

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 28.11.16.

30 Priorité :

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

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 Société anonyme — FR,
SAFRAN AIRCRAFT ENGINES Société par actions
simplifiée — FR, CENTRE NATIONAL DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE Etablissement public —
FR et ARMINES — FR.

72 Inventeur(s) : REMACHA CLEMENT, ROMERO
EDWARD, ARNAUD ALEXIANE, PROUDHON HENRY
et HERBLAND THIBAUT.

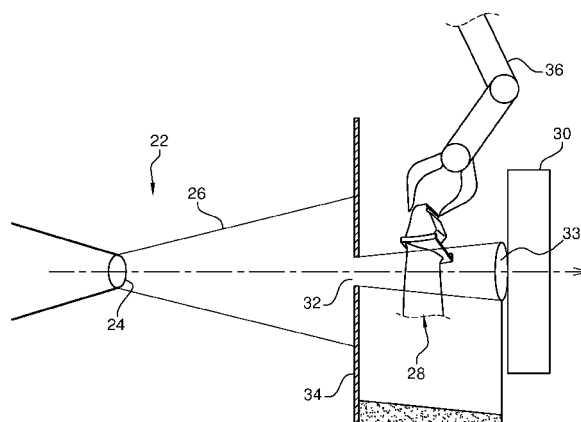
73 Titulaire(s) : SAFRAN Société anonyme, SAFRAN AIR-
CRAFT ENGINES Société par actions simpli-
fiée, CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE Etablissement public, ARMINES.

74 Mandataire(s) : ERNEST GUTMANN - YVES PLAS-
SERAUD SAS.

54 PROCÉDE DE CONTROLE NON DESTRUCTIF D'UNE PIÈCE DE TURBOMACHINE.

57 L'invention concerne un procédé de contrôle de
l'orientation cristallographique d'au moins un grain d'une
pièce de turbomachine, comprenant les étapes consistant
à :

- émettre un faisceau d'un rayonnement électromagné-
tique au travers de la pièce et enregistrer une information de
diffraction du rayonnement électromagnétique au travers de
la pièce ;
- identifier au moins un premier grain cristallographique
à partir de l'information de diffraction ;
- déterminer une orientation spatiale dudit au moins un
premier grain ;
- calculer l'écart angulaire entre l'orientation spatiale
dudit au moins un premier grain et une direction prédétermi-
née prise sur la pièce et le comparer à une première valeur
seuil prédéterminée ;
- déterminer un état d'utilisation de la pièce.



Procédé de contrôle non destructif d'une pièce de turbomachine

La présente invention concerne une méthode de contrôle non destructif de la structure interne d'une pièce, plus particulièrement de
5 l'orientation cristalline des grains de matière d'une pièce de turbomachine.

Les pièces de turbomachines, en particulier les aubes de turbine qu'elles soient mobiles ou fixes, sont soumises à de fortes contraintes mécaniques lors du fonctionnement de la turbomachine. Les aubes doivent donc être très résistantes pour éviter leur détérioration et la génération de
10 débris pouvant impacter le bon fonctionnement de la turbomachine. Ces aubes présentent une structure monocristalline, la croissance des grains étant contrôlée par l'intermédiaire d'un sélecteur de grains.

Préalablement à leur montage dans la turbomachine, il est usuel d'effectuer un ensemble d'opérations de contrôle afin de s'assurer de leurs
15 résistance mécanique.

Cette opération peut notamment être réalisée par détermination de l'orientation des grains de matière de l'aube, également appelée orientation cristalline. En effet, il est connu que, plus l'orientation des différents grains est identique ou quasi-identique, et plus l'aube est
20 résistante.

Une méthode connue pour contrôler l'orientation des grains est de faire une attaque chimique de l'aube puis d'observer les aubes dans une solution. Une désorientation de grains, c'est-à-dire une orientation différente de grains, sur l'aube sera visible par une modification de la
25 réflexion de la lumière sur l'aube, et donc une zone plus ou moins claire sur l'aube.

Cette méthode donne satisfaction pour le contrôle extérieur, c'est-à-dire de l'état de surface, de l'aube mais le contrôle de la structure interne de l'aube ne peut être fait que par une découpe de la pièce qui
30 implique donc une destruction de la pièce. Ainsi, pour une production en série, le contrôle de la structure cristalline interne des aubes n'est réalisé

que lors de l'industrialisation de la pièce et de la mise sous contrôle du processus de fabrication.

Or, les aubes de turbine comprennent de plus en plus de cavités internes complexes, ce qui amène une probabilité d'apparition de grains internes non négligeable impliquant un risque de vieillissement précoce de l'aube. Dès lors, le contrôle non destructif individuel des aubes s'avèrent de plus en plus important.

