Dans un autre mode de réalisation, on observe au moins une onde de Rayleigh créée à la surface dudit objet par les ultrasons le rencontrant. La mesure du temps de parcours permet de détecter la présence d'une couche ou d'une zone résultant d'un traitement de surface sur l'objet.

10 L'invention est appliquée tout particulièrement quand l'objet a une surface qui comprend au moins un arc d'ellipse, ou un arc de cercle. L'objet est en particulier une bille ou un rouleau de roulement, mais d'autres applications sont possibles.

Brève description des figures

15 La figure 1 présente une étape préliminaire d'un mode de réalisation d'un procédé selon l'invention.

La figure 2 présente une étape ultérieure d'un mode de réalisation d'un procédé selon l'invention.

La figure 3 présente les éléments importants d'un mode de réalisation de l'invention.

20 Les figures 4 à 9 présentent des visualisations des éléments importants présentés en figure 3, pour deux utilisations du procédé selon l'invention.

La figure 10 présente les éléments importants d'un autre mode de réalisation de l'invention.

Description de modes de réalisation

25 En **figure 1**, on a représenté une étape de réglage d'un appareil de caractérisation, pour la caractérisation d'une bille de roulement. Cet appareil est basé sur l'utilisation de traducteurs ultrasonores à immersion.

L'appareil comprend un premier traducteur ultrasonore 100 et un deuxième traducteur ultrasonore 200, dans un volume d'eau 10. Ils sont positionnés de
30 manière coaxiale, en vis-à-vis l'un de l'autre, de part et d'autre d'une bille de roulement constituant une sphère 300. Il s'agit ici de traducteurs focalisés 4" de type Harisonic I7-1012-R, de fréquence 10 MHz, de diamètre 0,75" et dont la

tâche focale en point focal est estimée à 0.808 mm. D'autres traducteurs pourraient être utilisés.

Au cours de l'étape de réglage, les traducteurs sont actionnés en mode émission et réception. Ils sont réglés normalement au point de la sphère. Ainsi, en mode
5 transmission, les deux traducteurs 100 et 200 sont parfaitement coaxiaux. Les faisceaux d'ultrasons générés dans l'eau 10 sont coaxiaux.

L'ensemble constitué de la sphère et des deux traducteurs admet un plan de symétrie P1. La section de la sphère perpendiculaire au plan P1 et dans le plan de l'axe des traducteurs a une surface S qui est un cercle.

10 On mesure le temps de parcours correspondant à un aller-retour de l'onde de la surface du traducteur focalisé au point de la sphère associé au maximum d'amplitude de l'onde reçue. On obtient la hauteur de la colonne d'eau L1 entre le traducteur 100 et la surface de la sphère 300 en rapportant le temps t1 lu sur
l'écran de l'oscilloscope à la vitesse de l'onde dans l'eau, à savoir $V_{\text{eau}} = 1486,5$
15 m/s. On obtient la hauteur de la colonne d'eau L2 entre le traducteur 200 et la surface de la sphère 300 en procédant de même.

En **figure 2**, on a présenté une étape élémentaire d'un procédé selon l'invention. Les deux traducteurs 100 et 200 font l'objet d'une même translation, selon une direction perpendiculaire à leur axe commun, en partant de la configuration
20 représentée en figure 1, ou d'une autre configuration.

On effectue ensuite des mesures des signaux reçus par l'un des traducteurs, fonctionnant en mode réception (ici le traducteur 100), l'autre (le traducteur 200) fonctionnant en mode émission.

Pour une translation donnée des traducteurs, d'une distance d par rapport à la
25 position initiale, on connaît l'allongement du parcours des ultrasons dans l'eau, qui s'exprime de la manière suivante :

$$\text{correction} = 2.R(1 - \cos \theta_1)$$

Les signaux mesurés sont enregistrés et on constate, en observant tout d'abord deux maxima, la présence de deux ondes transmises, apparaissant à deux
30 distances d de l'axe initial des traducteurs.

La trajectoire d'une onde est représentée en figure 2, et porte la référence 400. L'onde parvient, depuis le traducteur émetteur 200, à la surface de la sphère 300

avec un angle θ_1 par rapport à la normale. Elle est déviée à l'interface eau/sphère par le phénomène de réfraction et progresse dans la sphère avec un angle $C\theta_1$ par rapport à la normale. Elle rencontre la surface de la sphère après un parcours L , et, pour la fraction qui nous intéresse, est réfléchiée par cette surface. Elle effectue ensuite un deuxième parcours dans la sphère, puis atteint une nouvelle fois sa surface, qui la réfracte. L'onde progresse ensuite dans l'eau.

La particularité des distances d pour lesquelles des maxima sont observés est que la réflexion a lieu à égale distance des deux traducteurs, et que l'onde, après la deuxième réfraction, se dirige vers le traducteur récepteur 100.

- 10 Qui plus est, en exploitant le fait que la réflexion se fait avec un angle $2 C\theta_1$, ce qui est dû au caractère symétrique de la bille, on a $\tan C\theta_1 = (R - \text{correction}/2) / (R-d)$.

Les lois de Snell-Descartes permettent alors d'obtenir l'angle $C\theta_1$ qui s'exprime

$$C\theta_1 = \tan^{-1} \frac{R - d}{R \cos \theta_1}$$

- 15 La distance L parcourue par l'onde entre l'une des réfractions (en entrée ou en sortie) et la réflexion est

$$L = \frac{R - d}{\sin C\theta_1}$$

Le temps de parcours de l'onde à l'intérieur de la sphère 300 peut être déduit en tenant compte de la correction liée à l'allongement des colonnes d'eau L_1 et L_2 .

