

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 15.09.21.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 17.03.23 Bulletin 23/11.

56 Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du
présent fascicule*

60 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

71 Demandeur(s) : SAFRAN AIRCRAFT ENGINES
Société par actions simplifiée (SAS) — FR.

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

73 Titulaire(s) : SAFRAN AIRCRAFT ENGINES Société
par actions simplifiée (SAS).

74 Mandataire(s) : Ernest Gutmann - Yves Plasseraud.

54 Procédé de contrôle de pièces tissées de turbomachine.

57 Le présent exposé concerne un procédé (200) de
contrôle non destructif d'une pièce tissée, le procédé com-
prenant les étapes :

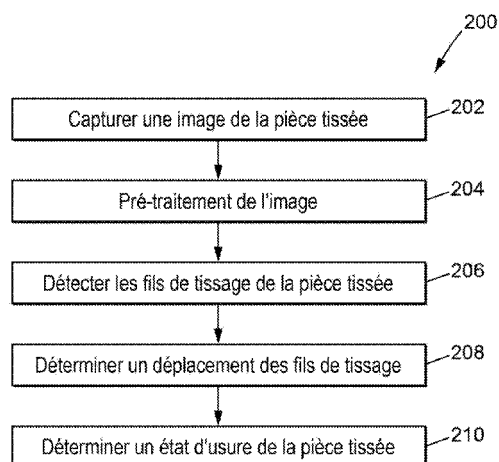
a) capturer (202) au moins une image d'une surface ex-
térieure de ladite pièce par une caméra,

b) détecter (206) des fils de chaîne et/ou des fils de
trame du tissage de ladite pièce à partir de l'au moins une
image,

c) déterminer (208) un déplacement des fils du tissage
par rapport aux fils du tissage de référence,

d) déterminer (210) un état d'endommagement de ladite
pièce en fonction dudit déplacement.

Figure à publier avec l'abrégié : [Fig. 3]



Description

Titre de l'invention : Procédé de contrôle de pièces tissées de turbomachine

Domaine technique de l'invention

[0001] Le présent document concerne un procédé de détermination de l'état d'endommagement de pièces tissées de turbomachine, en particulier d'aéronef.

Etat de la technique antérieure

- [0002] La [Fig.1] représente une turbomachine 1 à double flux et à double corps. L'axe de la turbomachine est référencé X et correspond à l'axe de rotation des parties tournantes. Dans ce qui suit, les termes axial et radial sont définis par rapport à l'axe X.
- [0003] La turbomachine 1 comporte, de l'amont vers l'aval dans le sens d'écoulement des gaz, une soufflante 2, un compresseur basse pression 3, un compresseur haute pression 4, une chambre de combustion 5, une turbine haute pression 6 et une turbine basse pression 7.
- [0004] L'air issu de la soufflante 2 est divisé en un flux primaire 8 s'écoulant dans une veine annulaire primaire 9, et un flux secondaire 10 s'écoulant dans une veine annulaire secondaire 11 entourant la veine annulaire primaire 10. La veine annulaire secondaire 11 est délimité par un carter 21 de la soufflante 2 et un carter 31 entourant le compresseur basse pression 3. Une pluralité d'aubes directrices 22 fixes sont agencées dans la veine annulaire secondaire 11 en aval de la soufflante 2.
- [0005] Le compresseur basse pression 3, le compresseur haute pression 4, la chambre de combustion 5, la turbine haute pression 6 et la turbine basse pression 7 sont ménagées dans la veine primaire 9.
- [0006] Le rotor de la turbine haute pression 6 et le rotor du compresseur haute pression 4 sont couplés en rotation par l'intermédiaire d'un premier arbre 12 de manière à former un corps haute pression.
- [0007] Le rotor de la turbine basse pression 7 et le rotor du compresseur basse pression 3 sont couplés en rotation par l'intermédiaire d'un second arbre 13 de manière à former un corps basse pression, la soufflante 2 pouvant être reliée directement au rotor du compresseur basse pression 3 ou bien par l'intermédiaire d'un train d'engrenage épicycloïdal par exemple.
- [0008] Certaines pièces de la turbomachine 1, telle que le carter 21 de la soufflante 2 ou les aubes de la soufflante 2, sont réalisées par un tissage de fibres de carbone qui est ensuite noyé dans une résine formant une matrice. En fonctionnement de la turbomachine, ces pièces sont soumises à de fortes contraintes mécaniques, pouvant générer des endommagements de ces pièces. Pour anticiper des endommagements trop

sévères, des modèles de simulation sont utilisés pour prévoir la durée de vie de ces pièces. Ces simulations doivent être les plus représentatives possibles de la réalité et sont basées sur des essais sur une pièce partielle ou une pièce complète. Toutes les configurations possibles ne pouvant être testées, les écarts par rapport à la réalité restent présents. Pour lever le doute, il est parfois nécessaire de démonter les pièces et les soumettre à des essais, entravant l'utilisation de la turbomachine.

