

⑫

BREVET D'INVENTION

B1

⑤④ Procédé de contrôle de qualité d'une pièce en composite tissé et un système de détection.

②② Date de dépôt : 08.03.22.

③⑦ Priorité :

⑥⑦ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : *SAFRAN AIRCRAFT ENGINES*
Société par actions Simplifiée — FR.

④③ Date de mise à la disposition du public
de la demande : 15.09.23 Bulletin 23/37.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 02.02.24 Bulletin 24/05.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑦② Inventeur(s) : SOUZA BARTHEM Gabriel,
DUCHENE Pierre Alfred Jean et LOMBART Quentin
Damien.

⑦③ Titulaire(s) : *SAFRAN AIRCRAFT ENGINES* Société
par actions Simplifiée.

⑦④ Mandataire(s) : Cabinet CAMUS LEBKIRI.



Description

Titre de l'invention : Procédé de contrôle de qualité d'une pièce en composite tissé et un système de détection

DOMAINE TECHNIQUE DE L'INVENTION

- [0001] Le domaine technique de l'invention est celui du contrôle de qualité des pièces en composite dont les fibres de toron sont visibles à la surface.
- [0002] La présente invention concerne un procédé de contrôle de qualité d'une pièce en composite tissé, notamment en 3D, et son dispositif et système de détection et en particulier pour une pièce en composite en fibre de carbone réalisée par un procédé de moulage par transfert de résine.

ARRIERE-PLAN TECHNOLOGIQUE DE L'INVENTION

- [0003] Les pièces en matériaux composites sont constituées de deux phases non miscibles entre elles : les fibres, et la matrice, ici sous forme de résine. Les fibres forment le renfort permettant de supporter la charge mécanique appliquée à la pièce. De son côté, la matrice permet de maintenir le renfort en place et de transférer les charges mécaniques entre les fibres. La combinaison de ces deux phases permet ainsi de maximiser les propriétés spécifiques du matériau.
- [0004] Les pièces en composite tissé peuvent comprendre sur leur surface des motifs de tissage des torons de fibre, par exemple de carbone ou en verre, qui sont visibles à l'œil nu. Par exemple, les pièces en composite tissé 3D fabriqués par exemple par un processus d'injection de moulage par transfert de résine « RTM », implique la nécessité d'un moule pour définir la forme de l'objet. Ainsi, lorsque la pièce sort de son moule, le motif de tissage des torons de carbone est visible à l'œil nu sur toute la surface externe de la structure grâce à la résine d'une couleur différente de celle des fibres, par exemple de couleur blanche, utilisée dans l'injection.
- [0005] Il est connu de réaliser un contrôle dit de « qualité » consistant à chercher des imperfections du tissage des torons de carbone par un inspecteur de qualité qui peut être un ingénieur bureau d'études ou un opérateur d'inspection de pièce.
- [0006] Par exemple une imperfection peut être détectée par des motifs de tissage non conformes, par exemple l'imperfection peut être dû à un changement de distance entre les torons lors de la fabrication.
- [0007] L'inspecteur de qualité peut donc vérifier à l'œil nu le motif de tissage et repérer des anomalies qui impactent la pièce, par exemple :
- la présence d'un corps étranger ;
 - l'absence locale des fibres ou des fibres en doublon ;
 - des motifs de tissage dans des zones non conformes dû à un changement de

- distance entre les torons ;
 - un état de vieillissement (dû au stockage usine de long terme) des matériaux dû à leur changement de couleur ;
 - la présence des potentiels endommagements que la pièce pourrait avoir subie.
- [0008] Actuellement, toutes les vérifications listées précédemment doivent être obtenues et validées par l'œil humain de l'inspecteur de qualité qui regarde et vérifie chaque zone de la pièce à inspecter. Ainsi, ce travail est très fastidieux sur une pièce de grande taille (supérieure à une pièce pouvant être manipulée manuellement par un utilisateur) tels qu'un carter de soufflante d'une turbomachine. Ces pièces, telles qu'un carter de soufflante, peuvent donc avoir une taille entraînant une vérification par partie de la surface de la pièce, par exemple les parties du carter peuvent être des parties d'un sommet de chaque bride du carter et des parties d'un fût du carter entre les brides. Cette vérification par partie entraîne une vérification fastidieuse de toutes ces parties à l'œil nu. En outre, l'inspecteur de qualité doit regarder chaque ligne de torons et mesurer visuellement ou manuellement en cas de doute pour détecter certains défauts. Enfin cette technique de vérification ne donne pas des résultats dit « répétable » c'est-à-dire des résultats d'interprétation d'anomalies de façon homogène puisque les contrôles ne sont pas répétables de façon identique du fait des différentes interprétations d'anomalies lors du contrôle selon la fatigue/concentration de l'inspecteur de qualité, qui peuvent en outre être réalisés par différents inspecteurs de qualité.
- [0009] Il existe donc un besoin d'obtenir ces vérifications plus rapidement, moins cher et de façon plus sûre.

Résumé de l'invention

- [0010] L'invention offre une solution aux problèmes évoqués précédemment, en permettant d'utiliser le traitement et la reconnaissance d'image selon une méthode de l'invention pour obtenir des informations de potentiel défaut permettant à l'inspecteur de qualité de prendre des décisions plus rapidement. Le facteur jugement (interprétation) humain sera donc réduit, ainsi que des questionnements sur la pertinence de certaines déclarations d'anomalies.
- [0011] L'invention permet en outre que le contrôle de qualité soit beaucoup plus rapide, avec moins d'erreurs, moins fatigant, moins cher et plus répétable. L'inspecteur de qualité, utilisera ces informations pour apporter une conclusion beaucoup plus précise et efficace sur la zone inspectée.
- [0012] Un aspect de l'invention concerne un procédé de détection de défaut d'une pièce en composite tissé, comprenant les étapes de :
- réception d'images d'une pièce en composite tissé et l'emplacement de chaque image, chaque image comprenant des motifs d'éléments de fibre d'un

toron de fibre sont représentés entourés d'une résine, reconnaître et sélectionner au moins une entité de torons et des éléments de fibres dans l'image reçue,

- traitement numérique de chaque image pour reconnaître au moins une entité de torons et des éléments de fibres comprenant une sous étape de :
 - de transformation de l'image, en une image transformée dans une matrice des données comprenant une caractéristique par composant de la pièce en fonction des couleurs de chaque composant tel qu'une résine et des éléments de fibres visibles dans l'image,
 - de définition d'une caractéristique parmi le contour, la longueur et l'orientation, des éléments de fibres à partir de la transformation de l'image transformée en image de définition,
 - d'analyse un type de tissage à partir de l'ensemble des contours des éléments de fibre et
 - de définition des entités de toron regroupant des éléments de fibre en fonction de l'analyse du type de tissage,
- calcul pour chaque élément de fibre pour chaque entité de toron les informations de :
 - longueur de l'élément de fibre,
 - orientation de l'élément de fibre et son excentricité
- calcul pour chaque entité de toron les informations de :
 - diamètre équivalent,
 - périmètre du toron,
 - aire du toron,
- détermination et enregistrement de l'élément de fibre ayant la plus petite longueur comme longueur minimale et celle ayant la plus longue longueur comme la longueur maximale de chaque entité de toron,
- calcul de paramètres d'analyse en fonction des calculs précédents, du traitement numérique; les paramètres d'analyse comprenant :
 - la déviation moyenne des éléments de fibres de chaque entité de toron,
 - la déviation individuelle d'un toron par rapport à son plan moyen;
- détermination de la qualité ou/et d'un ou plusieurs potentiels défauts en fonction du traitement d'image précédent et des calculs précédents, un des défauts déterminés étant parmi:
 - une présence d'un corps étranger ;
 - un motif de tissage localisé non conformes dû à un changement de distance entre les torons,

- transmission d'un résultat selon l'étape précédente de détermination de la qualité ou/et d'un ou plusieurs potentiels défauts, comprenant une qualité certifiée ou/et des potentiels défauts déterminés avec une information de l'emplacement de l'image à un moyen de visualisation pour un utilisateur.

