

①⑨ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
—  
**INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE**  
—  
COURBEVOIE  
—

①① N° de publication : **3 059 426**

(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

②① N° d'enregistrement national : **16 61518**

⑤① Int Cl<sup>8</sup> : **G 01 N 29/04** (2006.01), G 01 N 29/46

①②

## BREVET D'INVENTION

B1

⑤④ PROCÉDE DE CONTROLE PAR ONDES GUIDÉES.

②② Date de dépôt : 25.11.16.

③③ Priorité :

④③ Date de mise à la disposition du public  
de la demande : 01.06.18 Bulletin 18/22.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du  
brevet d'invention : 25.01.19 Bulletin 19/04.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de  
recherche :

*Se reporter à la fin du présent fascicule*

⑥① Références à d'autres documents nationaux  
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : *SAFRAN*—FR et

⑦② Inventeur(s) : DUCOUSSO MATHIEU LOIC,  
JENSON FREDERIC, CHAPUIS BASTIEN  
JACQUES, RIBAY GUILLEMETTE DANIELLE  
JOELLE MARIE et TAUPIN LAURA.

⑦③ Titulaire(s) : *SAFRAN, COMMISSARIAT A  
L'ENERGIE ATOMIQUE ET AUX ENERGIES  
ALTERNATIVES.*

⑦④ Mandataire(s) : *CABINET BEAU DE LOMENIE.*

FR 3 059 426 - B1



## DOMAINE DE L'INVENTION

[0001] L'invention se rapporte au domaine des contrôles non destructifs d'assemblages de différents matériaux, et en particulier au domaine des contrôles non destructifs de collages structurels qui sont configurés pour assembler différents matériaux de manière à supporter la reprise d'efforts mécaniques.

[0002] De tels collages structurels trouvent par exemple une application dans le domaine aéronautique, où ils permettent d'assembler de manière solide et efficace différents matériaux pouvant présenter des profils complexes, au moyen d'une couche de matériau collant, sans alourdir la structure ni augmenter significativement les coûts de fabrication.

## ETAT DE LA TECHNIQUE ANTERIEURE

[0003] Il n'existe pas à ce jour de procédure de contrôle non destructif éprouvée qui permette de garantir la tenue mécanique d'un assemblage par collage de différents matériaux.

[0004] Les solutions existantes pour contrôler le collage de deux matériaux par une couche d'un matériau collant consistent actuellement à réaliser des prélèvements périodiques pour effectuer des mesures destructives.

[0005] Différentes recherches ont été menées pour trouver une méthode non destructive, celles-ci allant de la mesure d'absorption de rayonnement X à l'utilisation d'ondes ultrasonores en mode de réflexion. Cependant, compte tenu, d'une part, de la forte ressemblance, en particulier dans le domaine aéronautique, entre les caractéristiques mécaniques du matériau collant et des matériaux collés, tels que des composites à matrice organique, ainsi qu'en raison des épaisseurs caractéristiques considérées, de telles méthodes ne permettent pas de répondre de manière satisfaisante aux exigences d'efficacité et de fiabilité des contrôles.

[0006] Par ailleurs, en particulier pour une application dans le domaine aéronautique, par exemple pour le contrôle du collage des matériaux constituant une aube, compte tenu de la complexité du profil d'une telle pièce, qui présente habituellement une géométrie courbe, il est très difficile, voire impossible, de modéliser de manière satisfaisante de

telles pièces, et, par suite, de prédire numériquement le comportement des signaux ultrasonores.

#### PRESENTATION DE L'INVENTION

5 [0007] Le présent exposé concerne un procédé de contrôle non destructif qui est simple à réaliser, rapide et robuste pour permettre de contrôler, dans un environnement industriel, l'assemblage par collage de différents matériaux.

10 [0008] L'invention porte ainsi sur un procédé de contrôle non destructif d'un assemblage collé d'un premier matériau ayant une première épaisseur, une face supérieure et une face inférieure, d'un deuxième matériau ayant une deuxième épaisseur et une face supérieure et d'un troisième matériau collant ayant une troisième épaisseur, le troisième matériau collant étant disposé entre la face inférieure du premier matériau et la face supérieure du deuxième matériau de manière  
15 à assembler par collage les premier et deuxième matériaux, le procédé comprenant :

- une étape au cours de laquelle on dépose un traducteur ultrasonore sur la face supérieure du premier matériau ;
- une étape au cours de laquelle on génère des ondes guidées dans  
20 l'assemblage collé ;
- une étape au cours de laquelle on réalise un diagramme de courbe de dispersion dans un premier repère à partir de la réception des ondes guidées générées dans l'assemblage collé ;
- une étape au cours de laquelle on fournit une pluralité de courbes  
25 de dispersion de référence réalisées dans le premier repère, chacune desdites courbes de dispersion de référence étant obtenue par la génération d'ondes guidées dans un assemblage de référence des premier et deuxième matériaux collé par le troisième matériau collant, l'assemblage de référence collé présentant des  
30 épaisseurs calibrées ;
- une étape au cours de laquelle on compare le diagramme de courbe de dispersion de l'assemblage collé contrôlé à ladite pluralité de courbes de dispersion de référence ; et
- une étape au cours de laquelle on estime au moins l'une des  
35 première, deuxième et troisième épaisseurs de l'assemblage collé contrôlé.