- 20 On en déduit la vitesse de propagation de l'onde dans la sphère.

Ce calcul est effectué pour l'onde longitudinale, qui apparaît la première au cours du déplacement des traducteurs à partir de leurs positions initiales, puis pour l'onde transversale, qui apparaît ultérieurement avec une amplitude supérieure.

- En poursuivant le déplacement des traducteurs, on observe une troisième onde, 25 qui est une onde de surface, appelée l'onde de Rayleigh. Cette onde n'apparaît que pour un angle d'incidence particulier. Une fois créée, elle rayonne lors de sa propagation le long de la surface, avec un angle égal à l'angle de l'onde incidente qui l'a créée, à savoir ici l'angle θ_1 .

En notant Φ le diamètre de la sphère, la distance parcourue par l'onde de Rayleigh qui est captée par le traducteur récepteur est la longueur d'un secteur de cercle s'exprimant comme suit

$$L = \frac{2\pi\Phi}{4} \left(\frac{90 - \theta_1}{90} \right)$$

- 5 Il est aisé, connaissant cette distance ainsi que la longueur corrigée des colonnes d'eau, de déterminer la vitesse de propagation de l'onde de Rayleigh.

En **figure 3**, on a représenté les trois ondes détectées successivement lors du déplacement des traducteurs : l'onde longitudinale A, l'onde transversale B et l'onde de Rayleigh C.

- 10 A partir des vitesses des ondes, on déduit le coefficient de Poisson et le module d'Young du matériau de la sphère 300.

On a appliqué la méthode à une bille de roulement en acier inoxydable de rayon 9,523 mm. Les résultats obtenus sont les suivants.

Onde longitudinale

- 15 $d = 1,729$ mm
 $\theta_1 = 10,46^\circ$
 Temps de parcours dans l'eau = 132,64 μ s
 $C_{\theta 1} = 39,77^\circ$
 $L = 12,183$ mm

- 20 Temps de parcours mesuré = 136,73 μ s
 Vitesse dans la sphère = 5 957,4 m/s

Onde transversale

- $d = 3,539$ mm
 $\theta_1 = 21,82^\circ$
 25 Temps de parcours dans l'eau = 133,35 μ s
 $C_{\theta 1} = 34,09^\circ$
 $L = 21,351$ mm
 Temps de parcours mesuré = 139,94 μ s
 Vitesse dans la sphère = 3 238,8 m/s

- 30 Onde de Rayleigh

$d = 4,677$ mm

$$\theta_1 = 29,415^\circ$$

Temps de parcours dans l'eau = 131,106 μ s

$$L = 20,139 \text{ mm}$$

Temps de parcours mesuré = 137,80 μ s

5 Vitesse à la surface de la sphère = 3 008,9 m/s

La méthode est validée en comparant la vitesse déduite pour l'onde de Rayleigh par mesure, à celle obtenue par la loi de Viktorov sur la base des vitesses des ondes longitudinales et transversales, suivant la formule

$$V_R = V_T \frac{0,718 - \frac{V_T^2}{V_L^2}}{0,75 - \frac{V_T^2}{V_L^2}}$$

10 La vitesse de l'onde de Rayleigh obtenue par la loi de Viktorov est de 3 010,7 m/s, ce qui est très proche de la valeur obtenue par mesure.

Les valeurs d'au moins deux des ondes parmi l'onde transversale, l'onde longitudinale et l'onde de Rayleigh sont ensuite utilisées pour déduire le module d'Young et le coefficient de Poisson du matériau de la sphère, supposé homogène.

15 On obtient les valeurs suivantes

Module d'Young $E = 211,7 \text{ GPa}$

Coefficient de Poisson = 0,290.

Les **figures 4 à 6** présentent les spectres observés par le traducteur récepteur 100. En figure 4, on observe un maximum d'amplitude pour $d = 1,729 \text{ mm}$ pour l'onde longitudinale. En figure 5, on observe un maximum d'amplitude à $d = 3,539 \text{ mm}$ pour l'onde transversale, et en figure 6, on observe un maximum d'amplitude à $d = 4.677$ pour l'onde de Rayleigh. On constate que c'est l'onde transversale qui est transmise avec la plus forte amplitude, alors que l'onde de Rayleigh est la plus faiblement transmise des trois ondes.

25 On a également appliqué la méthode à une bille de nitrure de silicium (Si_3N_4) de rayon 4,7615 mm. Les résultats obtenus sont les suivants

Onde longitudinale

$$V = 11\,827,3 \text{ m/s}$$

Onde transversale

30 $V = 6\,377,9 \text{ m/s}$

Onde de Rayleigh

$$V = 5\,916,6 \text{ m/s}$$

La loi de Viktorov donne 5933,4 m/s, ce qui valide une nouvelle fois la méthode.

Les caractéristiques mécaniques de la bille obtenues sur cette base sont

5 Module d'Young $E = 333,6 \text{ GPa}$

Coefficient de Poisson = 0,295.

Les **figures 7 à 9** présentent les spectres observés par le traducteur récepteur 100. L'axe des ordonnées représente la tension mesurée, et l'axe des abscisses le temps. En figure 7, on observe un maximum d'amplitude pour $d = 0,359 \text{ mm}$ pour l'onde longitudinale. En figure 8, on observe un maximum d'amplitude à $d = 0,753 \text{ mm}$ pour l'onde transversale, et en figure 9, on observe un maximum d'amplitude à $d = 1,007$ pour l'onde de Rayleigh.