- [0013] Grâce à l'invention, l'identification numérique permet de repérer rapidement de façon répétable, des anomalies de fabrication qui perturbent le tissage, en particulier le repérage de motif de tissage comme « mouchetis » pour repérer des potentielles non-conformités.
- [0014] L'objectif de la présente invention est donc d'utiliser cet avantage inhérent au composite tissé issu du motif de tissage externe à la surface, afin de repérer des potentielles déviations du processus de fabrication et de pouvoir statuer plus rapidement et facilement sur la qualité du composite produit.
- [0015] Les étapes de traitement d'image et numérique du procédé peuvent être réalisées par un support d'un outil (appelé dans la suite dispositif) qui peut fournir à un moyen de visualisation pour l'utilisateur (l'inspecteur de qualité) un premier descriptif de la photo, basé sur des paramètres prédéfinis et robustes. Les informations calculées et déterminées peuvent être réalisées par un algorithme et peuvent aussi être transmises au moyen de visualisation pour l'utilisateur.
- [0016] Ainsi le procédé permet d'avoir un support efficace et répétable au travail humain sur l'analyse des images des zones concernées, par les algorithmes numériques. Le procédé permet l'amélioration de la robustesse de chaque analyse de la qualité de la pièce mais aussi un gain de temps dans l'opération d'analyse d'image (en cas de photo de la pièce étudiée par un bureau d'études), d'un gain de temps dans l'opération d'inspection des pièces (usine) et donc un gain de coût. Enfin cela permet une réduction d'erreurs, une réduction de la fatigue humaine dans l'opération d'analyse d'image, un gain en répétabilité des opérations d'analyse d'image et un contrôle automatique des certaines anomalies visuelles en surface des pièces produites.
- [0017] Notamment l'étape de transformation de l'image permet d'isoler des structures d'intérêts dans l'image (les torons), ensuite l'étape de définition d'une caractéristique parmi le contour, longueur et l'orientation, permet de caractériser les la forme de ces torons à l'aide d'une métrique basée sur ces caractéristiques, l'analyse permet ensuite de produire cette analyse de cette métrique. .
- [0018] Le procédé permet donc une transformation rapide et répétable des données sur la qualité visuelle d'une pièce en composite en données numériques facilement traitable et analysable par un inspecteur de qualité qui peut être un ingénieur bureau d'études.
- [0019] Outre les caractéristiques qui viennent d'être évoquées dans le paragraphe précédent, le procédé selon un aspect de l'invention peut présenter une ou plusieurs caractéristiques complémentaires parmi les suivantes, considérées individuellement ou selon

toutes les combinaisons techniquement possibles :

- [0020] Selon un mode de réalisation, l'étape de calcul pour chaque entité de toron comprend la localisation de son centroïde.
- [0021] Cela permet de suivre une ligne moyenne du toron dans la pièce. En effet, à partir des différent centroïde calculé pour chaque entité de toron qui se suivent formant le toron on peut en déterminer la ligne moyenne du toron.
- [0022] Selon un mode de réalisation, la pièce est en composite 3D, soit un tissage dans les trois dimensions. Selon un autre mode de réalisation, la pièce comprend une partie en composite 2D soit des torons tissés dans un plan. Selon un autre mode de réalisation la pièce comprend une partie en composite 1D, soit des torons unidirectionnels. Dans chacun des trois modes de réalisation, le composite peut être par exemple une fibre de carbone ou de verre avec de la résine.
- [0023] Selon un mode de réalisation, le procédé comprend en outre une étape de détermination d'information des torons par reconnaissance, dans différentes images, les informations suivantes :
 - une forme pour chaque entité de toron,
 - une orientation pour chaque entité de toron,
 - une couleur pour chaque entité de toron,
 - une étape de calcul de taille d'entité de toron pour chaque entité de toron d'informations
 - et en ce que chaque information calculée ou déterminée est ensuite comparée avec une référence afin de déterminer la qualité de la surface de la pièce.
- [0024] Selon un mode de réalisation, l'étape de transmission des potentiels défauts déterminés, comprend la transmission de l'image dans lequel un défaut a été déterminée. Par exemple, cette étape de transmission comprend l'emplacement de l'image analysée. Cela permet à l'utilisateur de pouvoir identifier rapidement l'emplacement du défaut déterminé pour le confirmer.
- [0025] Selon un mode de réalisation, le procédé comprend en outre dans l'étape de détermination de la qualité ou/et d'un ou plusieurs potentiels défaut :
 - l'absence dans une zone de l'image, d'éléments de fibres ou une augmentation du nombre d'éléments de fibres dans une zone de l'image ;
 - des motifs de tissage non conformes dû à un changement de distance entre les torons ;
 - un état de vieillissement dû à un changement de couleur ;
 - la présence des potentiels endommagements que la pièce pourrait avoir subie.
- [0026] Selon un mode de réalisation, le procédé comprend en outre avant l'étape de réception :
 - une étape de positionnement d'un appareil de capture d'image en vis à vis

d'une surface de la pièce en composite, comprenant des sous étapes de :

- de positionnement de l'appareil de capture selon une distance prédéterminée et un angle de capture prédéterminé par rapport à la surface de la pièce,
- de commande de l'éclairage de la zone entre le capteur d'imagerie et la surface de la pièce pour être dans une plage prédéterminée de luminosité,
- une étape de capture de l'image, selon une qualité de l'image prédéterminée.

[0027] Selon un mode de réalisation, l'image est une photo d'une surface d'une pièce produite en fibre de carbone et réalisé par un procédé de fabrication moulage par transfert de résine.

[0028] Selon un mode de réalisation, l'étape de positionnement comprend en outre une étape de variation de l'angle de prise de vue de l'image pour déterminer une mise au point, dont la prise de vue au niveau du centre de l'image est parallèle à un point, correspondant au centre, de la surface externe de la pièce.

[0029] Un autre aspect de l'invention concerne un procédé de fabrication d'une pièce en composite tissé 3D en carbone comprenant

- un procédé de fabrication par moulage par transfert de résine comprenant :
 - une première étape préformage comprenant la mise en forme du renfort sec
 - une deuxième étape de placement dans une cavité d'un moule préalablement préparée, formant une préforme,
 - une troisième étape de fermeture hermétique, entraînant la compaction de la préforme,
 - une quatrième étape de chauffage à une température de cuisson prédéterminée,
 - une cinquième étape d'injection de résine dans la cavité lorsque la température de cuisson prédéterminée est atteinte, en expulsant l'air de la cavité par un évent, jusqu'à ce que de la résine commence à s'écouler par l'évent.
 - une sixième étape d'attente pendant un temps prédéterminé à la température de cuisson prédéterminée,
 - une septième étape de démoulage de la pièce (1) après le temps prédéterminé,
- le procédé de détection de défaut d'une pièce en composite tissé, décrit précédemment avec ou sans une combinaison des caractéristiques des différents modes de réalisation décrits précédemment, et une étape de mise en qualité certifiée si la transmission comprend une qualité certifiée.

- [0030] Un autre aspect de l'invention concerne un dispositif configuré pour la mise en œuvre du procédé de détection de défaut d'une pièce en composite tissé décrit précédemment avec ou sans une combinaison des caractéristiques des différents modes de réalisation décrits précédemment, comprenant un module d'importation d'image, un module de traitement d'image, un module de calcul, un module de détermination et d'enregistrement, un module de calcul de paramètre d'analyse, un module de détermination de la qualité ou/et d'un ou plusieurs potentiels défaut et un module de transmission..
- [0031] Un autre aspect de l'invention concerne un système de détection de défaut d'une pièce en composite, pour réaliser le procédé de détection de défaut d'une pièce en composite tissé 3D décrit précédemment avec ou sans une combinaison des caractéristiques des différents modes de réalisation décrits précédemment, comprenant un support de la pièce, un robot comprenant un bras articulé, un dispositif de capture d'image sur l'arbre, un dispositif configuré pour détecter des défauts selon l'aspect de l'invention décrit précédemment, comprenant une unité de commande du robot pour déplacer le capteur d'image à différents emplacements prédéterminés, un moyen d'éclairage commandé par l'unité de commande pour éclairer la surface extérieure pour être dans la plage prédéterminée de luminosité. Le fait d'utiliser un tel robot, permet d'améliorer la précision de pour la prise d'image par le dispositif que ce soit par photographie ou vidéo.
- [0032] L'invention et ses différentes applications seront mieux comprises à la lecture de la description qui suit et à l'examen des figures qui l'accompagnent.

BREVE DESCRIPTION DES FIGURES

- [0033] Les figures sont présentées à titre indicatif et nullement limitatif de l'invention.
- [0034] [Fig.1] représente une partie d'une soufflante comprenant un carter de soufflante à analyser.
- [0035] [Fig.2] représente des étapes d'un procédé de détection de défaut d'une pièce en composite tissé 3D.
- [0036] [Fig.3] représente schématiquement une image d'une surface externe d'un sommet de bride du carter de soufflante de la [Fig.1].
- [0037] [Fig.3'] représente un exemple d'une photo correspondant l'image schématique de la [Fig.3].
- [0038] [Fig.4] représente schématiquement un traitement numérique d'image de l'image de la [Fig.3].
- [0039] [Fig.4'] représente des photos du traitement numérique correspondant à chaque image de la [Fig.4].
- [0040] [Fig.5] représente schématiquement un traitement numérique d'image d'une image

d'une surface externe d'un fût du carter de soufflante de la [Fig.1].

[0041] [Fig.5'] représente des photos du traitement numérique correspondant à chaque image de la [Fig.5].

[0042] [Fig.6] représente trois exemples différents de tissage photographiés.

DESCRIPTION DETAILLEE

[0043] Les figures sont présentées à titre indicatif et nullement limitatif de l'invention.