[0009] On comprend donc que l'assemblage collé à contrôler est un assemblage tricouche des premier, deuxième et troisième matériaux, le troisième matériau collant s'étendant entre les premier et deuxième matériaux pour les assembler par collage.

5 [0010] De manière connue, le traducteur ultrasonore comporte des éléments alignés fonctionnant en mode émission et en mode réception.

[0011] De manière connue, le contact du traducteur ultrasonore sur la face supérieure du premier matériau est réalisé par les  
10 moyens classiquement utilisés lors d'un contrôle ultrasonore couplant visqueux ou liquide.

[0012] L'utilisation d'ondes ultrasonores guidées permet ainsi d'obtenir un diagramme de courbe de dispersion relatif à l'assemblage collé à contrôler ; il est ainsi possible d'obtenir, par  
15 extraction des signaux reçus par les éléments récepteurs du traducteur ultrasonore, une cartographie des niveaux d'énergie dans un premier repère. Cette cartographie prend par exemple la forme d'une représentation, par des niveaux de couleur ou de gris, de l'énergie en chaque point dudit premier repère. On y voit apparaître des lignes courbes  
20 de forte énergie, appelées « trajectoires », qui reflètent chacune un mode vibratoire et qui forment un ensemble caractéristique du milieu de propagation, en l'espèce de l'assemblage collé à contrôler. En comparant ce diagramme de courbe de dispersion à un ensemble de courbes de dispersion de référence réalisées dans ledit premier repère, on peut ainsi  
25 rapprocher les caractéristiques de l'assemblage collé à contrôler de celles de l'un des assemblages collés de référence, de manière à estimer les caractéristiques de l'assemblage collé à contrôler, et plus particulièrement pour estimer au moins l'une des épaisseurs des premier, deuxième et troisième matériaux.

30 [0013] Par courbe de dispersion de référence, on entend des courbes de dispersion, obtenues de manière similaire au diagramme de courbe de dispersion réalisé relativement à l'assemblage collé à contrôler, et en particulier réalisées dans le même premier repère que celui choisi pour le diagramme de courbe de dispersion, les courbes de  
35 dispersion de référence étant réalisée par génération d'ondes ultrasonores

guidées dans des assemblages collés de référence des premier, deuxième et troisième matériaux.

5 [0014] La réalisation du diagramme de courbe de dispersion ainsi que celle des courbes de dispersion de référence, à partir de l'émission d'ondes guidées dans un milieu donné, sont connues et sont en particulier décrites dans le document EP 2 440 140. Par exemple et de manière non limitative, le diagramme de courbe de dispersion et les courbes de dispersion de référence peuvent être obtenus en réalisant une transformation de Fourier bidimensionnelle (Bi-FFT) d'une unique acquisition où les éléments émetteurs du transducteur ultrasonore émettent un signal ultrasonore et où les éléments récepteurs détectent le signal ultrasonore qui s'est propagé dans l'assemblage collé des premier, deuxième et troisième matériaux ; alternativement, le diagramme et les courbes de dispersion de référence peuvent être obtenus en réalisant une série d'acquisitions successives où les éléments émetteurs du transducteur ultrasonore émettent le signal ultrasonore, les éléments récepteurs le détectant alors que les éléments émetteurs varient entre deux acquisitions successives, une approche du type décomposition en valeurs singulières (SVD) étant ensuite appliquée.

20 [0015] Le procédé selon la présente invention permet ainsi, de manière non destructive et sans recourir, en particulier, à une simulation numérique de l'assemblage collé à contrôler, d'estimer les caractéristiques à contrôler de l'assemblage, et en particulier au moins l'une des épaisseurs des premier, deuxième et troisième matériaux.

25 [0016] Alternativement, la mise en œuvre du procédé selon la présente invention est encore facilitée par le fait qu'on peut utiliser tout type de base de représentation des signaux ultrasonores (mesure et référence).

30 [0017] Le procédé selon la présente invention constitue ainsi une méthode robuste et efficace pour contrôler, de manière non destructive, les caractéristiques d'un assemblage collé à contrôler, et, par exemple et de manière non limitative, lorsque le troisième matériau est un matériau collant configuré pour assembler par collage les premier et deuxième matériaux, l'épaisseur de la couche dudit troisième matériau collant et, par suite, la solidité de l'assemblage des premier et deuxième matériaux par le troisième matériau collant.

35

[0018] L'invention est déclinée ci-après dans une série de variantes de réalisation, qui peuvent être considérées seules ou en combinaison avec une ou plusieurs des précédentes.