Il est à noter que le changement d'orientation des grains de matière de l'aube s'effectue par un décalage angulaire par rapport à une orientation théorique correspondant à l'axe de croissance du cristal contrôlée par l'intermédiaire d'un sélecteur de grains. Cet axe de croissance correspond à l'axe d'empilage du moteur et s'étend radialement par rapport à l'axe de rotation.

L'invention a notamment pour but d'apporter une solution simple, efficace et économique à ce problème.

A cet effet, l'invention propose un procédé de contrôle de l'orientation cristalline d'au moins un grain d'une pièce de turbomachine, comprenant les étapes consistant à :

- a) émettre un faisceau d'un rayonnement électromagnétique de haute énergie au travers de la pièce et enregistrer une information de diffraction du rayonnement électromagnétique au travers de la pièce ;
- b) identifier au moins un premier grain cristallographique à partir de l'information de diffraction ;
- c) déterminer une orientation spatiale dudit au moins un premier grain ;
- d) calculer l'écart angulaire entre l'orientation spatiale dudit au moins un premier grain et une direction prédéterminée prise sur la pièce et le comparer à une première valeur seuil prédéterminée ;
- e) déterminer un état d'utilisation de la pièce.

Au contraire de la technique antérieure qui ne réalise qu'une analyse de la surface de la pièce, l'invention propose de réaliser un contrôle de la structure interne de la pièce en procédant à une analyse d'un

faisceau d'un rayonnement électromagnétique diffracté au travers de la pièce. La figure de diffraction obtenue permet de déduire la présence de grains cristallographiques sur la pièce et d'en déterminer l'orientation. Pour déterminer un état d'utilisation de la pièce, c'est-à-dire par exemple si la
5 pièce peut être utilisée ou mise au rebut. L'invention propose de comparer l'orientation cristalline d'au moins un grain avec une direction prédéterminée de la pièce, cette direction pouvant correspondre par exemple à une direction selon laquelle le grain de matière devrait s'étendre dans une situation idéale/théorique. En pratique, à partir de l'information
10 bidimensionnel obtenu au travers du faisceau diffracté, on obtient une information relative à l'orientation spatiale du ou des grains de l'aube.

Le terme « haute énergie » se réfère à des énergies supérieures à 100 KeV tels que les rayonnements X ou gamma par exemple. Les rayonnements ne pouvant pas traverser la pièce sont ici exclus.

15 Selon une autre caractéristique, le procédé consiste également à :

- i. identifier la présence d'un second grain cristallographique à partir de l'information de diffraction,
- ii. déterminer une orientation spatiale dudit second grain de la pièce à
20 partir de l'information de diffraction,
- iii. calculer l'écart angulaire entre l'orientation spatiale dudit second grain et ladite direction prédéterminée de la pièce et le comparer à la première valeur seuil prédéterminée,
- iv. calculer l'écart angulaire entre l'orientation spatiale dudit premier grain
25 et l'orientation spatiale dudit second grain et le comparer à une seconde valeur seuil prédéterminée,
- v. déterminer un état d'utilisation de la pièce des étapes d), iii) et iv).

Selon l'invention, les écarts d'orientation entre deux grains peuvent également être pris en considération ce qui permet de prendre une
30 décision sur l'état d'utilisation de la pièce à partir d'un état relatif entre deux grains de la pièce.

Dans une réalisation pratique de l'invention, la première valeur seuil prédéterminée est comprise entre de l'ordre de -15° et de l'ordre de 15° . La seconde valeur seuil prédéterminée peut être comprise entre de l'ordre de -12° et de l'ordre de 12° .

5 Préférentiellement, la détermination de l'état d'utilisation consiste à mettre au rebut la pièce si l'un des écarts est supérieur à un seuil prédéterminé auquel il est comparé.

Avantageusement, l'identification de la présence d'un grain est réalisée par comparaison d'une image de diffraction du rayonnement ayant
10 traversé la pièce à une base de données comprenant des images de diffraction de référence correspondant à des orientations connues de grains dans une pièce, de préférence de même type que la pièce analysée. Dans cette première approche, il serait possible d'utiliser une fonction de corrélation pour établir une ressemblance entre l'image de diffraction
15 obtenue et une image de diffraction en base de données pour laquelle l'orientation des grains est connue.

Il est encore possible d'effectuer une détection des pics sur l'image de diffraction et de comparer la position des pics avec une base de données de positions de référence pour des pics connus dont on connaît
20 l'orientation cristalline

Les images de diffraction de référence peuvent être des images de diffraction obtenues par expérimentation sur des pièces réelles ou sur des pièces simulées numériquement du point de vue cristallographique. De préférence, l'information de diffraction consiste en une image de diffraction
25 obtenue à partir du faisceau diffracté au travers de la pièce.

Avantageusement, le faisceau de rayonnement électromagnétique est un faisceau de rayons X.