[0044] La [Fig.1] représente un exemple de pièce 1 dont la qualité est analysée selon un procédé de détection de défaut de l'invention dont un exemple est décrit dans la suite. La pièce 1 est un carter de soufflante d'une turbomachine d'un aéroplane. La pièce 1 comprend un fût 10 dont une surface externe est représentée en pointillée et deux brides 11 et 12 comprenant chacun un sommet ayant une surface externe aussi représentée en pointillée. Les surfaces externes représentées en pointillées sont donc sur une même face de la pièce 1 issue d'un procédé par moulage par transfert de résine ou appelé aussi « procédé RTM » (« Resin Transfer Molding »). Le procédé RTM permet une réduction des coûts (équipement et outillage relativement peu dispendieux), des temps de cycles courts et une grande flexibilité de conception. Avec la mise en œuvre par autoclave, le procédé RTM est devenu une méthode intéressante pour fabriquer des pièces composites structurales plus légères que les pièces métalliques correspondantes. Le procédé RTM consiste à injecter une résine thermodurcissable liquide sur des renforts fibreux secs placés dans un moule fermé. Le procédé RTM de la pièce 1 peut être réalisé selon ces sept étapes :

- une première étape préformage comprenant la mise en forme du renfort sec
- une deuxième étape de placement dans une cavité d'un moule préalablement préparée, formant une préforme, et de perforation au niveau des brides,
- une troisième étape de fermeture hermétique, entraînant la compaction de la préforme,
- une quatrième étape de chauffage à une température de cuisson prédéterminée,
- une cinquième étape d'injection de résine dans la cavité lorsque la température de cuisson prédéterminée est atteinte, en expulsant l'air de la cavité par un évent, jusqu'à ce que de la résine commence à s'écouler par l'évent.
- une sixième étape d'attente pendant un temps prédéterminé à la température de cuisson prédéterminée,
- une septième étape de démoulage de la pièce après le temps prédéterminé.

[0045] Une fois la pièce 1 obtenue, un procédé pour analyser la qualité de la pièce 1 par un dispositif configuré pour détecter des défauts est maintenant décrit. Cela permet d'y détecter de possible défaut pouvant entraîner des réductions de résistances mécaniques

par exemple de résistance à la torsion, ou au cisaillement et donc entraîner un rebu de la pièce 1. Par exemple un défaut peut être le fait que les torons soient délaminés ou endommagés par écaillage ou encore cisailé, lors de la perforation au niveau des brides.

- [0046] Le dispositif configuré pour détecter des défauts permet de réaliser un procédé de détection de défaut de la pièce 1 en composite tissé 3D représenté à la [Fig.2]. Le procédé de détection de défaut de la pièce comprend une première étape de réception E1 d'images 2, 3 de la pièce 1 en composite tissé 3D et l'emplacement de chaque image par rapport à la pièce 1. Une image 2 est représentée schématiquement sur [Fig.3], l'image 2 est en réalité une image d'une photo numérique ou une image numérique d'une vidéo, composée d'un tenseur de dimension 3, par exemple rouge, vert et bleu (photo couleur) de la surface externe de la bride 10. La [Fig.3]' représente une photo 2' transformée en noir et blanc proche de l'exemple schématisé de l'image 2 de la [Fig.3].
- [0047] Une image 3 est représentée schématiquement sur [Fig.5], l'image 3 est en réalité une photo de la surface externe du sommet de bride 12 de la pièce 1. En outre la [Fig.5] représente schématiquement d'autres images 20, 21, 22, 23 correspondants à différentes sous étapes d'une étape de traitement numérique de cette image 3. La [Fig.5]' représente une photo 3' transformée en noir et blanc proche de l'exemple schématisé de l'image 3 de la [Fig.5] ainsi que des images 20', 21', 22', 23' représentant des imprimés écrans de différentes sous étapes d'une étape de traitement de la photo 3'. Pour plus de clarté, la description détaillée est basée sur les images schématiques. La [Fig.6] représente différentes photos de tissage de fibre d'une pièce issue d'un procédé par moulage par transfert de résine ou appelé aussi « procédé RTM ».
- [0048] Chaque image 2, 3 est donc une image d'une portion d'une des surfaces externes et comprend des motifs d'éléments de fibre 24, 34 d'une entité d'un toron de fibre 25, 25', 25'', 35', ici dans cet exemple les fibres sont en carbone (couleur noir) et sont représentés entourés d'une résine de couleur blanche.
- [0049] Un élément de fibre 24, 34 est une partie d'une fibre de carbone visible sur la surface externe, tissé pour former un toron de fibre de la pièce 1 et une entité de toron 25, 25', 25'', 35' est une portion d'un toron de fibre visible sur la surface externe, tissé et préformé pour former la pièce 1.
- [0050] Sur la [Fig.3], l'image 2 comprend trois entités de toron 25, 25', 25'' et sur la [Fig.5], l'image 3 comprend une seule entité de toron 35. Dans chaque entité de toron 25, 25', 25'', 35, plusieurs éléments de fibre 24, 34 sont visibles sur chacune des images 2 et 3.
- [0051] Ainsi le dispositif configuré pour détecter des défauts comprend un module d'importation d'images à traiter. Par module d'importation d'images on entend un dispositif d'imagerie numérique par photographie ou d'imagerie numérique par vidéo

tel qu'une caméra, permettant d'enregistrer une image d'une pièce.

- [0052] Le procédé de détection de défaut d'une pièce en composite tissé 3D, comprend en outre une deuxième étape de traitement numérique E2 de l'image 2,3 pour reconnaître au moins une entité de toron 25, 25', 25'', 35 et des éléments de fibres 24, 34 et la sélectionner. La [Fig.4] représente schématiquement une sélection de l'image 2 et d'autres images 20, 21, 22, 23 correspondants à différentes sous étapes de cette étape de traitement numérique de cette sélection de l'image 2, dont l'image 20 correspondant à cette deuxième étape de traitement numérique E2. La [Fig.4]' représente une sélection de la photo 2' de la [Fig.3]' et des images 20', 21', 22', 23', représentant des imprimes écran de sous étapes de cette étape de traitement sur cette sélection de photo 2'.
- [0053] Un exemple d'un élément de fibre 24 est entouré sur chacune des images 2, 20 et 21 à 23 de la [Fig.4] représentant cette étape de traitement numérique E2 et un exemple d'un élément de fibre 34 est référencé sur les images 3, 31, 32, 33, de la [Fig.5].
- [0054] La [Fig.3] représente schématiquement différentes entités de torons 25, 25', 25''. La détection d'entité de toron 25, 25', 25'', est réalisée par une étape de traitement numérique E2 de chaque entité de toron dont l'entité de toron 25 de l'image 2 qui est représenté sur la [Fig.4] qui représente différentes images d'une même portion de l'image 2 ayant subi un traitement numérique pour reconnaître au moins une entité de toron 25 et des éléments de fibres 24 ainsi que la définition d'une caractéristique des éléments de fibre 24 de cette entité de toron 25 en l'occurrence la longueur et l'orientation des éléments de fibres 24. La [Fig.5] représente schématiquement différentes images du traitement de l'image 3.
- [0055] La deuxième étape de traitement numérique E2 comprenant une sous étape de transformation de l'image 2, 3 dans une matrice des données comprenant une caractéristique par composant du composite (qui est la résine et la fibre par exemple carbone ou de verre) de la pièce, en l'occurrence c'est une matrice de données binaires (blanc ou noire) en fonction des couleurs de la résine et des éléments de fibres 24, 34 sur l'image 2, 3.
- [0056] Dans un exemple de la sous étape de transformation de l'image 2 représentée sur la [Fig.4], une première reconnaissance d'une entité de toron 24 de l'image 2 est nécessaire pour enregistrer une image 20 de l'entité de toron 25. Ensuite l'image 20 est transformée dans la matrice des données, ici binaires (blanc ou noire) en fonction des couleurs de la résine et des éléments de fibres 24 en une image transformée 21 permettant de distinguer les éléments de fibres 24 de la résine. Dans cet exemple, les éléments de fibres 24 sont modifiés en couleur blanc et la résine est modifiée en couleur noire. Dans l'exemple de la sous étape de transformation de l'image 3 représentée sur la [Fig.5], comme l'image 3 comprend déjà uniquement une entité de

toron 35, la transformation de l'image 3 dans la matrice des données binaires (blanc ou noire) en fonction des couleurs de la résine et des éléments de fibres 34 est directement réalisée sur l'image 3 pour former l'image transformée 31.