En **figure 10**, on a représenté un deuxième mode de réalisation de l'invention. On déplace les traducteurs, toujours parallèlement l'un à l'autre, cette fois-ci dans deux directions, dans un sens puis dans l'autre, à partir de l'alignement initial. Ainsi, on scrute la matière de la bille, dans quatre directions. On utilise notamment le fait que la sphère dispose d'un deuxième plan de symétrie, noté P2 (voir les figures 1 à 3), ainsi que d'un troisième plan de symétrie P3 (non représenté), à savoir le plan des figures. Ces deux plans comprennent l'axe d'alignement initial des traducteurs.

Si les temps de parcours pour les déplacements des traducteurs pour lesquelles une onde donnée, transversale ou longitudinale, apparaît, sont identiques lors des quatre mesures, on peut conclure que la matière de la bille est isotrope.

Dans le cas de la bille d'acier inoxydable évoquée plus haut, on obtient les valeurs suivantes pour l'onde transversale : $Oz = - 3,540 \text{ mm}$ ($t=139,94 \text{ }\mu\text{s}$), $Oz = + 3,540 \text{ mm}$ ($t=139,96 \text{ }\mu\text{s}$), $Ox = - 3,537 \text{ mm}$ ($t=139,96 \text{ }\mu\text{s}$) et $Ox = + 3\,541 \text{ mm}$ ($t=139,94 \text{ }\mu\text{s}$).

Au vu de la proximité des valeurs, on peut conclure que la bille est effectivement isotrope.

30 Dans le cas de la bille de nitrure de silicium, on obtient les valeurs suivantes, toujours pour l'onde transversale : $Oz = - 1,010 \text{ mm}$ ($t=133,94 \text{ }\mu\text{s}$), $Oz = +$

1,125 mm ($t=134,03 \mu s$), $O_x = - 1,001$ mm ($t=133,99 \mu s$) et $O_x = + 1,200$ mm ($t=133,99 \mu s$).

Là aussi, au vu de la proximité des valeurs, on peut conclure que la bille est effectivement isotrope.

- 5 Le caractère isotrope ou anisotrope de la bille pourrait être étudié en comparant les valeurs obtenues pour les ondes longitudinales. On peut également se contenter de mesurer deux valeurs le long d'un axe, par exemple O_z dans la direction positive et O_z dans la direction négative, ce qui donne une information d'isotropie dans un plan.
- 10 Dans un troisième mode de réalisation, on observe l'onde de Rayleigh, référencée C en figure 3, avec un agencement comme celui de la figure 3. La mesure de la position de l'axe d'observation et/ou la détermination du temps de parcours de l'onde sur la surface permet de déterminer si la sphère 300 a été traitée en surface, par un traitement de surface tel que la nitruration, qui modifie la vitesse
- 15 de propagation de l'onde de Rayleigh, du fait de la présence en surface d'une couche ou d'une zone de nature chimique ou de propriétés physiques différentes de la matière initiale.

- En variante, on observe une seule ou plusieurs des trois ondes représentées en figure 3, pour un exemplaire donné de l'objet 300, et on compare les valeurs de
- 20 distance d et/ou de temps de parcours, à celles obtenues pour un exemplaire témoin de l'objet 300, de manière à vérifier que l'exemplaire étudié est conforme à l'exemplaire témoin.

- L'invention s'applique aussi à un cylindre de roulement, dont la section est par exemple circulaire. Elle s'applique aussi aux billes ou cylindres de roulement dont
- 25 la section est elliptique, et, de manière générale, aux objets de préférence convexes qui ont un plan de symétrie et par exemple une surface courbe dans un plan perpendiculaire au plan de symétrie. On déplace l'ensemble constitué des deux transducteurs parallèlement au plan de symétrie, de manière à diriger les ultrasons sur la surface à différents angles d'incidence. Quand l'onde transmise est
- 30 réfléchiée dans le plan de symétrie, elle est captée par le transducteur récepteur, et le temps de parcours et/ou la distance d permettent de caractériser l'objet. Le plan