[0009] Il existe un besoin de déterminer l'endommagement de pièces de turbomachine de façon plus fiable et moins invasive. Cet endommagement est défini par la propagation dans le matériau de fissurations, de décohésions ou de délaminage dans une zone saine ou à partir d'une zone ayant déjà une anomalie.

Résumé de l'invention

[0010] Le présent document propose un procédé de contrôle non destructif d'une pièce tissée, par exemple une pièce tissée de turbomachine d'aéronef, le procédé comprenant les étapes :

[0011] a) capturer au moins une image d'une surface extérieure de ladite pièce par une caméra,

[0012] b) détecter des fils de chaîne et/ou des fils de trame du tissage de ladite pièce à partir de l'au moins une image,

[0013] c) déterminer un déplacement des fils du tissage par rapport aux fils du tissage de référence,

[0014] d) déterminer un état d'endommagement de ladite pièce en fonction dudit déplacement.

[0015] Le procédé permet de déterminer l'état d'endommagement de la pièce tissée à partir d'images prises de la pièce tissée. Le procédé permet de déterminer l'endommagement des pièces de façon plus simple et plus fiable.

[0016] Les fils du tissage de la pièce peuvent être noyés dans une matrice par exemple une résine.

[0017] La pièce peut comprendre des composites à fibres unidirectionnelles.

[0018] La pièce peut être réalisée par un tissage classique, tel qu'un tissage sergé ou taffetas. La pièce peut encore être réalisée par un tissage en 3D ou un tissage 3D interlock.

[0019] Ladite au moins une image peut être extraite d'une vidéo prise préalablement ou en temps réel de la pièce. Ladite au moins une image peut comprendre la totalité ou une partie de la pièce.

[0020] La caméra peut être une caméra CCD ou tout autre type de caméra adapté.

[0021] Le procédé peut comprendre, préalablement à l'étape c), une étape de comparaison de la position des fils du tissage à la position de référence de fils du tissage de la pièce déterminés préalablement à la déformation de la pièce.

- [0022] Les positions de référence des fils du tissage de la pièce peuvent être préalablement déterminés lorsque la pièce n'est soumise à aucun effort mécanique. Les positions de référence peuvent être déterminées par des essais mécaniques expérimentaux. Les positions de référence des fils du tissage de la pièce peuvent être stockées dans une première base de données.
- [0023] Le déplacement des fils du tissage peut être détecté par détection d'un ou plusieurs vides dans la matrice. Pour cela, le procédé peut comprendre une étape de détection de la matrice de la pièce, et un ou plusieurs vides étant déterminés dans la pièce si aucun fil du tissage, ou si la matrice, n'est pas détecté dans un endroit de la pièce. Ce vide peut correspondre à une fissure de la pièce.
- [0024] L'état d'endommagement peut être déterminé à l'étape e) par consultation d'une seconde base de données comprenant des états d'endommagement de la pièce en fonction du déplacement des fils du tissage. La seconde base de données peut être déterminée par des essais mécaniques expérimentaux. L'état d'endommagement de la pièce peut être estimé à partir de la quantité de fissuration de matrice, de décohésions entre les fibres et la matrice ou encore de la présence de délaminage dans l'épaisseur du matériau de la pièce. D'une manière générale, cet état d'endommagement peut être estimé comme un pourcentage de cohésion entre les éléments constitutifs de la pièce.
- [0025] L'étape b) peut comprendre les sous-étapes :
- [0026] réduire le bruit de l'au moins une image, et
- [0027] appliquer un seuil à l'au moins une image.
- [0028] La réduction du bruit peut être réalisée en appliquant un filtre adapté, par exemple un filtre gaussien.
- [0029] L'application du seuil permet de binariser l'image. La valeur du seuil peut être déterminée préalablement et peut varier d'une image à une autre.
- [0030] Le procédé peut comprendre en outre une étape de segmentation de l'image par exemple par un algorithme de k-moyennes. Cette étape de segmentation permet de distinguer les fils du tissage et la matrice, et éventuellement un ou plusieurs vides. D'autres algorithmes de segmentation peuvent être utilisés à cette étape, par exemple des algorithmes d'apprentissage.
- [0031] Le procédé peut comprendre une étape préalable de coloration de la matrice de la pièce lors de sa fabrication.
- [0032] La pièce peut être un carter de la turbomachine, par exemple le carter d'une soufflante de la turbomachine. La pièce peut être le carter d'une turbine de la turbomachine.
- [0033] La pièce peut être une aube d'une turbine ou une aube de la soufflante de la turbomachine.
- [0034] La pièce peut être en fibres de carbone. Par exemple, la pièce peut être en fibres de

verre.