- [0057] La deuxième étape de traitement numérique E2 comprend en outre une sous étape de définition d'une caractéristique parmi le contour, la longueur et l'orientation, des éléments de fibres 24, 34 à partir de l'image transformée 21, 31, en une image de définition 22, 32. La [Fig.4], représente schématiquement une image de définition 22 de la portion de l'image 2, dans lequel les caractéristiques définies de l'élément de fibre 24 sont la longueur et l'orientation des éléments de fibre 24. La [Fig.5] représente schématiquement une image de définition 32 de l'image 3, dans lequel les caractéristiques définies de l'élément de fibre 34 est le contour des éléments de fibre 34.
- [0058] La deuxième étape de traitement numérique E2 comprend en outre une sous étape d'analyse d'un type de tissage à partir de l'ensemble des caractéristiques définies soit respectivement la longueur et orientation ou le contour des éléments de fibre 24 ou 34 de l'image de définition 22 ou 32. Autrement dit, ici la formes des fibres est réduite à une forme à une représentation primaire
- [0059] La deuxième étape de traitement numérique E2 comprend en outre une sous étape de définition des entités de toron 25, 35 regroupant des éléments de fibre 24, 34 en fonction de l'analyse du type de tissage.
- [0060] Le dispositif configuré pour détecter des défauts comprend un module de traitement d'image pour réaliser cette étape de traitement numérique E2. Par module de traitement d'image, on entend un programme ou une partie de programme d'un dispositif comprenant un microprocesseur et une mémoire, programmé pour réaliser cette étape de traitement numérique E2.
- [0061] Chaque image d'entité de toron 25, 25', 25'' est ainsi traitée.
- [0062] Le procédé de détection de défaut d'une pièce en composite tissé 3D comprend en outre une troisième étape de calcul E3 pour chaque élément de fibre 24, 34 pour chaque entité de toron 25, 25', 25'' 35 les informations de longueur et l'orientation de l'élément de fibre 24, 34 correspondant et son excentricité.
- [0063] Les images 23 et 33 de la figure respectivement 4 et 5, représentent schématiquement chacune les différentes orientations par des flèches des éléments de fibre 24, 34. L'image 33 représente les flèches sur les éléments de fibre de la [Fig.3] tandis que la [Fig.2] représente uniquement les flèches représentant les différentes orientations des éléments de fibre 24 de la portion de l'image 2.
- [0064] Le procédé de détection de défaut d'une pièce en composite tissé 3D comprend en outre une quatrième étape de calcul E4 pour chaque entité de toron les informations de diamètre équivalent du toron, le périmètre du toron, et l'aire du toron.
- [0065] Cette quatrième étape de calcul E4 peut être réalisée à partir de plusieurs images 2, 3.

- [0066] Le dispositif configuré pour détecter des défauts comprend donc un module de calcul pour réaliser ces troisièmes et quatrièmes étapes de calculs E3, E4. Par module de calcul on entend, un programme ou une partie de programme dans le dispositif comprenant le microprocesseur et la mémoire, programmé pour réaliser ces troisième et quatrième étapes de calcul E3, E4.
- [0067] Le procédé de détection de défaut d'une pièce en composite tissé 3D comprend en outre une cinquième étape de détermination et enregistrement E5 de l'élément de fibre 24, 34 ayant la plus petite longueur comme longueur minimale et celle ayant la plus longue longueur comme la longueur maximale de chaque entité de toron 25, 35.
- [0068] Le dispositif configuré pour détecter des défauts comprend donc un module de détermination et d'enregistrement pour réaliser cette cinquième étape E5. Par module de détermination et d'enregistrement on entend, un programme ou une partie de programme dans le dispositif comprenant le microprocesseur et la mémoire, programmé pour réaliser cette cinquième étape E5.
- [0069] Le procédé de détection de défaut d'une pièce en composite tissé 3D comprend en outre une sixième étape de calcul de paramètre d'analyse E6 en fonction des calculs précédents du traitement numérique. Les paramètres d'analyse comprenant la déviation moyenne des éléments de fibres 24, 34 de chaque entité de toron 25, 25', 25'', 35 et la déviation individuelle d'un toron par rapport à son plan moyen.
- [0070] Le dispositif configuré pour détecter des défauts comprend donc un module de calcul de paramètre d'analyse pour réaliser cette sixième étape E6. Par module de détermination et d'enregistrement on entend, un programme ou une partie de programme dans le dispositif comprenant le microprocesseur et la mémoire, programmé pour réaliser cette sixième étape E6.
- [0071] Le procédé de détection de défaut d'une pièce en composite tissé 3D comprend en outre une septième étape de détermination de la qualité ou/et d'un ou plusieurs potentiels défauts E7 en fonction du traitement d'image précédent et des calculs précédents, un des défauts déterminés étant parmi:
- une présence d'un corps étranger ;
 - un motif de tissage localisé non conformes dû à un changement de distance entre les torons.
- [0072] D'autres potentiels défauts peuvent en outre être déterminés tels que :
- l'absence dans une zone de l'image, d'éléments de fibres par exemple dans la perforation ou entre deux torons,
 - une augmentation du nombre d'éléments de fibres 24, 34, dans une zone de l'image 2, 3, par exemple dans une zone de plissage d'un toron,
 - des motifs de tissage non conformes dû à un changement de distance entre les torons ;

- un état de vieillissement dû à un changement de couleur, par exemple de la résine;
- la présence des potentiels endommagements que la pièce pourrait avoir subie, par exemple par une reconnaissance d'un éclat.

- [0073] La qualité de la surface externe de la pièce 1 peut ensuite être transmise en fonction des potentiels défauts déterminés, par exemple 100% en cas de zéro défaut ou encore 80% en cas de potentiels défauts tel qu'un motif de tissage localisé non conformes dû à un changement de distance entre les torons.
- [0074] Le dispositif configuré pour détecter des défauts comprend donc un module détermination de la qualité ou/et d'un ou plusieurs potentiels défaut pour réaliser cette septième étape E7. Par module détermination de la qualité ou/et d'un ou plusieurs potentiels défaut on entend, un programme ou une partie de programme dans le dispositif comprenant le microprocesseur et la mémoire, programmé pour réaliser cette septième étape E7.
- [0075] Les différents modules de calcul, de détermination et d'enregistrement, de calcul de paramètre d'analyse, détermination de la qualité ou/et d'un ou plusieurs potentiels défaut peuvent être réalisés par un algorithme d'analyse d'image appliqué aux différentes images importés 2, 3 ou/et aux différentes images transformées 21, 31 ou/et de définition 22, 32.
- [0076] Le procédé de détection de défaut d'une pièce en composite tissé 3D comprend en outre une huitième étape de transmission E8 de la qualité ou/et des potentiels défauts déterminés avec une information de l'emplacement de l'image 2, 3, à un moyen de visualisation pour un utilisateur. L'étape de transmission des potentiels défauts déterminés E8 peut en outre comprendre optionnellement la transmission de l'image 2, 3 dans lequel un défaut a été déterminé.
- [0077] Le dispositif configuré pour détecter des défauts comprend donc un module de transmission optionnellement par un moyen de communication sans fil ou filaire ou directement par affichage sur un écran du dispositif. Par module de transmission on entend, un programme ou une partie de programme dans le dispositif comprenant le microprocesseur et la mémoire, programmé pour réaliser cette huitième étape E8.
- [0078] Les différents paramètres calculés ou déterminés par exemple les longueurs maximales et minimales des éléments de fibre 24, 34, de chaque toron, les diamètres, périmètres et aires de chaque toron et les déviations (moyenne ou individuelle) calculés peuvent être transmis aussi au moyen de visualisation en produisant un ensemble de données.
- [0079] Le moyen de visualisation, peut être par exemple un écran (d'un ordinateur, ou d'un téléphone ou d'une tablette) ou une imprimante qui imprime les résultats. Le dispositif d'analyse comprend donc module de transmission qui peut être un moyen de

transmission sans fil ou par câble au moyen de visualisation capable d'envoyer l'ensemble de données.

[0080] Ainsi le dispositif produit un résultat d'un statut préliminaire par rapport aux critères définis initialement sur la santé (qualité) de la matière d'une zone (ici les surfaces externes) du composite contrôlé de la pièce 1.

[0081] Selon un exemple de ce mode de réalisation, l'étape de calcul E4 pour chaque entité de toron 25, 25', 25'', 35 comprend le calcul d'une localisation du centroïde de l'entité de toron 25, 25', 25'', 35.

[0082] Le centroïde d'un toron de fibre signifie la moyenne arithmétique de tous les points d'une section transversale du toron de fibre. Pour une image, le centroïde signifie la moyenne arithmétique de tous les points du toron lorsqu'ils sont affichés. Par exemple, dans le cas d'une pièce fabriqué par un tissage de composite 3D par des torons ayant une forme d'ellipse, le centroïde est alors assimilé au centre géométrique de cette ellipse.

[0083] Le procédé de détection de défaut d'une pièce en composite tissé 3D peut comprendre en option (les étapes représentées en pointillées sur la [Fig.2]) une étape de détermination d'information des torons E20 par reconnaissance de différentes images les informations suivantes :

- une forme pour chaque entité de toron,
- une orientation pour chaque entité de toron,
- une couleur pour chaque entité de toron.