5 [0019] Dans certains modes de réalisation, le procédé comprend en outre une étape au cours de laquelle on identifie, parmi ladite pluralité de courbes de dispersion de référence, celle présentant le plus de similitudes avec le diagramme de courbe de dispersion de l'assemblage contrôlé.

10 [0020] Dans certains modes de réalisation, l'étape d'identification de la courbe de dispersion de référence ayant le plus de similitudes avec le diagramme de courbe de dispersion de l'assemblage contrôlé est réalisée par une méthode de comparaison d'images.

15 [0021] L'utilisation d'une méthode de comparaison d'images permet d'identifier facilement et rapidement, parmi les courbes de dispersion de référence, celle dont les caractéristiques sont les plus proches de celles du diagramme de courbe de dispersion et, par suite, parmi les assemblages collés de référence à partir desquels les courbes de dispersion de référence ont été réalisées, celui dont les matériaux présentent les caractéristiques les plus proches de celles de l'assemblage  
20 collé à contrôler.

[0022] Dans certains modes de réalisation, ladite méthode de comparaison d'images comprend un algorithme de recherche du type Structural Similarity Index. Un tel algorithme est en particulier décrit dans le document « Image Quality Assessment: From Error Visibility to  
25 Structural Similarity » (IEEE Transactions on image processing, vol. 13, n° 4, avril 2004).

30 [0023] Alternativement, d'autres méthodes de comparaison d'images peuvent être utilisées, telles qu'un algorithme du type FSIM (« Feature Similarity Index for Image »). On peut également recourir à des méthodes de classification du type RVM (« Relevance Vector Machine ») ou CNN (« Convolutional Neural Network »), ou bien encore à des méthodes de régression logistique.

35 [0024] Dans certains modes de réalisation, le procédé comporte en outre une étape au cours de laquelle on optimise de manière itérative une zone de comparaison du diagramme de courbe de dispersion de l'assemblage contrôlé adaptée à la comparaison dudit diagramme de

courbe de dispersion de l'assemblage collé contrôlé avec ladite pluralité de courbes de dispersion de référence.

5 [0025] Par cette disposition, on détermine les intervalles des grandeurs représentées dans le diagramme de courbe de dispersion qui permettent d'améliorer l'efficacité de la comparaison dudit diagramme de courbe de dispersion avec la pluralité des courbes de dispersion de référence, de manière à améliorer l'efficacité du procédé de contrôle selon la présente invention.

10 [0026] Dans certains modes de réalisation, chacune des courbes de dispersion de référence est réalisée en moyennant plusieurs courbes de dispersion obtenues à partir de plusieurs générations d'ondes guidées sur ledit assemblage collé de référence correspondant.

15 [0027] Par cette disposition, on diminue l'influence des paramètres extérieurs, tels que l'opérateur réalisant les courbes de dispersion, la température, le système d'acquisition utilisé, ...

[0028] Dans certains modes de réalisation, le traducteur ultrasonore disposé sur la face supérieure du premier matériau comporte des éléments émetteurs et des éléments récepteurs directement adjacents aux éléments émetteurs.

20 [0029] Par cette disposition, la qualité de l'image du diagramme de courbe de dispersion ainsi que celle des courbes de dispersion de référence est améliorée ; en particulier, la continuité et l'homogénéité des courbes obtenues sont améliorées, ce qui contribue à l'efficacité du procédé de contrôle selon la présente invention.

25 [0030] Dans certains modes de réalisation, la face supérieure du premier matériau présente une forme courbe, et le traducteur ultrasonore présente des propriétés de souplesse suffisantes pour qu'il puisse se conformer à la forme de la face supérieure du premier matériau.

30 [0031] Ainsi, l'utilisation d'un traducteur ultrasonore souple permet de l'utiliser pour contrôler des assemblages collés présentant une géométrie complexe, tels qu'une aube, par exemple lorsque le procédé de contrôle est utilisé dans le domaine aéronautique.

35 [0032] Dans certains modes de réalisation, le premier repère est un repère fréquence – nombre d'onde.

[0033] Alternativement, on peut utiliser une base du type espace – temps, ou une base fréquence – vitesse de propagation.

[0034] Dans un mode particulier de réalisation, les différentes étapes du procédé de contrôle selon la présente invention sont déterminées par des instructions de programmes d'ordinateurs ou de microprocesseurs.

[0035] En conséquence, l'invention vise aussi un programme d'ordinateur ou de microprocesseur sur un support d'informations, ce programme étant susceptible d'être mis en œuvre dans un dispositif de contrôle ou plus généralement dans un ordinateur ou par un microprocesseur, ce programme comportant des instructions adaptées à la mise en œuvre des étapes d'un procédé de contrôle non destructif tel que décrit ci-dessus.

[0036] Ce programme peut utiliser n'importe quel langage de programmation, et être sous la forme de code source, code objet, ou de code intermédiaire entre code source et code objet, tel que dans une forme partiellement compilée, ou dans n'importe quelle autre forme souhaitable.