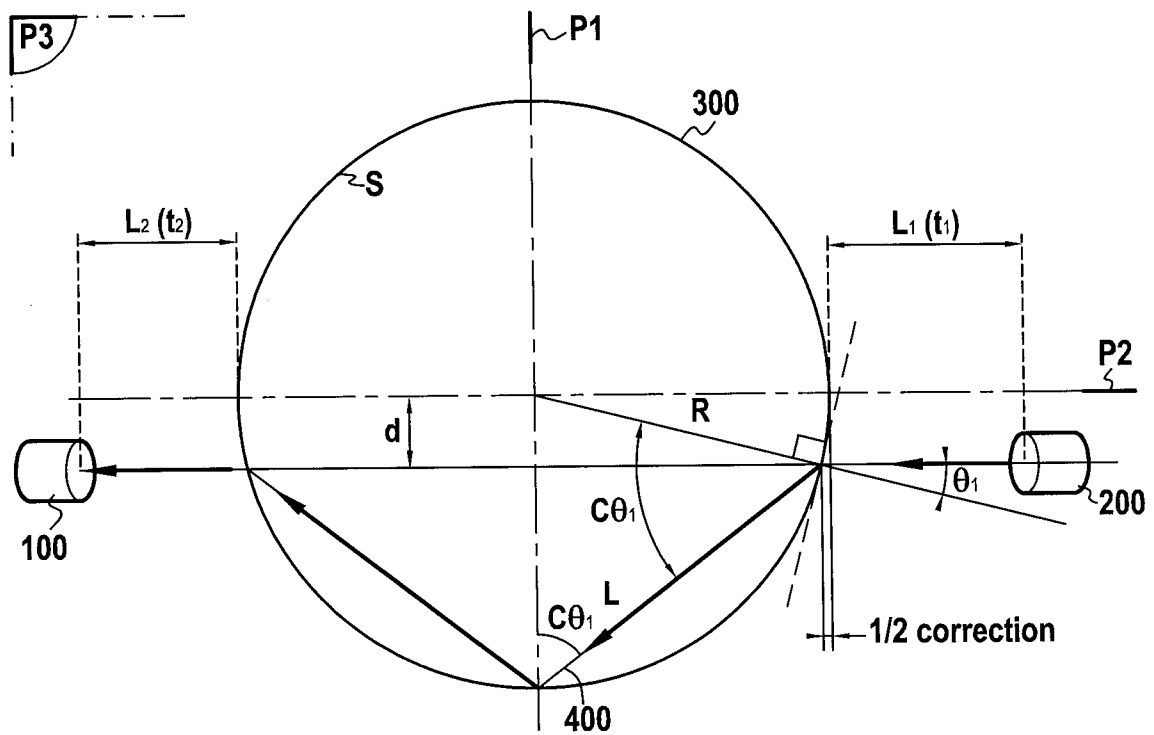
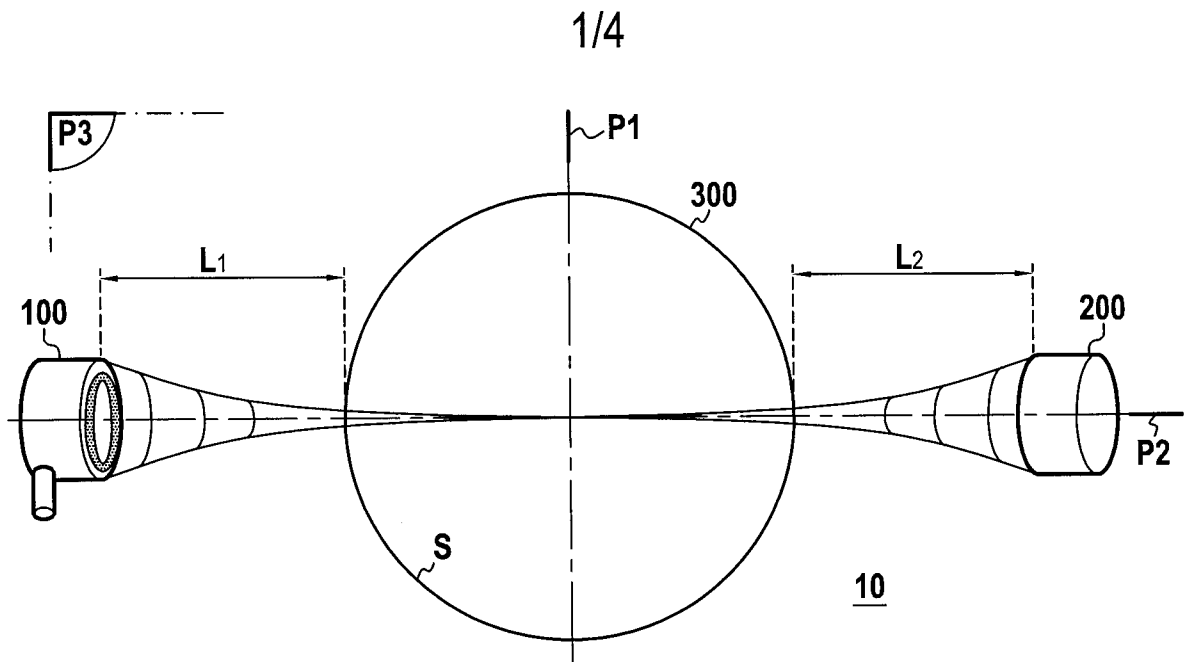
de symétrie peut être un plan de symétrie local, et la symétrie peut ne concerner que certaines des parties de l'objet à caractériser.

L'invention n'est pas limitée aux modes de réalisation qui ont été présentés, mais s'étend à toutes les variantes dans le cadre de la portée des revendications.

REVENDEICATIONS

- 5 1. Procédé de caractérisation d'un objet (300) comprenant au moins localement un plan de symétrie (P1), le procédé comprenant au moins une observation d'ultrasons (A, B, C) transmis par ledit objet, chaque observation étant effectuée sur un axe (d1, d2, d3) perpendiculaire au plan de symétrie (P1), chaque observation faisant suite à une émission
- 10 d'ultrasons générés selon, respectivement ledit axe (d1, d2, d3) et rencontrant l'objet (300) selon ledit axe (d1, d2, d3) avec une incidence (θ_1) différente de la normale, les ultrasons rencontrant l'objet (300) en sorte de suivre un trajet symétrique par rapport au plan de symétrie (P1), le temps de parcours de l'onde ultrasonore et/ou la position de l'axe sur
- 15 lequel sont effectués l'émission et l'observation étant analysés pour caractériser l'objet.
- 20 2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel on déplace des traducteurs ultrasonores émetteur et récepteur (100, 200) positionnés de manière coaxiale tout en effectuant l'émission d'ultrasons et l'observation d'ultrasons transmis (A, B, C), et on observe au moins deux ondes parmi les ondes longitudinales, transversales, et de Rayleigh créées par les ultrasons émis.
- 25 3. Procédé selon la revendication 2, dans lequel on observe les trois ondes (A, B, C) parmi les ondes longitudinales, transversales, et de Rayleigh et on valide le procédé en utilisant la formule de Viktorov.
- 30 4. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, dans lequel, l'objet ayant un deuxième plan de symétrie (P2, P3) perpendiculaire au premier plan de symétrie (P1), on déplace de part et d'autre du deuxième plan de symétrie (P2, P3) des traducteurs ultrasonores émetteur et récepteur (100, 200) positionnés de manière coaxiale tout en effectuant l'émission d'ultrasons et l'observation d'ultrasons transmis et on observe de part et d'autre du deuxième plan de symétrie (P2, P3) deux ondes longitudinales, ou deux ondes transversales.