[0084] Cette étape de détermination d'information des torons E20 permet au procédé de réaliser en outre une étape de calcul de taille d'entité de toron E21 pour chaque entité de toron et ainsi avoir des informations dont la taille de l'entité de toron 25, 25', 25'', 35 pour simplifier l'étape E4 de calcul pour chaque entité de toron 25, 25', 25'', 35. Chaque information calculée ou déterminée est ensuite comparée avec une référence afin de déterminer la qualité de la surface externe de la pièce 1.

[0085] Le procédé de détection de défaut d'une pièce en composite tissé 3D peut aussi être réalisé par un système de détection de défaut d'une pièce en composite comprenant un support de la pièce, un robot comprenant un bras articulé, un dispositif de capture d'image sur l'arbre et le dispositif configuré pour détecter des défauts.

[0086] Dans ce cas le procédé de détection de défaut d'une pièce en composite tissé comprend en outre pour chaque image reçue 2, 3, avant de les recevoir à la première étape E1, une étape de positionnement d'un appareil de capture d'image en vis à vis d'une surface de la pièce 1 en composite, comprenant une sous étape de positionnement de l'appareil de capture selon une distance prédéterminée et un angle de capture prédéterminé par rapport à la surface externe de la pièce 1, que ce soit au niveau du fût 10 ou d'un sommet de bride 11, 12 dans cet exemple et une sous étape de

commande de l'éclairage de la zone entre le capteur d'imagerie et la surface externe de la pièce 1 pour être dans une plage prédéterminée de luminosité. En outre, l'étape de positionnement d'un appareil de capture d'image en vis à vis d'une surface de la pièce 1 en composite tissé, comprend une étape de variation de l'angle de prise de vue de l'image pour déterminer une mise au point, dont la prise de vue au niveau du centre de l'image est parallèle à un point, correspondant au centre, de la surface externe de la pièce. Cela permet de diminuer les déformations des éléments de fibres. En outre le procédé comprend donc une étape de capture de l'image (photographie de la zone de la surface externe), selon une qualité de l'image prédéterminée.

[0087] Le système de détection de défaut comprend donc aussi une unité de commande du robot pour déplacer le capteur d'image à différents emplacements prédéterminés, un moyen d'éclairage commandé par l'unité de commande pour éclairer la surface extérieure pour être dans la plage prédéterminée de luminosité.

[0088] Sauf précision contraire, un même élément apparaissant sur des figures différentes présente une référence unique.

Revendications

[Revendication 1]

Procédé de détection de défaut d'une pièce en composite tissé, comprenant les étapes de :

- réception (E1) d'images (2, 3) d'une pièce (1) en composite tissé et l'emplacement de chaque image, chaque image (2, 3) comprenant des motifs d'éléments de fibre d'un toron de fibre sont représentés entourés d'une résine,
- traitement numérique (E2) de chaque image (2, 3) pour reconnaître au moins une entité de torons (25, 25', 25'', 35) et des éléments de fibres (24, 34) comprenant une sous étape :
 - de transformation de l'image (2, 3) comprenant une entité de toron, en une image transformée (21, 31) dans une matrice des données comprenant une caractéristique par composant de la pièce en fonction des couleurs de chaque composant tel qu'une résine et des éléments de fibres (24, 34) visibles dans l'image (2, 3),
 - de définition d'une caractéristique parmi le contour, la longueur et l'orientation, des éléments de fibres (24, 34) à partir de la transformation de l'image transformée (21, 31) en image de définition (21, 32),
 - d'analyse un type de tissage à partir de l'ensemble des contours des éléments de fibre (24, 34) et
 - de définition des entités de toron (25, 25', 25'', 35) regroupant des éléments de fibre (24, 34) en fonction de l'analyse du type de tissage,
- calcul (E3) pour chaque élément de fibre (24, 34) pour chaque entité de toron (25, 25', 25'', 35) les informations de ,
 - longueur de l'élément de fibre (24, 34),
 - orientation de l'élément de fibre (24, 34) et son excentricité
- calcul (E4) pour chaque entité de toron (25, 25', 25'', 35) les informations de :
 - diamètre équivalent,
 - périmètre du toron,
 - aire du toron,
- détermination et enregistrement (E5) de l'élément de fibre (24,

- 34) ayant la plus petite longueur comme longueur minimale et celle ayant la plus longue longueur comme la longueur maximale de chaque entité de toron (25, 25', 25'', 35),
- calcul de paramètres d'analyse en fonction des calculs précédents, du traitement numérique; les paramètres d'analyse comprenant :
 - la déviation moyenne des éléments de fibres (24, 34) de chaque entité de toron (25, 25', 25'', 35)
 - la déviation individuelle d'un toron par rapport à son plan moyen ;
 - détermination de la qualité ou/et d'un ou plusieurs potentiels défauts (E7) en fonction du traitement d'image précédent et des calculs précédents , un des défauts déterminés étant parmi:
 - une présence d'un corps étranger ;
 - un motif de tissage localisé non conformes dû à un changement de distance entre les torons,
 - transmission (E8) d'un résultat selon l'étape précédente de détermination de la qualité ou/et d'un ou plusieurs potentiels défauts (E7) comprenant une qualité certifiée ou/et des potentiels défauts déterminés avec une information de l'emplacement de l'image à un moyen de visualisation pour un utilisateur.

[Revendication 2] Procédé de détection de défaut d'une pièce en composite tissé selon la revendication précédente, dans lequel l'étape de calcul (E4) pour chaque entité de toron (25, 25', 25'', 35) comprend la localisation de son centroïde.

[Revendication 3] Procédé de détection de défaut d'une pièce en composite tissé selon l'une des revendications précédentes comprenant en outre :

- une étape de détermination d'information des torons (E20) par reconnaissance, dans différentes images, les informations suivantes :
 - une forme pour chaque entité de toron,
 - une orientation pour chaque entité de toron,
 - une couleur pour chaque entité de toron,
- une étape de calcul de taille d'entité de toron (E21) pour chaque entité de toron d'informations

- et en ce que chaque information calculée ou déterminée est ensuite comparée avec une référence afin de déterminer la qualité de la surface de la pièce.

[Revendication 4] Procédé de détection de défaut d'une pièce en composite tissé selon l'une des revendications précédentes comprenant en outre dans l'étape de transmission (E8) des potentiels défauts déterminés, la transmission de l'image (2, 3) dans lequel un défaut a été déterminée.

[Revendication 5] Procédé de détection de défaut d'une pièce en composite tissé selon l'une des revendications précédentes comprenant dans l'étape de détermination de la qualité ou/et d'un ou plusieurs potentiels défaut (E7) :

- l'absence dans une zone de l'image, d'éléments de fibres (24, 34) ou une augmentation du nombre d'éléments de fibres (24, 34) dans une zone de l'image (2, 3);
- des motifs de tissage non conformes dû à un changement de distance entre les torons ;
- un état de vieillissement dû à un changement de couleur ;
- la présence des potentiels endommagements que la pièce pourrait avoir subie.

[Revendication 6] Procédé de détection de défaut d'une pièce en composite tissé selon l'une des revendications précédentes, comprenant avant l'étape de réception :

- une étape de positionnement d'un appareil de capture d'image en vis à vis d'une surface de la pièce en composite, comprenant des sous étapes de :
 - de positionnement de l'appareil de capture selon une distance prédéterminée et un angle de capture prédéterminé par rapport à la surface de la pièce,
 - de commande de l'éclairage de la zone entre le capteur d'imagerie et la surface de la pièce pour être dans une plage prédéterminée de luminosité,
- une étape de capture de l'image, selon une qualité de l'image prédéterminée.

[Revendication 7] Procédé de détection de défaut d'une pièce en composite tissé selon

l'une des revendications précédentes, dans lequel l'image est une photo d'une surface d'une pièce produite en fibre de carbone et réalisé par un procédé de fabrication moulage par transfert de résine.

[Revendication 8]

Procédé de fabrication d'une pièce en composite tissé 3D en carbone, comprenant :

- un procédé de fabrication par moulage par transfert de résine comprenant :
 - une première étape préformage comprenant la mise en forme du renfort sec
 - une deuxième étape de placement dans une cavité d'un moule préalablement préparée, formant une préforme,
 - une troisième étape de fermeture hermétique, entraînant la compaction de la préforme,
 - une quatrième étape de chauffage à une température de cuisson prédéterminée,
 - une cinquième étape d'injection de résine dans la cavité lorsque la température de cuisson prédéterminée est atteinte, en expulsant l'air de la cavité par un évent, jusqu'à ce que de la résine commence à s'écouler par l'évent.
 - une sixième étape d'attente pendant un temps prédéterminé à la température de cuisson prédéterminée,
 - une septième étape de démoulage de la pièce (1) après le temps prédéterminé,

- le procédé de détection de défaut d'une pièce en composite tissé selon l'une des revendications précédentes, et une étape de mise en en qualité certifiée si la transmission comprend une qualité certifiée.