[0035] Le procédé peut comprendre une étape d'installation de la caméra pour capturer ladite au moins une image.

[0036] La caméra peut être installée à demeure dans la turbomachine ou peut être amovible de la turbomachine. La turbomachine peut être partiellement démontée avant l'installation de la caméra.

[0037] Le présent document concerne encore un dispositif comprenant des moyens de mise en œuvre du procédé précité.

[0038] Le présent document concerne encore une turbomachine comprenant des moyens de mise en œuvre du procédé précité.

Brève description des figures

[0039] [Fig.1] la [Fig.1] déjà décrite représente une turbomachine à double flux,

[0040] [Fig.2] la [Fig.2] représente une pièce tissée de la turbomachine de la [Fig.1],

[0041] [Fig.3] la [Fig.3] représente un procédé de détermination d'un état d'endommagement de la pièce tissée de la [Fig.3],

[0042] [Fig.4] la [Fig.4] représente une image de la surface extérieure d'une partie de la pièce tissée de la [Fig.2],

[0043] [Fig.5] la [Fig.5] représente une image après traitement par le procédé de la [Fig.3].

Description détaillée de l'invention

[0044] La [Fig.2] représente un agrandissement de la zone A du carter 21 de la turbomachine 1 de la [Fig.1]. Le carter 21 comprend une paroi annulaire amont 100 externe agencée au niveau de la soufflante 2. La paroi annulaire amont 100 entoure une virole amont 102, une virole intermédiaire 103 et une partie d'une virole aval 104, suivant l'axe de rotation X. La virole intermédiaire 103 entoure les aubes de la soufflante 2. La virole amont 102 et la virole aval 104 sont fixées à la paroi annulaire amont 100 par des vis 105. La virole aval 104 est aussi fixée à une autre paroi annulaire aval 106 l'entourant. La paroi annulaire aval 106 entoure les aubes directrices 22 qui sont reliées à la paroi annulaire aval 106 par des vis 107.

[0045] La virole amont 102, la virole intermédiaire 103 et la virole aval 104 délimitent une veine secondaire traversée par le flux d'air secondaire 10.

[0046] La paroi annulaire aval 106 est munie de lécettes s'étendant radialement sur sa face radialement extérieure.

[0047] La paroi annulaire aval 106 est reliée à la paroi annulaire amont 100 par des vis 108. La paroi annulaire amont 100 comprend une bride de liaison aval 110 formée par une paroi annulaire s'étendant sensiblement radialement et qui est reliée par les vis 108 à une bride de liaison correspondante de la paroi annulaire aval 106.

[0048] La paroi annulaire amont 100 comprend une bride de liaison amont 112 opposée à la

bride de liaison aval 110 et est configurée pour être assemblée avec une autre virole du carter 21.