5. Procédé selon l'une des revendications 1 à 4, dans lequel on observe au moins une onde de Rayleigh (C) créée à la surface dudit objet par les ultrasons le rencontrant.
- 5 6. Procédé selon l'une des revendications 1 à 5, dans lequel on utilise des traducteurs ultrasonores à immersion (100, 200).
7. Procédé selon l'une des revendications 1 à 6, dans lequel l'objet a une surface (S) qui comprend au moins un arc d'ellipse.
8. Procédé selon la revendication 7, dans lequel la surface (S) comprend au moins un arc de cercle.
- 10 9. Procédé selon l'une des revendications 1 à 8, dans lequel l'objet (300) est une bille ou un rouleau de roulement.



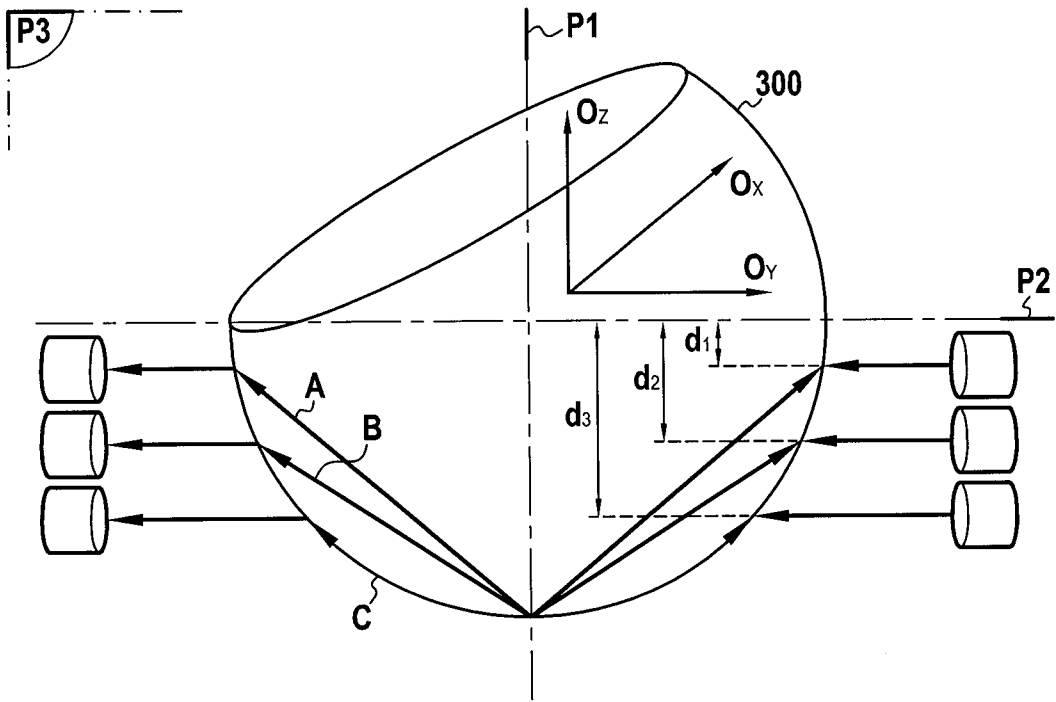


FIG.3

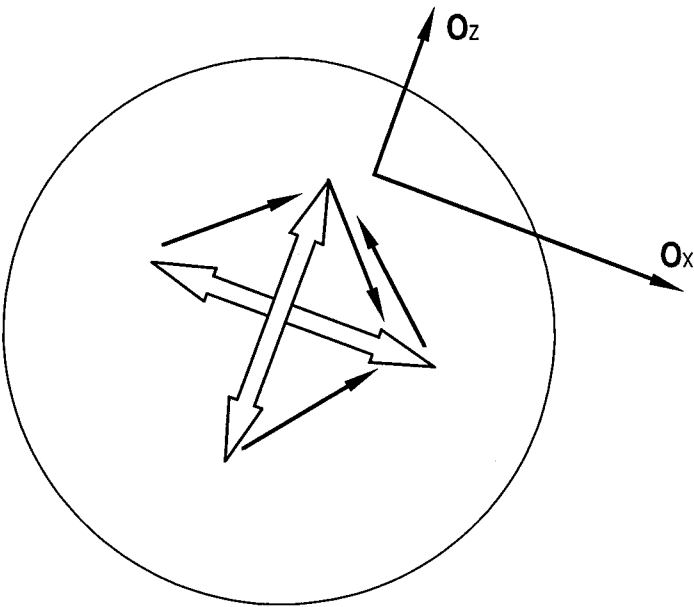


FIG.10

3/4

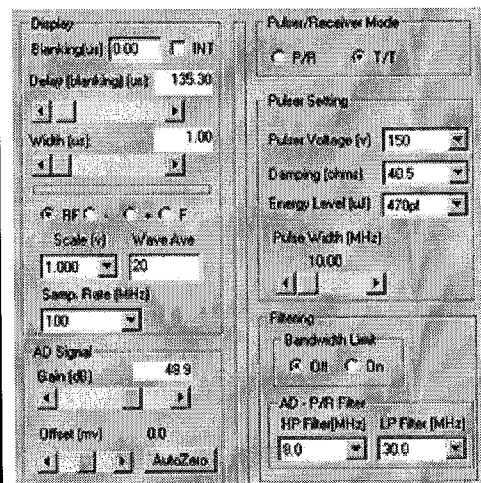
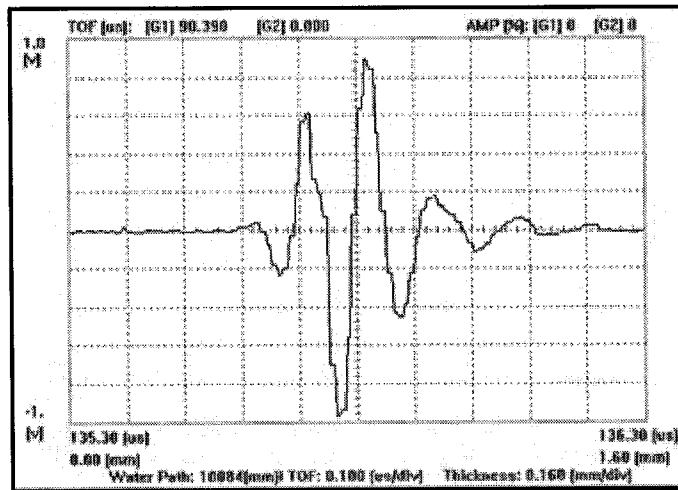


FIG.4

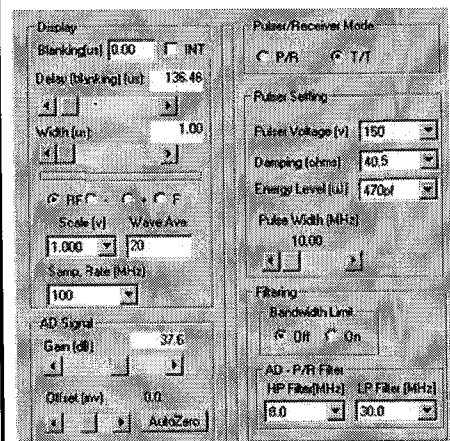
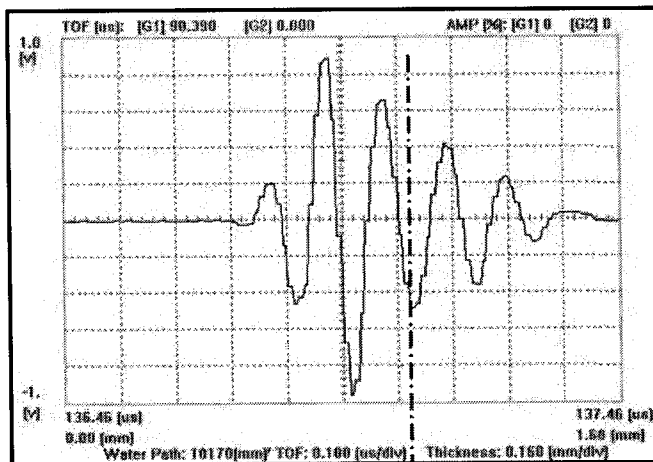


FIG.5

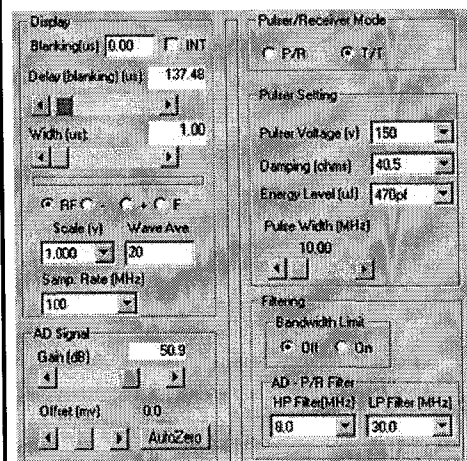
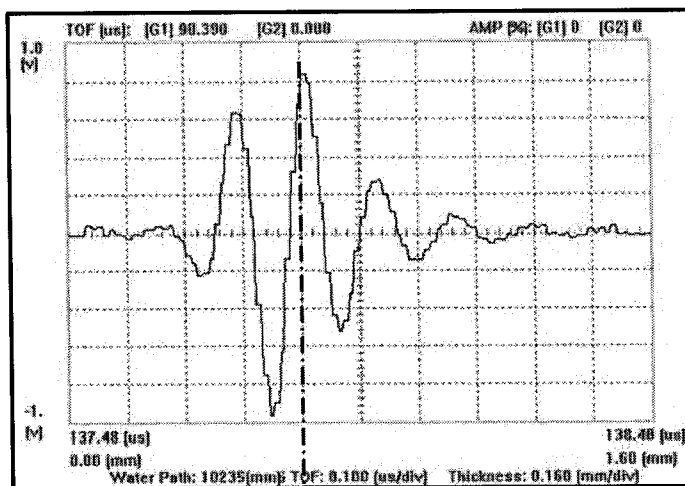