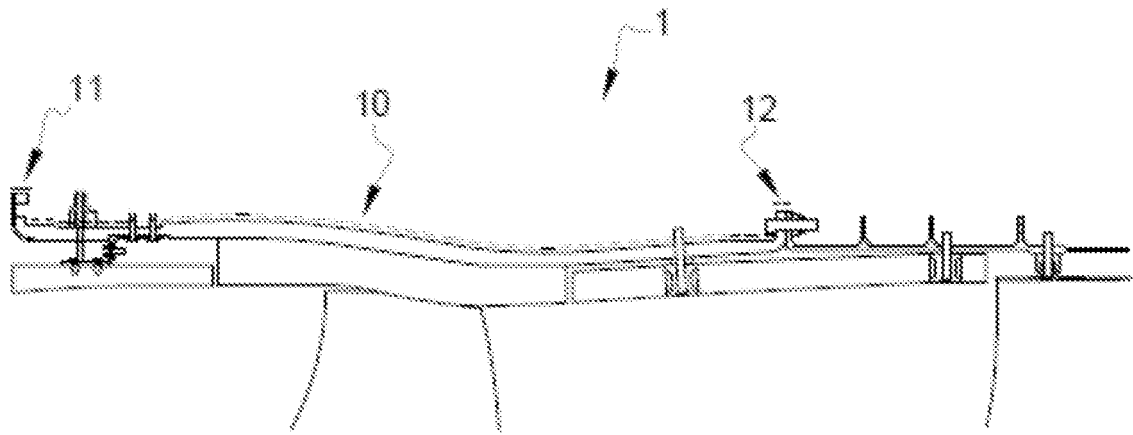
[Revendication 9]

Dispositif configuré pour détecter des défauts selon le procédé de détection de défaut d'une pièce en composite tissé selon l'une des revendications 1 à 7 comprenant un module d'importation d'image, un module de traitement d'image, un module de calcul, un module de détermination et d'enregistrement, un module de calcul de paramètre

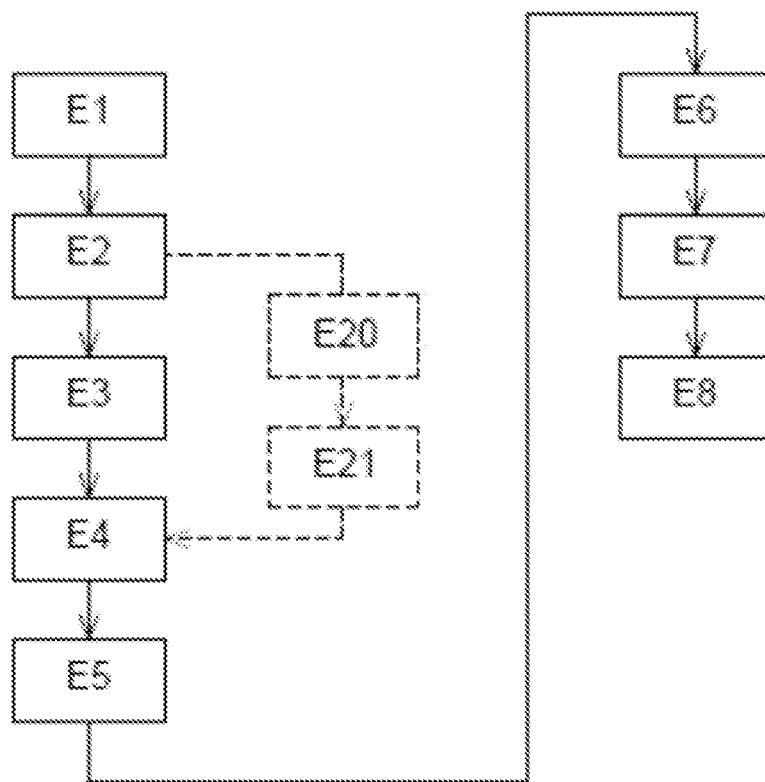
d'analyse, un module de détermination de la qualité ou/et d'un ou plusieurs potentiels défaut et un module de transmission.

[Revendication 10] Système de détection de défaut d'une pièce en composite configuré pour réaliser le procédé de détection de défaut d'une pièce en composite tissé 3D selon la revendication 6 ou 7, comprenant un support de la pièce, un robot comprenant un bras articulé, un dispositif de capture d'image sur l'arbre, un dispositif configuré pour détecter des défauts selon la revendication précédente, comprenant une unité de commande du robot pour déplacer le capteur d'image à différents emplacements prédéterminés, un moyen d'éclairage commandé par l'unité de commande pour éclairer la surface extérieure pour être dans la plage prédéterminée de luminosité.

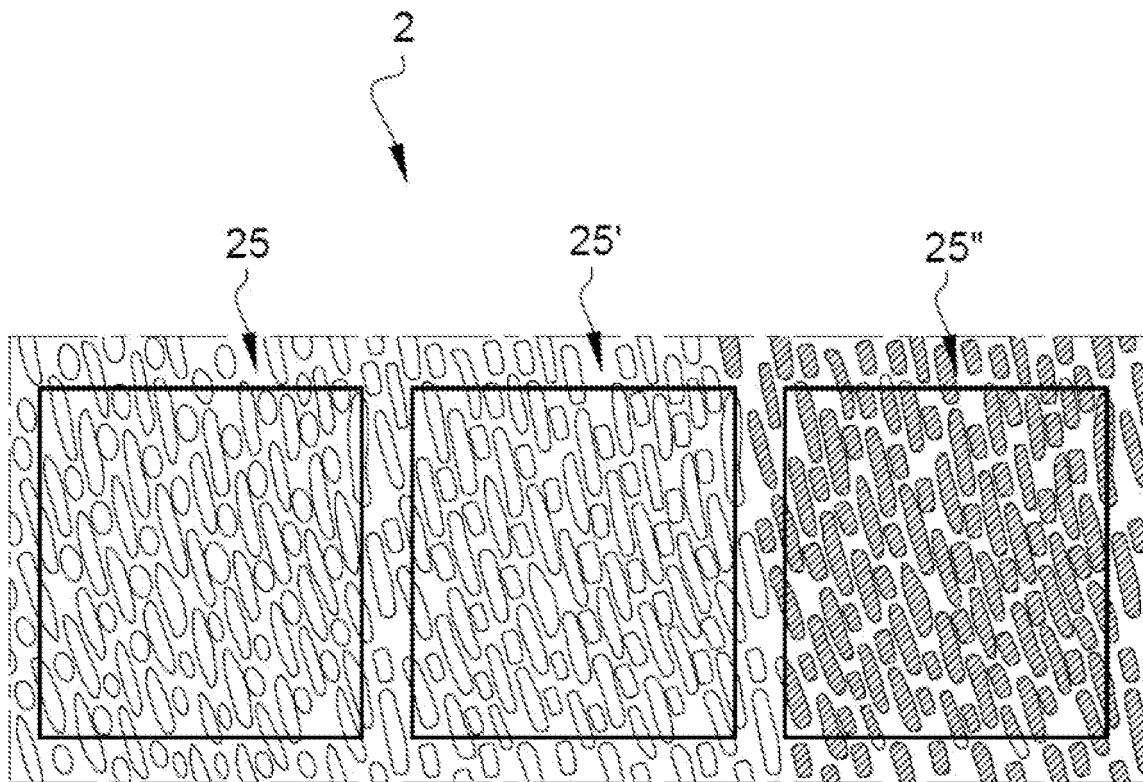
[Fig. 1]