- [0049] Une image 300 de la surface extérieure de la paroi annulaire amont 100 est représentée sur la [Fig.4]. La paroi annulaire amont 100 est réalisée par tissage 3D et comprend des fils de trame 306 entrecroisés avec des fils de chaîne 304. Les fils du tissage 304 et 306 sont noyés dans une matrice 302 qui peut être une résine. Les fils du tissage 304 et 306 sont des fibres de carbone par exemple des fibres de verre. La matrice 302 peut comprendre un colorant qui la distingue des fils du tissage 304 et 306. Les fils du tissage 304 et 306 peuvent être formés chacun par un toron de fils.
- [0050] Le procédé 200 de la [Fig.3] permet de déterminer de façon non-invasive si la paroi annulaire amont 100 présente des signes de fatigue mécanique, en particulier si les brides de liaison amont ou aval 112 et 110 sont fissurées ou sur le point de l'être. Dans la suite, le procédé 200 est décrit en application à la bride de liaison aval 110 mais peut être appliqué de façon similaire à la bride de liaison amont 112 ou à toute autre pièce tissée de la turbomachine 1.
- [0051] Le procédé 200 comprend une étape 202 de capture d'au moins une image 300 de la bride de liaison aval 110. L'image 300 peut être extraite d'une vidéo de la bride de liaison aval 110. L'image 300 peut être obtenue par une caméra 114, par exemple une caméra CCD ayant une résolution de 720p. La caméra 114 peut être installée temporairement ou à demeure sur la paroi annulaire amont 110. La caméra 114 peut être portée par un endoscope.
- [0052] Le procédé 200 comprend ensuite une étape 204 de traitement de l'image 300 par application d'un filtre et d'un seuil à ladite image 300. Cette étape 204 aboutit à l'image 400 de la [Fig.5].
- [0053] Le procédé comprend ensuite une étape 206 de distinction des fils du tissage 304, 306 et de la matrice 302. L'étape 206 comprend la classification des données de l'image 400, par exemple par un algorithme de k-moyennes. L'étape 206 permet de déterminer une classe des fils du tissage 304, 306 et une classe de la matrice 302. Lorsque la bride de liaison amont 110 commence à présenter des fissures 308, une classe de vide est déterminée à l'étape 206 en correspondance avec ces fissures 308.
- [0054] Le procédé 200 comprend ensuite une étape 208 de détermination d'un déplacement éventuel des fils du tissage 304, 306. Par exemple, si un vide est détecté lors de l'étape 206 précédente, les fils du tissage 204, 306 sont considérés comme ayant subis un déplacement.
- [0055] Le logement 310 n'est pas pris en compte comme un vide car il est déjà prévu pour accueillir la vis de fixation 108.
- [0056] En outre, le déplacement des fils du tissage 304, 306 par comparaison de la position des fils du tissage 304, 306 à la position de référence de fils du tissage déterminés

préalablement à la déformation de la bride de liaison aval 110.

- [0057] Ces positions de référence de fils du tissage sont préalablement déterminées, par exemple expérimentalement lorsque la bride de liaison aval 110 n'est soumise à aucun effort mécanique. Les positions de référence de fils du tissage de la pièce sont stockées dans une première base de données.
- [0058] Enfin, le procédé 200 comprend une étape 210 de détermination de l'état d'endommagement de la bride de liaison aval 110 en fonction du déplacement détecté à l'étape 208.
- [0059] Par exemple, l'étape 210 peut comprendre le calcul de la surface des fissures 308 à partir de l'image 400, l'état d'endommagement étant fonction de la surface calculée.
- [0060] En outre, l'état d'endommagement peut être déterminé par consultation d'une seconde base de données comprenant des états d'endommagement de la bride de liaison aval 110 en relation avec le déplacement des fils du tissage. Dans le cas de matériaux à fibres de verre ou carbone cet état d'endommagement peut être associé à tout type d'endommagement générant une propagation dans la pièce par rapport à l'état de référence. Cette propagation peut être liée soit à une utilisation normale de la pièce, soit à une anomalie présente initialement dans le matériau de la pièce tel que des porosités, du délaminage entre les différentes couches dudit matériau, des fibres non-imprégnées dans la matrice ou un défaut de réticulation de la matrice affectant son comportement mécanique.
- [0061] Le suivi visuel en continu de la bride de liaison aval 110 permet, avec une analyse de plusieurs images par seconde, de suivre le déplacement des fibres du tissage 304,306. L'analyse des déplacements, par exemple avec un indicateur de moyenne, permet alors la quantification de l'état d'endommagement de la pièce. L'état d'endommagement de la bride de liaison aval 110 peut être un pourcentage de cohésion entre les fils du tissage 304, 306 et la matrice 302 de la bride de liaison aval 110.
- [0062] Le procédé 200 est décrit en relation avec une paroi du carter 21 mais peut être utilisé pour toute autre pièce tissée de la turbomachine par exemple une aube de la soufflante 2, une aube d'une des turbines 5, 6 ou le carter 31 entourant les compresseurs et les turbines de la turbomachine 1.