[0037] L'invention vise aussi un support d'informations lisible par un ordinateur, et comportant des instructions d'un programme d'ordinateur tel que mentionné ci-dessus.

[0038] Le support d'informations peut être n'importe quelle entité ou dispositif capable de stocker le programme. Par exemple, le support peut comporter un moyen de stockage, tel qu'une ROM, par exemple un CD ROM ou une ROM de circuit microélectronique, ou encore un moyen d'enregistrement magnétique, par exemple une disquette (floppy disk), un disque dur ou un DVD.

[0039] D'autre part, le support d'informations peut être un support transmissible tel qu'un signal électrique ou optique, qui peut être acheminé via un câble électrique ou optique, par radio ou par d'autres moyens. Le programme selon l'invention peut être en particulier téléchargé sur un réseau de type Internet.

[0040] Alternativement, le support d'informations peut être un circuit intégré dans lequel le programme est incorporé, le circuit étant adapté pour exécuter ou pour être utilisé dans l'exécution du procédé en question.

## BREVE DESCRIPTION DES DESSINS

[0041] L'invention et ses avantages seront mieux compris à la lecture de la description détaillée faite ci-après d'un mode de réalisation de l'invention donné à titre d'exemple non limitatif. Cette description fait

- 5 référence aux pages de figures annexées, sur lesquelles :
- la figure **1** représente schématiquement un exemple d'assemblage collé de matériaux à contrôler ;
  - la figure **2** représente schématiquement un exemple de diagramme
  - 10 de courbe de dispersion d'un assemblage collé de matériaux à contrôler ; et
  - la figure **3** représente schématiquement les principales étapes du procédé de contrôle selon la présente invention.

## 15 DESCRIPTION DETAILLEE D'EXEMPLES DE REALISATION

[0042] La figure **1** représente schématiquement un assemblage **100** collé de différents matériaux auquel on applique le procédé de contrôle non destructif selon la présente invention.

[0043] Par exemple et de manière non limitative,

20 l'assemblage **100** collé comporte une couche supérieure constituée par un premier matériau **102** ayant une première épaisseur **e1** et une couche inférieure constituée par un deuxième matériau **104** ayant une deuxième épaisseur **e2** ; entre les premier et deuxième matériaux **102**, **104**, s'étend un troisième matériau **106** collant, configuré pour maintenir

25 ensemble les premier **102** et deuxième **104** matériaux, qui présente une troisième épaisseur **e3**.

[0044] Le premier matériau **102** comporte une face supérieure **108** et une face inférieure **110**, et le deuxième matériau **104** comporte une face supérieure **112** et une face inférieure **114** ; le

30 troisième matériau **106** collant comporte une face supérieure **116** disposée contre la face inférieure **110** du premier matériau **102**, et une face inférieure **118**, disposée contre la face supérieure **112** du deuxième matériau **104**.

[0045] Par exemple et de manière non limitative, le

35 deuxième matériau **104** est un matériau composite, dont l'épaisseur **e2** est comprise entre 3 mm et 100 mm.

[0046] Dans d'autres modes de réalisation, le premier matériau **102** est du type titane, dont l'épaisseur **e1** est, de préférence, comprise entre 100 micromètres et 1 000 micromètres.

[0047] Par exemple et de manière non limitative, le  
5 troisième matériau **106** collant présente une troisième épaisseur **e3** comprise entre 50 micromètres et 350 micromètres

[0048] Dans l'exemple schématique de la figure **1**, les matériaux **102**, **104** et **106** présentent un profil rectiligne et une épaisseur constante, mais on peut bien évidemment appliquer le procédé  
10 de contrôle selon la présente invention à tout type de profil de matériau, et en particulier à des matériaux présentant un profil complexe, tel qu'un profil courbe.

[0049] Tel que représenté sur le schéma de la figure **3**, le procédé de contrôle non destructif selon la présente invention de  
15 l'assemblage **100** comporte tout d'abord une première étape **10** au cours de laquelle on réalise un diagramme de courbe de dispersion relatif à l'assemblage collé à contrôler **100**.

[0050] Pour ce faire, et tel que représenté sur la figure **1**, on dispose sur la surface supérieure **108** du premier matériau **102** un  
20 traducteur ultrasonore **20**.

[0051] Le traducteur ultrasonore **20** comporte des éléments émetteurs **22** et des éléments récepteurs **24**.

[0052] Dans certains modes de réalisation, les éléments émetteurs **22** sont directement adjacents aux éléments récepteurs **24** ;  
25 dit autrement, et contrairement aux traducteurs ultrasonores connus de l'art antérieur, et en particulier divulgués dans le document EP 2 440 140 cité précédemment, le traducteur ultrasonore **20** utilisé pour la mise en œuvre du procédé selon la présente invention ne comporte pas de vide formant barrière entre les éléments émetteurs **22** et les éléments  
30 récepteurs **24**.