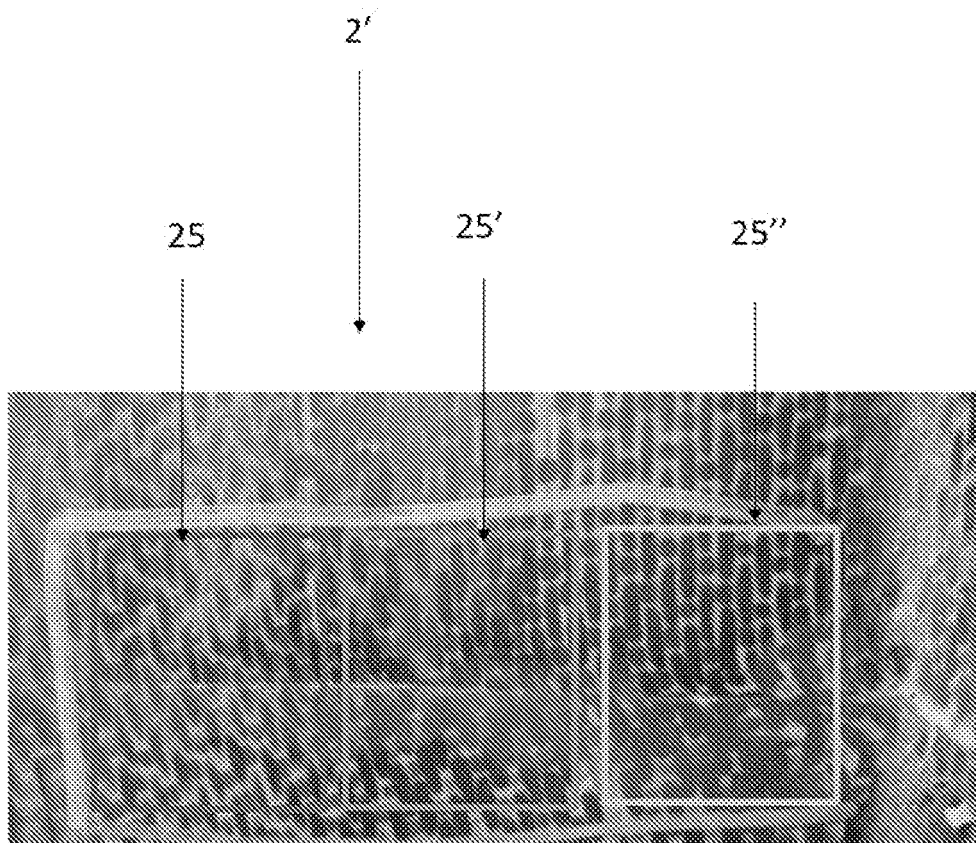
[Fig. 2]



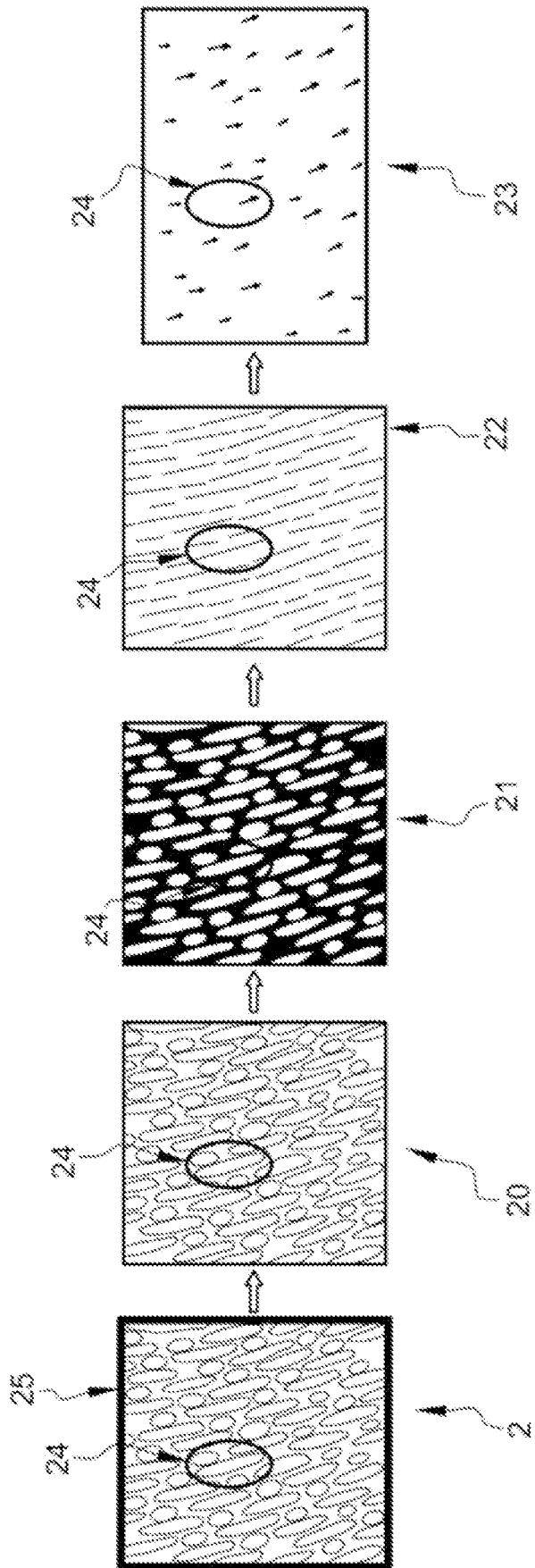
[Fig. 3]



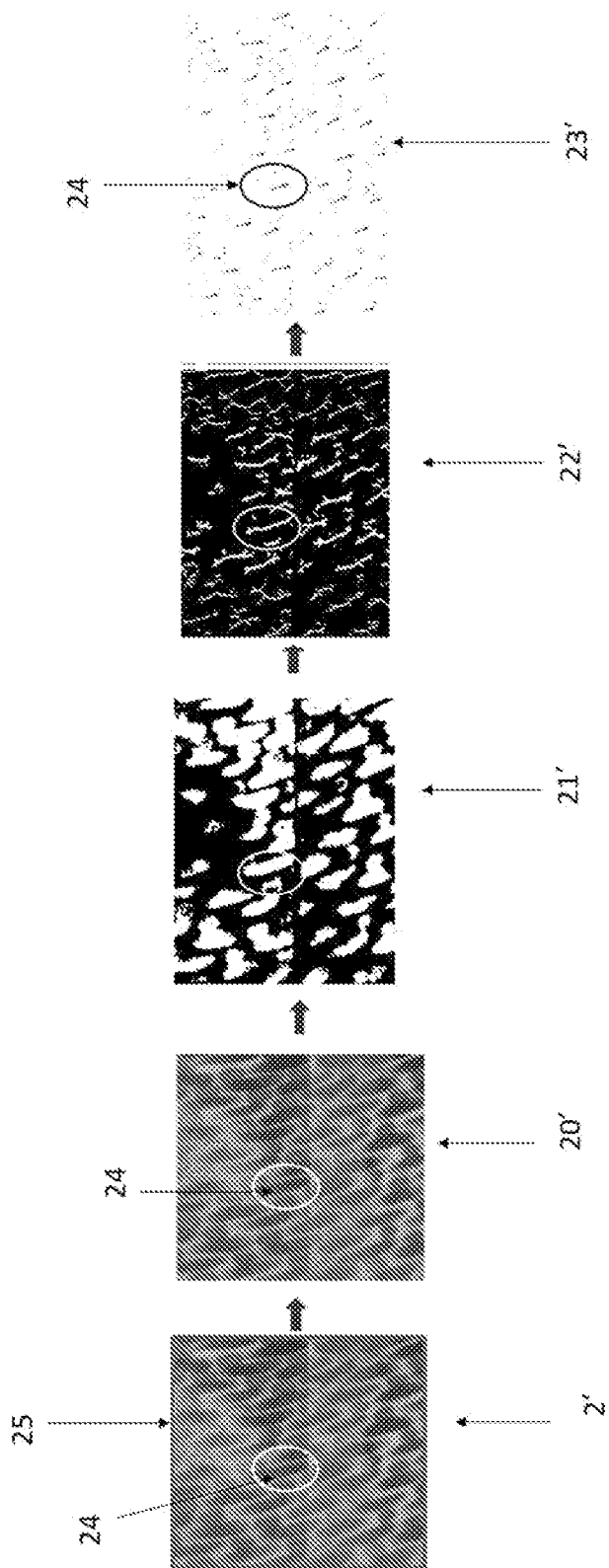
[Fig. 3']