Revendications

- [Revendication 1] Procédé (200) de contrôle non destructif d'une pièce tissée, par exemple une pièce tissée de turbomachine (1) d'aéronef, le procédé comprenant les étapes :
- a) capturer (202) au moins une image (300) d'une surface extérieure de ladite pièce par une caméra (114),
 - b) détecter (206) des fils de chaîne (304) et/ou des fils de trame (306) du tissage de ladite pièce à partir de l'au moins une image,
 - c) déterminer (208) un déplacement des fils du tissage (304,306) par rapport à des fils de tissage de référence,
 - d) déterminer (210) un état d'endommagement de ladite pièce en fonction dudit déplacement.
- [Revendication 2] Procédé (200) selon la revendication 1, dans lequel l'étape b) comprend les sous-étapes :
- réduire le bruit de l'au moins une image (300), et
 - appliquer un seuil à l'au moins une image (300).
- [Revendication 3] Procédé (200) selon l'une des revendications précédentes, comprenant, préalablement à l'étape c) (208), une étape de comparaison de la position des fils du tissage (304,306) à la position de référence de fils du tissage de la pièce, déterminés préalablement à la déformation de la pièce.
- [Revendication 4] Procédé (200) selon l'une des revendications précédentes, dans lequel la pièce est un carter de la turbomachine (1), par exemple le carter (21) d'une soufflante (2) de la turbomachine.
- [Revendication 5] Procédé (200) selon l'une des revendications 1 à 3, dans lequel la pièce est une aube d'une turbine (6,7) ou de la soufflante (2) de la turbomachine (1).
- [Revendication 6] Procédé (200) selon l'une des revendications précédentes, dans lequel la pièce est en fibres de carbone.
- [Revendication 7] Procédé (200) selon l'une des revendications précédentes, dans lequel la pièce comprend des composites à fibres unidirectionnelles.
- [Revendication 8] Procédé (200) selon l'une des revendications précédentes, dans lequel la pièce est réalisée par un tissage classique ou un tissage 3D ou un tissage 3D interlock.
- [Revendication 9] Procédé (200) selon l'une des revendications précédentes, comprenant une étape d'installation de la caméra (114) pour capturer ladite au moins une image (300).

[Fig. 1]

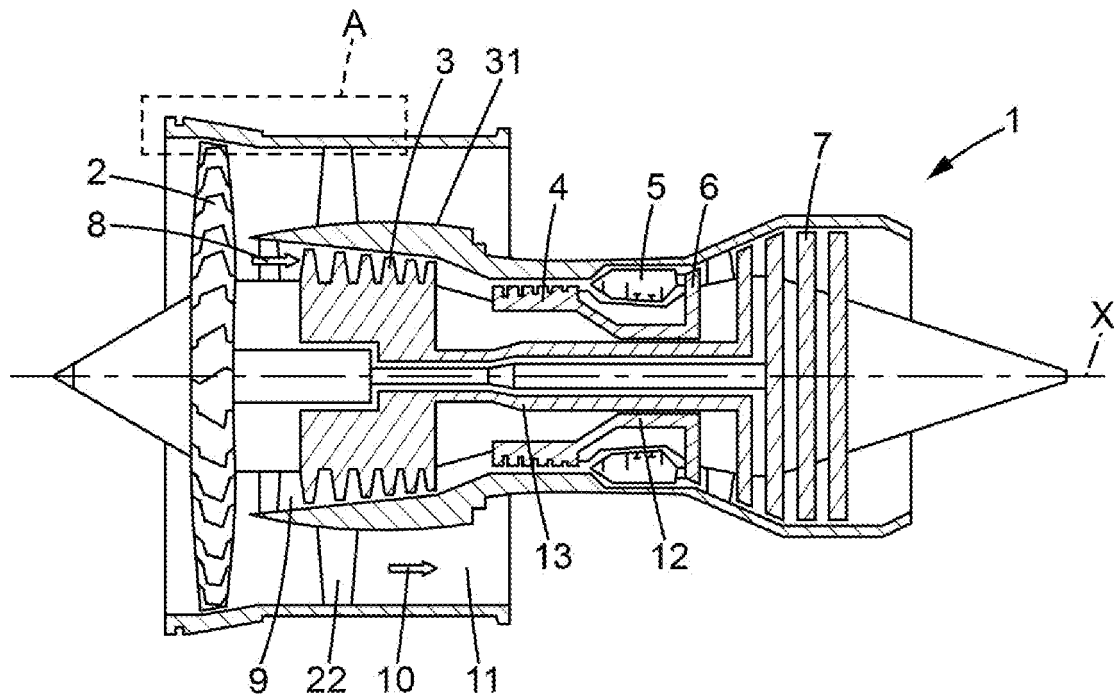


FIG. 1

[Fig. 2]