[0053] De manière à permettre la mise en œuvre du procédé selon la présente invention sur un assemblage collé à contrôler **100** dont la face supérieure **108** du premier matériau **102** présente un profil complexe, tel qu'un profil courbe, le traducteur ultrasonore **20** peut  
35 présenter des caractéristiques de souplesse lui permettant de se conformer à la forme du premier matériau **102**.

[0054] Une fois le traducteur ultrasonore **20** disposé sur l'assemblage **100**, des ondes ultrasonores guidées, telles que par exemple des ondes de Lamb, sont générées par les éléments émetteurs **22** pour être guidées dans l'assemblage **100**.

5 [0055] Sur la base des signaux reçus par les éléments récepteurs **24**, un diagramme de courbe de dispersion relatif audit assemblage **100** est réalisé dans un premier repère.

[0056] Par exemple et de manière non limitative, tel que représenté sur la figure **2**, le premier repère peut être un repère du type  
10 fréquence – nombre d'onde, mais on peut tout aussi bien concevoir d'autres types de repère, tels que des repères espace - temps ou fréquence - vitesse de propagation, dans lesquels réaliser un diagramme de courbe de dispersion sur la base des signaux captés par les éléments récepteurs **24** du traducteur ultrasonore **20**.

15 [0057] Dans un deuxième temps, et tel que représenté sur le schéma de la figure **3**, on compare le diagramme de courbe de dispersion ainsi obtenu avec une pluralité de courbes de dispersion de référence.

[0058] Par courbe de dispersion de référence, on entend  
20 des courbes de dispersion, obtenues de manière similaire au diagramme de courbe de dispersion décrit précédemment, et en particulier réalisées dans le même premier repère que celui choisi pour le diagramme de courbe de dispersion, les courbes de dispersion de référence étant réalisées par génération d'ondes ultrasonores guidées dans des assemblages collés  
25 de référence des premier, deuxième et troisième matériaux **102**, **104**, **106**.

[0059] En particulier, si l'objectif du contrôle non destructif mis en œuvre par le procédé selon la présente invention est de déterminer l'épaisseur **e3** du troisième matériau collant **106**, les autres paramètres  
30 étant connus, les assemblages de référence à partir desquels les courbes de dispersion de référence sont réalisées diffèrent les uns des autres uniquement par l'épaisseur **e3** du troisième matériau collant **106**.

[0060] De manière similaire, si le contrôle mis en œuvre vise à contrôler un assemblage dont les premier **102** et troisième **106**  
35 matériaux présentent des épaisseurs variables et non connues, les assemblages de référence à partir desquels les courbes de dispersion de

référence sont réalisées diffèreront les uns des autres par l'épaisseur **e3** du troisième matériau **106** et par l'épaisseur **e1** du premier matériau **102**.

5 [0061] Par extension, le procédé selon la présente invention peut également permettre de mesurer les épaisseurs **e1**, **e2**, **e3** des différents matériaux **102**, **104**, **106** de l'assemblage collé à contrôler **100**, si des courbes de dispersion de référence sont réalisées sur des assemblages de référence dont l'épaisseur des trois matériaux varie. En outre, pour que la deuxième épaisseur **e2** du deuxième matériau **104**  
10 puisse être mesurée, elle doit être suffisamment fine pour permettre à des ondes acoustiques ultrasonores de subir des réflexions acoustiques sur la face inférieure **114** et être détectées par les éléments récepteurs **24** du traducteur ultrasonore **20**.

15 [0062] On peut également concevoir la mise en œuvre du procédé selon la présente invention pour le contrôle d'un assemblage comportant plus que trois matériaux.

[0063] Les différentes courbes de dispersion de référence qui constituent la base de données aux éléments de laquelle le diagramme de courbe de dispersion obtenu sur l'assemblage collé à contrôler est comparé dans le procédé selon la présente invention peuvent, par exemple et de manière non limitative, être obtenues par moyennage à partir de plusieurs acquisitions réalisées par la génération d'ondes guidées sur l'assemblage collé de référence correspondant, de manière à limiter l'impact des conditions extérieures applicables lorsque l'acquisition est  
20 réalisée.

[0064] La comparaison **12** du diagramme de courbe de dispersion avec les différents éléments constituant la base de données précitée est réalisée, par exemple et de manière non limitative, par une méthode de comparaison d'images. Une telle méthode peut comprendre  
30 un algorithme du type Structural Similarity Index, du type FSIM (« Feature Similarity Index for Image »); on peut également recourir à des méthodes de classification du type RVM (« Relevance Vector Machine ») ou CNN (« Convolutional Neural Network »), ou bien encore à des méthodes de régression logistique.

35 [0065] La mise en œuvre d'une méthode de comparaison d'images nécessite de déterminer préalablement une zone de comparaison

du diagramme de courbe de dispersion de l'assemblage contrôlé **100** adaptée à la comparaison dudit diagramme de courbe de dispersion avec ladite pluralité de courbes de dispersion de référence.