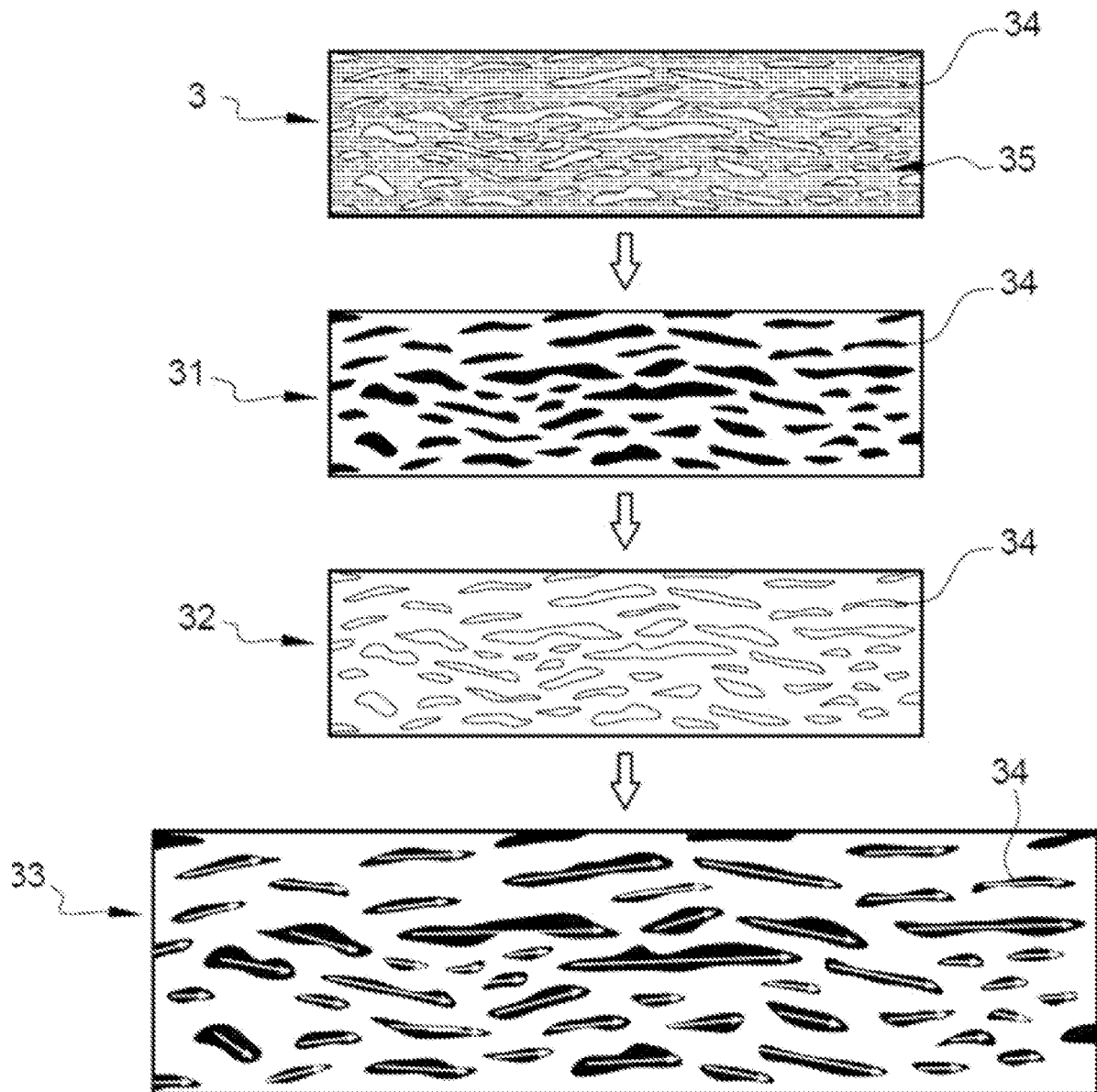
[Fig. 4]



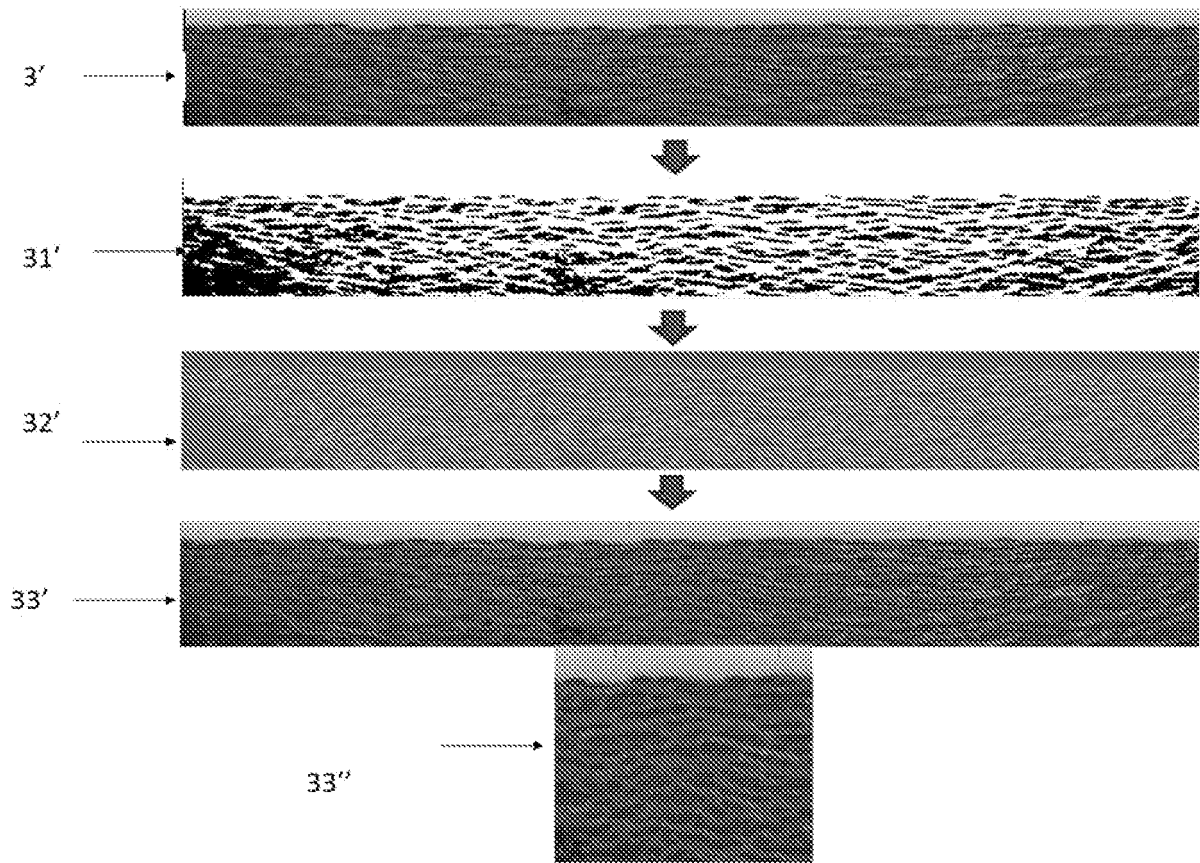
[Fig. 4']



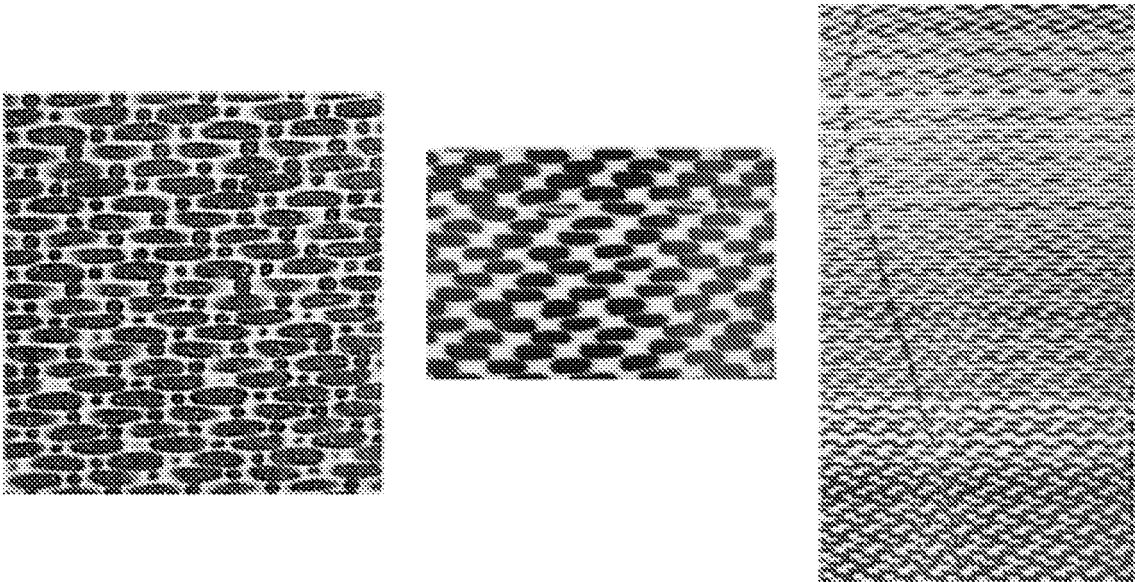
[Fig. 5]



[Fig. 5']



[Fig. 6]



RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.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'ETABLISSEMENT DU PRESENT 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 CITES DANS LE PRESENT 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

NEANT

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

HRISHIKESH BALE ET AL: "Characterizing
Three-Dimensional Textile Ceramic
Composites Using Synchrotron X-Ray
Micro-Computed-Tomography",
JOURNAL OF THE AMERICAN CERAMIC SOCIETY,
vol. 95, no. 1,
31 janvier 2012 (2012-01-31), pages
392-402, XP055331937,
US
ISSN: 0002-7820, DOI:
10.1111/j.1551-2916.2011.04802.x

ANNA MADRA ET AL: "Image-based model
reconstruction and meshing of woven
reinforcements in composites",
INTERNATIONAL JOURNAL OF NUMERICAL METHODS
IN ENGINEERING, CHICHESTER, GB,
vol. 112, no. 9, 17 mai 2017 (2017-05-17),
pages 1235-1252, XP071324982,
ISSN: 0029-5981, DOI: 10.1002/NME.5555

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

NEANT