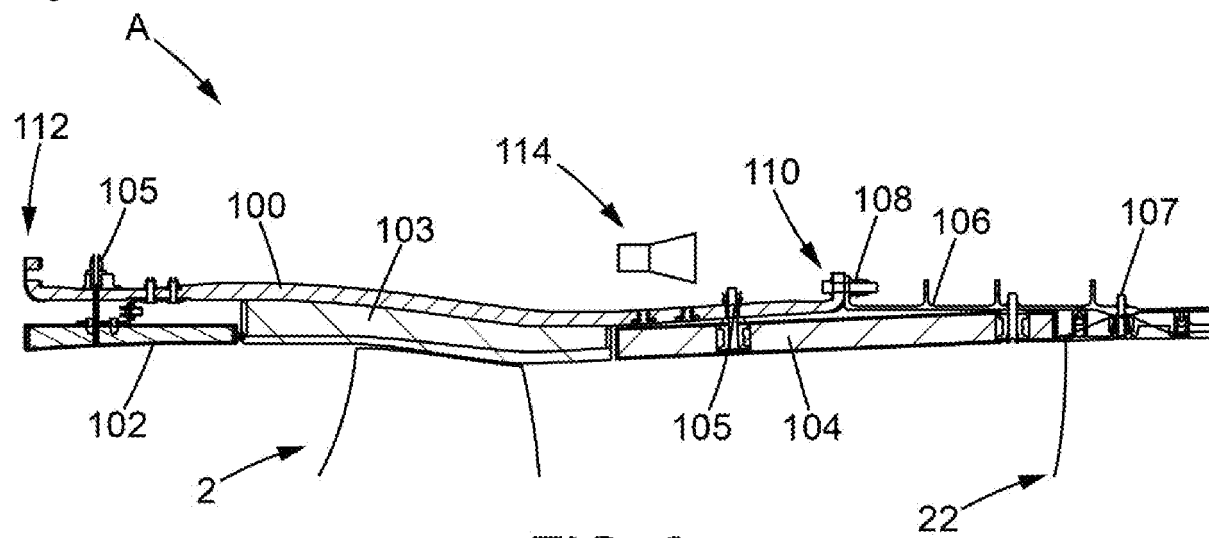
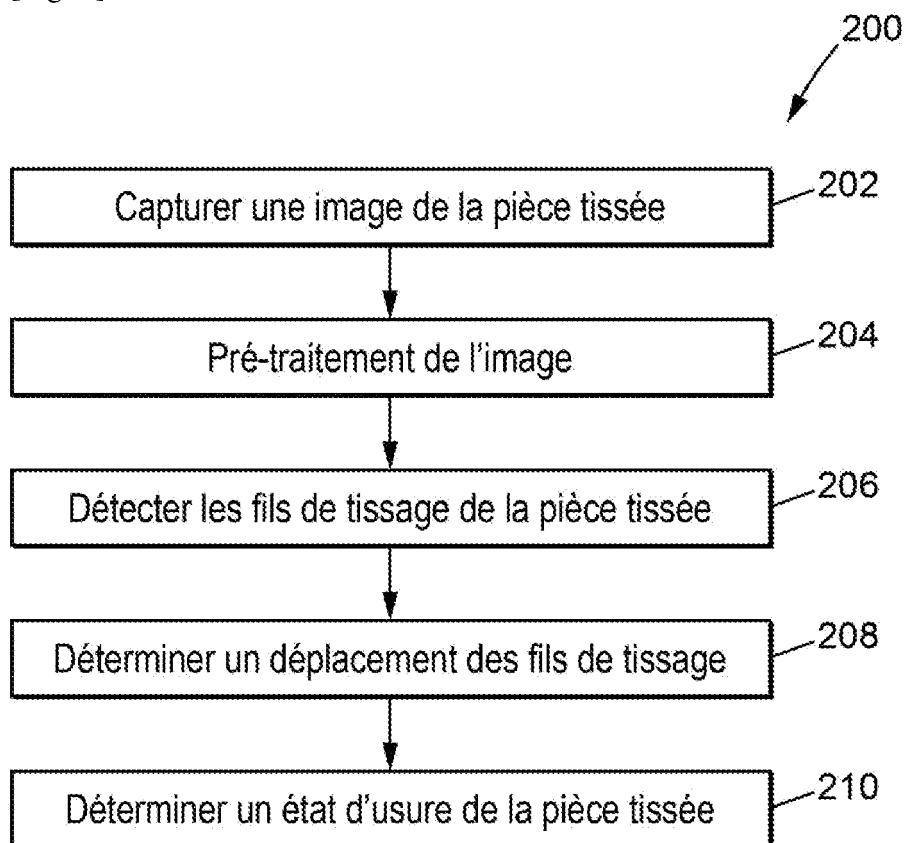