5 [0066] Dans certains modes de réalisation, la détermination de ladite zone de comparaison est réalisée de manière itérative en appliquant la méthode de comparaison d'images sur une première zone de comparaison, puis en faisant varier les plages considérées, par exemple les intervalles de fréquence et/ou nombre d'onde, dans le cas représenté sur la figure **2**, puis en appliquant de nouveau la méthode de comparaison  
10 d'images, jusqu'à obtenir la zone de comparaison optimale permettant de comparer de manière efficace le diagramme de courbe de dispersion avec les éléments de la base de données des courbes de dispersion de référence.

[0067] Après comparaison du diagramme de courbe de dispersion avec les courbes de dispersion de référence, et une fois  
15 identifiée la courbe de dispersion de référence présentant le plus de similitudes avec le diagramme de courbe de dispersion relatif à l'assemblage **100**, tel que représenté sur la figure **3**, les caractéristiques de l'assemblage collé **100** à contrôler sont estimées.

20 [0068] Le procédé permet ainsi de déterminer au moins l'une des épaisseurs **e1**, **e2** et **e3** des premier, deuxième et troisième matériaux **102**, **104**, **106** de l'assemblage **100** collé à contrôler (étape **14**).

[0069] Par exemple, le procédé selon la présente invention  
25 permet de déterminer la troisième épaisseur **e3** du troisième matériau collant **106** qui s'étend entre les premier et deuxième matériaux **102**, **104** pour assembler lesdits matériaux par collage.

[0070] Tel qu'évoqué précédemment, en fonction des  
30 assemblages collés de référence utilisés pour constituer la base de données, le procédé peut également permettre de déterminer les caractéristiques relatives aux premier et deuxième matériaux **102**, **104**, voire à d'autres matériaux, dans le cas d'assemblages collés à contrôler **100** plus complexes.

[0071] Il est bien entendu que le procédé selon la présente  
35 invention, en ce qu'il permet en particulier de déterminer la troisième épaisseur **e3** du troisième matériau collant **106**, permet également de

détecter l'absence éventuelle dudit troisième matériau collant **106** entre les premier et deuxième matériaux **102, 104**. Pour ce faire, la base de données précédemment évoquée doit également comporter des éléments relatifs à des assemblages de référence ne comportant pas de couche du  
5 troisième matériau collant **106**.

[0072] Bien que la présente invention ait été décrite en se référant à des exemples de réalisation spécifiques, il est évident que des modifications et des changements peuvent être effectués sur ces exemples sans sortir de la portée générale de l'invention telle que définie  
10 par les revendications. En particulier, des caractéristiques individuelles des différents modes de réalisation illustrés/mentionnés peuvent être combinées dans des modes de réalisation additionnels. Par conséquent, la description et les dessins doivent être considérés dans un sens illustratif plutôt que restrictif.

[0073] Il est également évident que toutes les caractéristiques décrites en référence à un procédé sont transposables, seules ou en combinaison, à un dispositif, et inversement, toutes les caractéristiques décrites en référence à un dispositif sont transposables,  
15 seules ou en combinaison, à un procédé.

20

## REVENDEICATIONS

1. Procédé de contrôle non destructif d'un assemblage (100) collé d'un premier matériau (102) ayant une première épaisseur ( $e_1$ ), une face supérieure (108) et une face inférieure (110), d'un deuxième matériau (104) ayant une deuxième épaisseur ( $e_2$ ) et une face supérieure (112) et d'un troisième matériau collant (106) ayant une troisième épaisseur ( $e_3$ ), le troisième matériau collant étant disposé entre la face inférieure du premier matériau et la face supérieure du deuxième matériau de manière à assembler par collage les premier et deuxième matériaux, le procédé comprenant :
- une étape au cours de laquelle on dépose un traducteur ultrasonore (20) sur la face supérieure du premier matériau ;
  - une étape au cours de laquelle on génère des ondes guidées dans l'assemblage collé ;
  - une étape (10) au cours de laquelle on réalise un diagramme de courbe de dispersion dans un premier repère à partir de la réception des ondes guidées générées dans l'assemblage collé ;
  - une étape au cours de laquelle on fournit une pluralité de courbes de dispersion de référence réalisées dans le premier repère, chacune desdites courbes de dispersion de référence étant obtenue par la génération d'ondes guidées dans un assemblage de référence des premier et deuxième matériaux collé par le troisième matériau collant, l'assemblage de référence collé présentant des épaisseurs calibrées ;
  - une étape (12) au cours de laquelle on compare le diagramme de courbe de dispersion de l'assemblage collé contrôlé à ladite pluralité de courbes de dispersion de référence ; et
  - une étape (14) au cours de laquelle on estime au moins l'une des première, deuxième et troisième épaisseurs de l'assemblage collé contrôlé (100).
2. Procédé de contrôle non destructif selon la revendication **1**, comprenant en outre une étape au cours de laquelle on identifie, parmi ladite pluralité de courbes de dispersion de référence, celle

présentant le plus de similitudes avec le diagramme de courbe de dispersion de l'assemblage collé contrôlé.