FIG.6

4/4

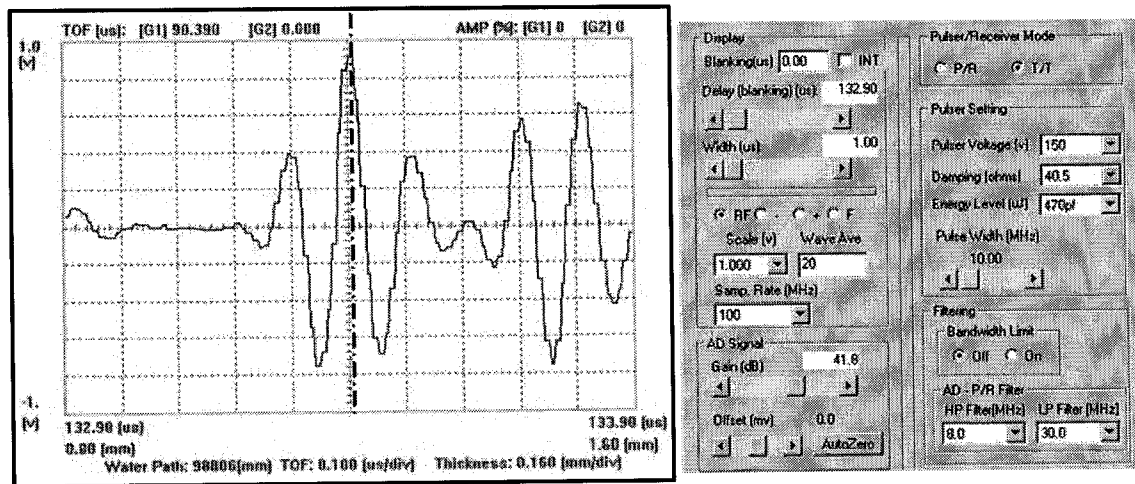


FIG.7

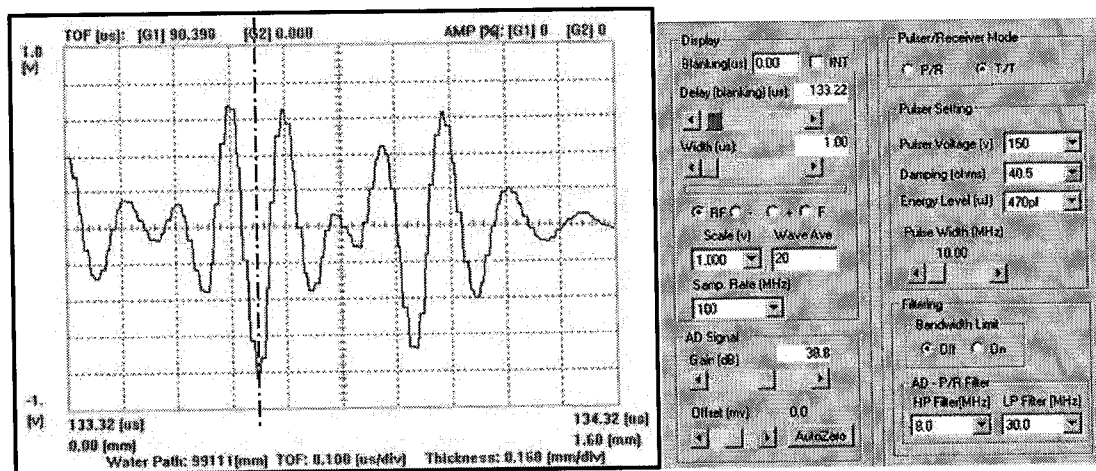


FIG.8

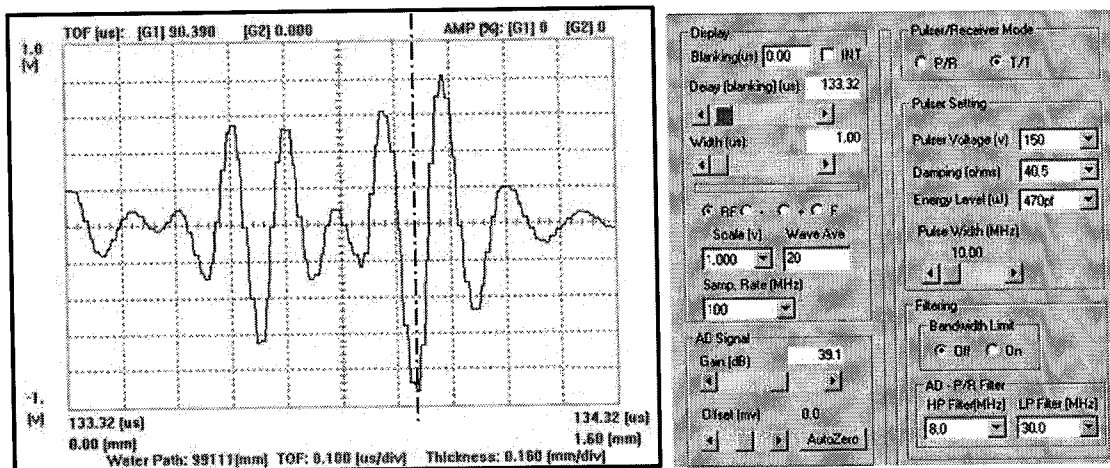


FIG.9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/FR2013/051556

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. G01N29/04 G01N29/07 G01N29/22
ADD.