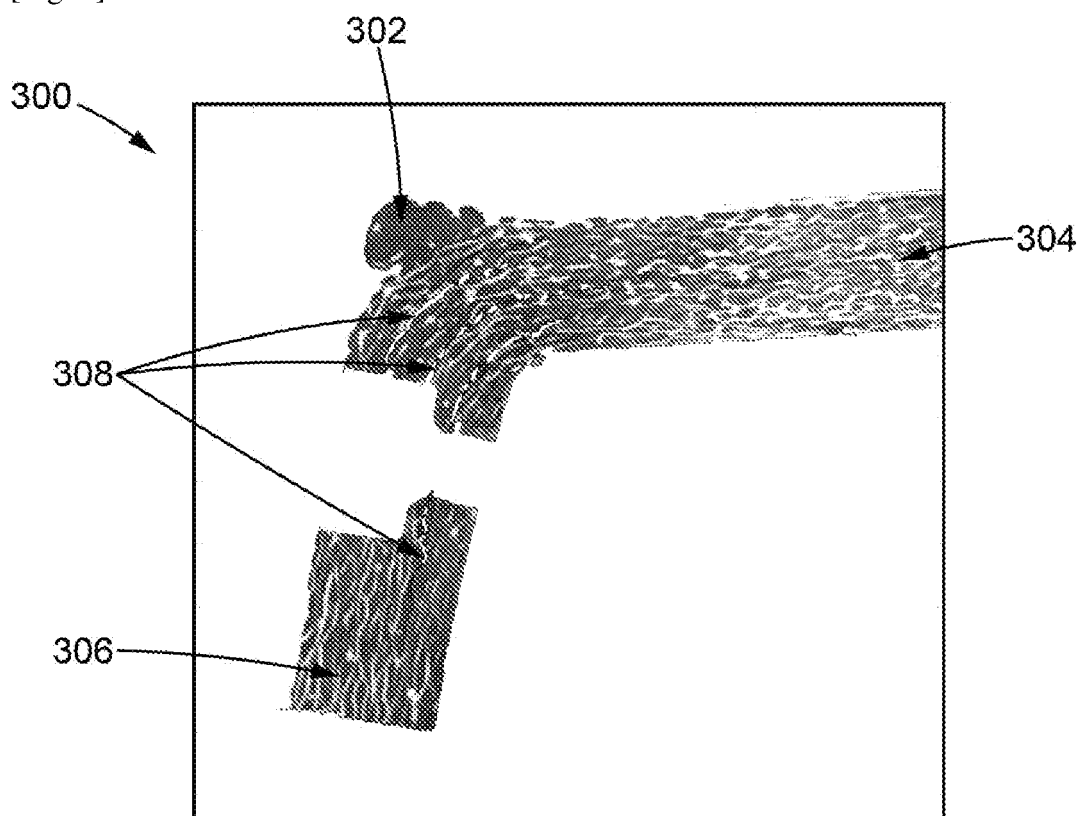