- 5 3. Procédé de contrôle non destructif selon la revendication **2**, dans lequel l'étape d'identification de la courbe de dispersion de référence ayant le plus de similitudes avec le diagramme de courbe de dispersion de l'assemblage contrôlé est réalisée par une méthode de comparaison d'images.
- 10 4. Procédé de contrôle non destructif selon la revendication **3**, dans lequel ladite méthode de comparaison d'images comprend un algorithme de recherche du type Structural Similarity Index.
- 15 5. Procédé de contrôle non destructif selon l'une quelconque des revendications **1 à 4**, le procédé comportant en outre une étape au cours de laquelle on optimise de manière itérative une zone de comparaison du diagramme de courbe de dispersion de l'assemblage collé contrôlé adaptée à la comparaison dudit diagramme de courbe de dispersion avec ladite pluralité de courbes de dispersion de référence.
- 20 6. Procédé de contrôle non destructif selon l'une quelconque des revendications **1 à 5**, dans lequel chacune desdites courbes de dispersion de référence est réalisée en moyennant plusieurs courbes de dispersion obtenues à partir de plusieurs générations d'ondes guidées dans l'assemblage de référence correspondant.
- 25 7. Procédé de contrôle non destructif selon l'une quelconque des revendications **1 à 6**, dans lequel le traducteur ultrasonore disposé sur la face supérieure du premier matériau comporte des éléments émetteurs (22) et des éléments récepteurs (24) directement adjacents aux éléments émetteurs.
- 30 8. Procédé de contrôle non destructif selon l'une quelconque des revendications **1 à 7**, dans lequel la face supérieure du premier matériau présente une forme courbe, le traducteur ultrasonore
- 35

présentant des propriétés de souplesse suffisantes pour qu'il puisse se conformer à la forme de la face supérieure du premier matériau.

5 9. Procédé de contrôle non destructif selon l'une quelconque des revendications **1 à 8**, dans lequel le premier repère est un repère fréquence – nombre d'onde.

10 10. Programme comportant des instructions pour l'exécution des étapes du procédé de contrôle non destructif selon l'une quelconque des revendications **1 à 9** lorsque ledit programme est exécuté par un ordinateur ou par un microprocesseur.