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)
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 practicable, search terms used)

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	MCCARTNEY R N ET AL: "TRANSVERSE PATH OF ULTRASOUND WAVES IN THICK-WALLED CYLINDERS", MEDICAL AND BIOLOGICAL ENGINEERING AND COMPUTING, SPRINGER, HEILDELBERG, DE, vol. 33, no. 4, 1 July 1995 (1995-07-01), pages 551-557, XP000516477, ISSN: 0140-0118 page 552, left-hand column, lines 6-11 page 552, right-hand column, paragraphs 2.3, 2.3.1 page 553, left-hand column, paragraph 2.3.4; figure 2 ----- -/--	1-4,6-9



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family 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 application or patent 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

23 October 2013

Date of mailing of the international search report

30/10/2013

Name and mailing address of the ISA/

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

Authorized officer

Filipas, Alin

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/FR2013/051556

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2009/019937 A1 (DEEMER CHRISTOPHER M [US] ET AL) 22 January 2009 (2009-01-22) paragraphs [0002], [0023], [0024], [0027], [0032], [0035], [0044]; figure 2 -----	1,5-9
X	US 5 005 417 A (KAWASAKI KEIJI [JP] ET AL) 9 April 1991 (1991-04-09) abstract; figures 2,3,4 column 1, lines 11-15,39-53 column 4, lines 25-51 column 5, lines 5-55 -----	1,8,9
X	US 4 890 496 A (BIRRING ANMOL S [US] ET AL) 2 January 1990 (1990-01-02) column 1, lines 8-12 column 3, lines 44-53 column 6, lines 39-52; figures 2,7 abstract -----	1,7,8
A	US 5 243 862 A (LATIMER PAUL J [US]) 14 September 1993 (1993-09-14) column 1, lines 40-43 column 3, lines 47-65; figure 2 -----	1,7,8
A	DE 199 57 905 A1 (NUKEM NUTRONIK GMBH [DE] GE INSPECTION TECH GMBH [DE]) 3 May 2001 (2001-05-03) column 1, lines 3-9 column 4, lines 31-49 figure 1a -----	1,6-8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/FR2013/051556

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2009019937	A1	22-01-2009	NONE

US 5005417	A	09-04-1991	DE 3810906 A1 03-11-1988
		JP H0584865 B2 03-12-1993	
		JP S63243751 A 11-10-1988	
		US 5005417 A 09-04-1991	

US 4890496	A	02-01-1990	NONE

US 5243862	A	14-09-1993	CA 2070327 A1 05-12-1992
		US 5243862 A 14-09-1993	

DE 19957905	A1	03-05-2001	NONE

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/FR2013/051556

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. G01N29/04 G01N29/07 G01N29/22 ADD.		
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) 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 cela est réalisable, termes de recherche utilisés) EPO-Internal, WPI Data, INSPEC, COMPENDEX, IBM-TDB		
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	MCCARTNEY R N ET AL: "TRANSVERSE PATH OF ULTRASOUND WAVES IN THICK-WALLED CYLINDERS", MEDICAL AND BIOLOGICAL ENGINEERING AND COMPUTING, SPRINGER, HEILDELBERG, DE, vol. 33, no. 4, 1 juillet 1995 (1995-07-01), pages 551-557, XP000516477, ISSN: 0140-0118 page 552, colonne de gauche, ligne 6-11 page 552, colonne de droite, alinéas 2.3, 2.3.1 page 553, colonne de gauche, alinéa 2.3.4; figure 2 ----- -/--	1-4,6-9
☒ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents ☒ 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 23 octobre 2013	Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale 30/10/2013	
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Fonctionnaire autorisé Filipas, Alin

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	US 2009/019937 A1 (DEEMER CHRISTOPHER M [US] ET AL) 22 janvier 2009 (2009-01-22) alinéas [0002], [0023], [0024], [0027], [0032], [0035], [0044]; figure 2 -----	1,5-9
X	US 5 005 417 A (KAWASAKI KEIJI [JP] ET AL) 9 avril 1991 (1991-04-09) abrégé; figures 2,3,4 colonne 1, ligne 11-15,39-53 colonne 4, ligne 25-51 colonne 5, ligne 5-55 -----	1,8,9
X	US 4 890 496 A (BIRRING ANMOL S [US] ET AL) 2 janvier 1990 (1990-01-02) colonne 1, ligne 8-12 colonne 3, ligne 44-53 colonne 6, ligne 39-52; figures 2,7 abrégé -----	1,7,8
A	US 5 243 862 A (LATIMER PAUL J [US]) 14 septembre 1993 (1993-09-14) colonne 1, ligne 40-43 colonne 3, ligne 47-65; figure 2 -----	1,7,8
A	DE 199 57 905 A1 (NUKEM NUTRONIK GMBH [DE] GE INSPECTION TECH GMBH [DE]) 3 mai 2001 (2001-05-03) colonne 1, ligne 3-9 colonne 4, ligne 31-49 figure 1a -----	1,6-8

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/FR2013/051556

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2009019937	A1	22-01-2009	AUCUN	
US 5005417	A	09-04-1991	DE 3810906 A1 JP H0584865 B2 JP S63243751 A US 5005417 A	03-11-1988 03-12-1993 11-10-1988 09-04-1991
US 4890496	A	02-01-1990	AUCUN	
US 5243862	A	14-09-1993	CA 2070327 A1 US 5243862 A	05-12-1992 14-09-1993
DE 19957905	A1	03-05-2001	AUCUN	