FIG. 2

[Fig. 3]

**FIG. 3**

[Fig. 4]

**FIG. 4**

[Fig. 5]

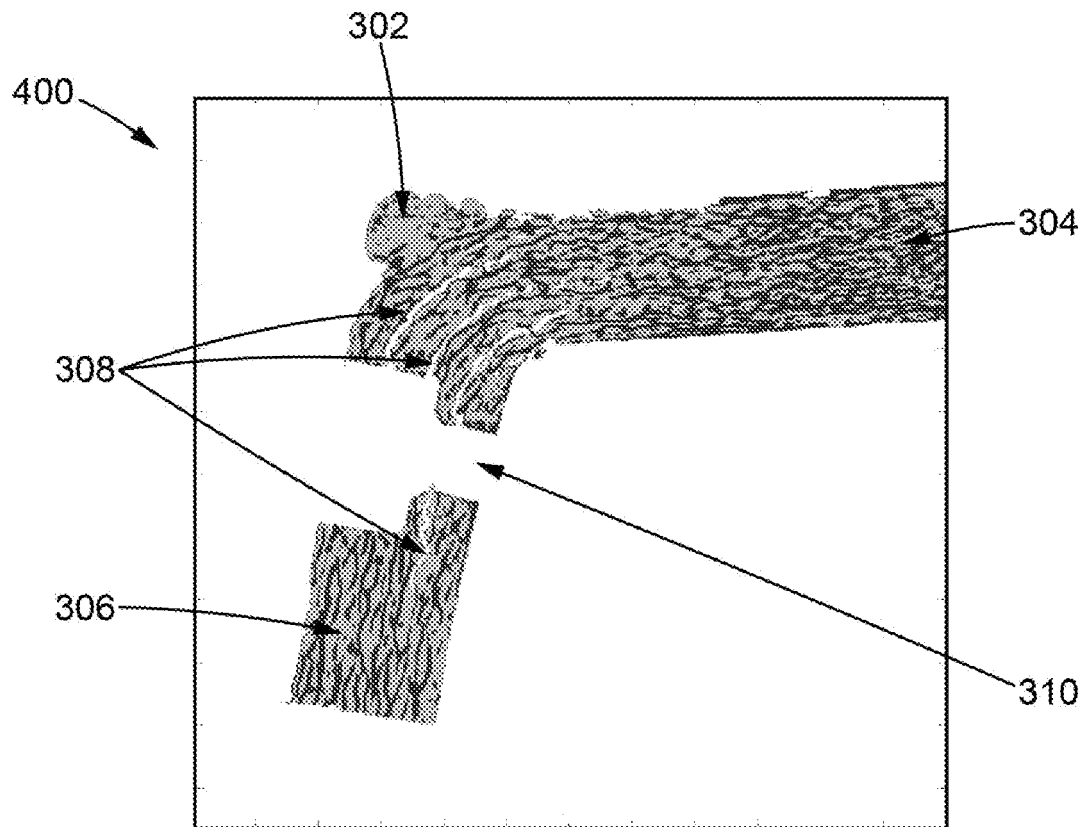


FIG. 5

RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement
national

FA 902599
FR 2109693

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	US 2015/302577 A1 (MAROLLE PHILIPPE [FR] ET AL) 22 octobre 2015 (2015-10-22) * alinéas [0001], [0047], [0067]; revendications 12, 20; figures 1-13 * -----	1-9	G01N21/898 G01N21/956 G06T7/73 G06V10/70
X	US 2018/122060 A1 (SHIRKHODAIE AMIR HOUSHANG [US] ET AL) 3 mai 2018 (2018-05-03) * alinéas [0004] - [0007]; revendication 1; figures 5, 6 * -----	1-3, 7-9	
X	US 2012/321126 A1 (FRESE TANJA [DE] ET AL) 20 décembre 2012 (2012-12-20) * abrégé; revendication 1; figures 3a-3c, 7-14 * -----	1-3, 7-9	
X	US 2016/077019 A1 (MATHON RICHARD [FR] ET AL) 17 mars 2016 (2016-03-17) * abrégé; revendication 1 * * page 1 * -----	1-5, 7-9	
A	EP 3 255 417 A1 (BOEING CO [US]) 13 décembre 2017 (2017-12-13) * alinéas [0001] - [0010]; revendication 1 * -----	1-9	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) G01N
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
30 juin 2022		Koll, Hermann	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE **RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2109693 FA 902599**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.
 Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **30-06-2022**
 Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2015302577 A1	22-10-2015	BR 112015002238 A2	04-07-2017	
		CA 2880145 A1	06-02-2014	
		CN 104541303 A	22-04-2015	
		EP 2880629 A1	10-06-2015	
		FR 2994308 A1	07-02-2014	
		JP 6227647 B2	08-11-2017	
		JP 2015526722 A	10-09-2015	
		RU 2015107204 A	27-09-2016	
		US 2015302577 A1	22-10-2015	
		WO 2014020288 A1	06-02-2014	

US 2018122060 A1	03-05-2018	AUCUN		

US 2012321126 A1	20-12-2012	DE 102011104435 B3	16-08-2012	
		EP 2535702 A2	19-12-2012	
		US 2012321126 A1	20-12-2012	

US 2016077019 A1	17-03-2016	BR 112015027152 A2	25-07-2017	
		CA 2910555 A1	30-10-2014	
		CN 105164519 A	16-12-2015	
		EP 2989449 A1	02-03-2016	
		FR 3005042 A1	31-10-2014	
		JP 6580556 B2	25-09-2019	
		JP 2016518276 A	23-06-2016	
		RU 2015150420 A	02-06-2017	
		US 2016077019 A1	17-03-2016	
WO 2014174193 A1	30-10-2014			

EP 3255417 A1	13-12-2017	CN 107490549 A	19-12-2017	
		EP 3255417 A1	13-12-2017	
		JP 7022520 B2	18-02-2022	
		JP 2018025541 A	15-02-2018	
		US 2017359529 A1	14-12-2017	