15

20

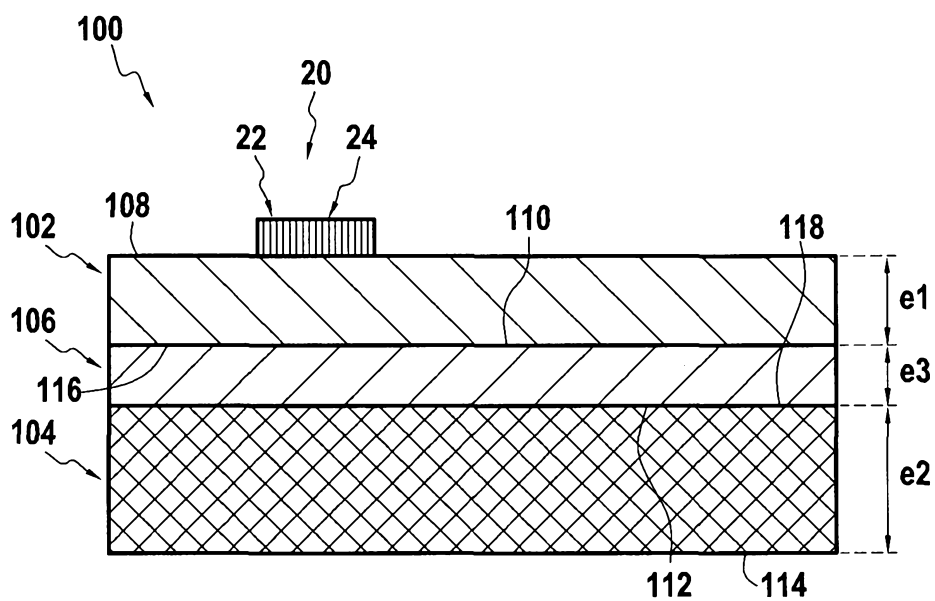


FIG.1

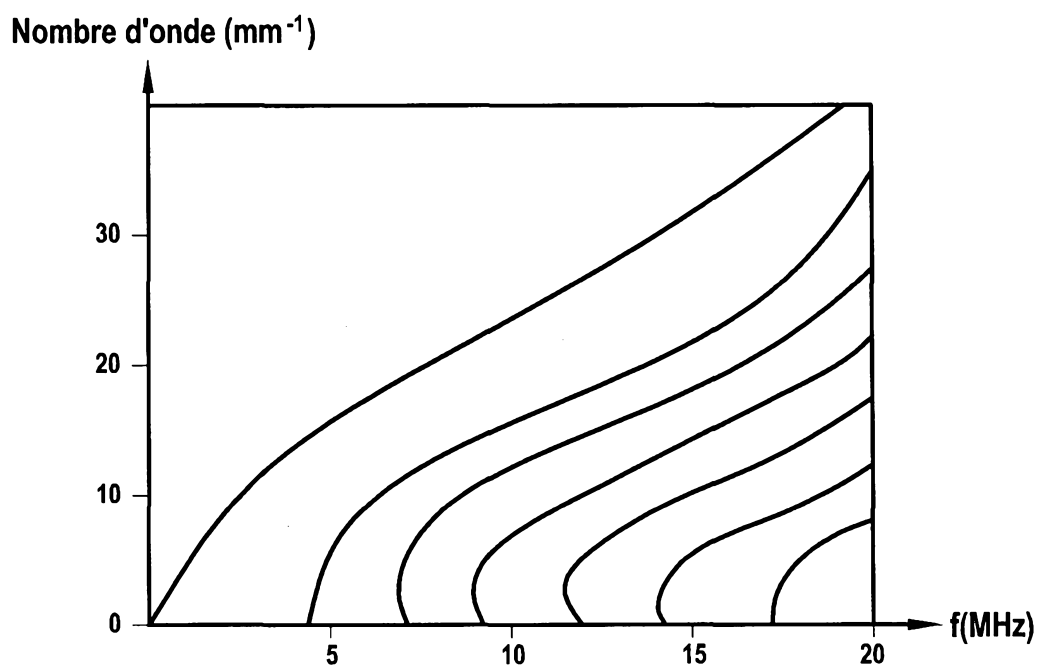


FIG.2

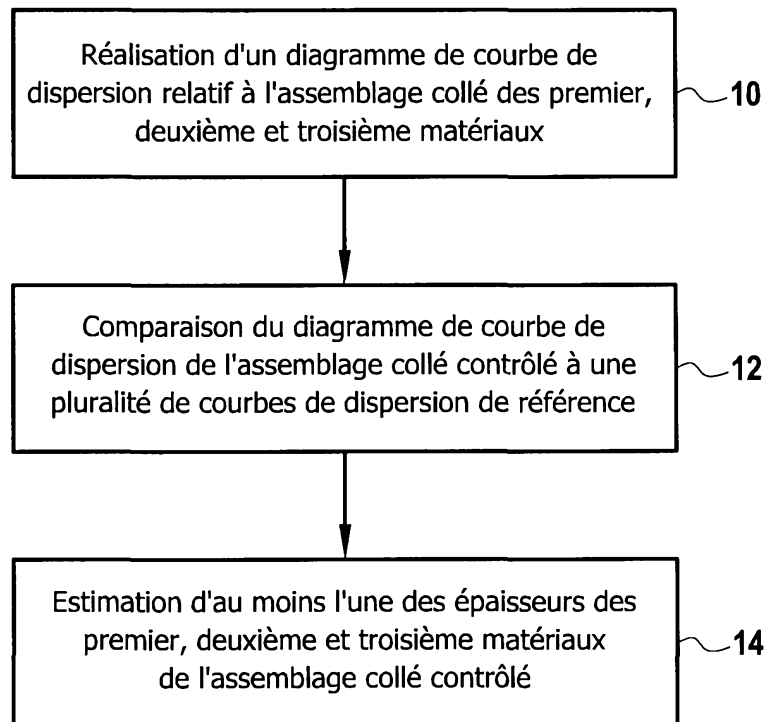


FIG.3

# RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-17 et R.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

## OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

---

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveau) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

## CONDITIONS D'ÉTABLISSEMENT DU PRÉSENT RAPPORT DE RECHERCHE

---

- Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.
- Le demandeur a maintenu les revendications.
- Le demandeur a modifié les revendications.
- Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.
- Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.
- Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

## DOCUMENTS CITÉS DANS LE PRÉSENT RAPPORT DE RECHERCHE

---

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

- Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.
- Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.
- Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.
- Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

**1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION**

WU T-T ET AL: "Inverse determinations of thickness and elastic properties of a bonding layer using laser-generated surface waves", ULTRASONICS, IPC SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS LTD. GUILDFORD, GB, vol. 37, no. 1, 1 janvier 1999 (1999-01-01), pages 23-30, XP004154489, ISSN: 0041-624X, DOI: 10.1016/S0041-624X(98)00030-4

JP H07 120248 A (OLYMPUS OPTICAL CO)  
12 mai 1995 (1995-05-12)

MORENO E ET AL: "Thickness measurement in composite materials using lamb waves - Viscoelastic effects", ULTRASONICS, IPC SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS LTD. GUILDFORD, GB, vol. 37, no. 8, 1 janvier 2000 (2000-01-01), pages 595-599, XP004186956, ISSN: 0041-624X, DOI: 10.1016/S0041-624X(99)00027-X

**2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN TECHNOLOGIQUE GENERAL**

NEANT

**3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND DE LA VALIDITE DES PRIORITES**

NEANT

**3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND  
DE LA VALIDITE DES PRIORITES**