L'invention sera mieux comprise et d'autres détails, caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la
30 description suivante faite à titre d'exemple non limitatif en référence aux dessins annexés dans lesquels :

- la figure 1 est une vue schématique en perspective d'une aube de turbine ayant une structure interne comprenant un seul grain ;
- la figure 2 est une vue schématique en perspective d'une aube de turbine ayant une structure interne comprenant une pluralité de grains ;
- 5 - la figure 3 est une représentation schématique d'un dispositif d'obtention de figure de diffraction d'un rayonnement électromagnétique au travers d'une pièce à contrôler ;
- la figure 4 est une représentation schématique d'une aube de turbine comprenant un seul grain ;
- 10 - la figure 5 est une illustration d'une image de diffraction obtenue au travers de la pièce de la figure 4 ;
- la figure 6 est une représentation schématique d'une aube de turbine comprenant deux grains ;
- la figure 7 est une illustration d'une image de diffraction obtenue au
15 travers de la pièce de la figure 6.

Il est rappelé que le terme « grain » désigne une zone où les atomes sont parfaitement ordonnés selon un agencement cristallographique donné.

- On a représenté en figure 1 une aube de turbine 10 (haut) ainsi que la structure interne 12 (bas) de cette aube 10 qui comprend un seul grain
- 20 14. La figure 2 représente une aube de turbine 16 (haut) et sa structure interne 18 comprenant une pluralité de grains 20 différents. Ces grains 20 sont délimités les uns par rapport aux autres par des joints 22.

- Comme indiqué précédemment, l'invention propose un procédé et un dispositif permettant une analyse de la microstructure d'une aube afin
- 25 de donner une information relative à la structure mécanique de la pièce et ainsi en déduire si l'aube est apte ou non à être utilisée dans une turbomachine, c'est-à-dire si elle est apte à tenir les sollicitations mécaniques en fonctionnement.

- A cette fin, le dispositif 22 comprend une source de rayonnement 24
- 30 électromagnétique de haute énergie, plus particulièrement une source de rayons X apte à émettre un faisceau 26 en direction d'une aube 28 à

contrôler. Il comprend également des moyens de collecte et d'enregistrement 30 du faisceau diffracté au travers de la pièce 28. Un premier masque 32 est intercalé entre la source 24 de rayonnement et la pièce 28 et comprend une ouverture 34 configurée de manière à ce qu'une
5 partie seulement de la pièce 28 soit soumise au rayonnement incident. Ce premier masque 32 permet également de limiter les réflexions parasites. Un second masque 33 réalisé dans un matériau apte à fortement absorber les rayonnements provenant de la source sera aligné avec l'ouverture 34 afin de supprimer le faisceau direct (ordre 0) du signal enregistré. La zone
10 à contrôler de la pièce 28 peut être mise en position dans le faisceau au moyen d'un bras préhenseur 36 piloté par ordinateur. Le montage utilisé est ici un montage du type Laue par transmission.

Le dispositif 22 selon l'invention est ainsi utilisé de la manière suivante. Un faisceau 26 de rayons X traverse la pièce 28 et est collecté
15 par un capteur numérique à détection indirect (classiquement un capteur numérique plan avec un scintillateur à iodure de césium) ou direct (compteur de photon RX). L'information obtenue est une information de diffraction du faisceau de rayons X qui peut être représentée sous la forme d'une image de diffraction (figure 5). Cette image de diffraction représente
20 un exemple d'une figure de diffraction obtenue lorsque l'aube 38 comprend un seul grain. A partir de la position des taches sur les images, il est possible de déterminer le nombre de grains et l'orientation respective de chacun des grains.

A partir d'une telle image de diffraction il est possible de déterminer
25 le nombre de grains dans la zone de la pièce observée par rayons X. Cette identification peut être effectuée par comparaison avec des images de référence stockées dans une base de données, ces images de référence correspondant à des orientations connues de grains dans une pièce de même type que la pièce analysée. Les images de diffraction de référence
30 sont des images de diffraction obtenues par expérimentation sur des pièces réelles ou sur des pièces simulées numériquement.

Après avoir déterminé l'orientation spatiale du grain de l'aube 38, le procédé consiste à calculer l'écart angulaire noté entre l'orientation angulaire 37 obtenue sur l'aube 38 pour le grain identifié et la direction longitudinale 39 de l'aube, c'est-à-dire la direction s'étendant du pied au
5 sommet de l'aube et qui correspond sensiblement à la direction radiale, c'est-à-dire perpendiculaire à l'axe de rotation des rotors de la turbomachine (figure 4).

Cet écart angulaire α_1 est comparé à une première valeur seuil prédéterminée qui peut être comprise entre de l'ordre de -15° et de l'ordre
10 de 15° . En effet, au-delà de cette gamme de valeurs, les sollicitations mécaniques appliquées à l'aube en fonctionnement seraient trop importantes pour un tel grain, ce qui pourrait conduire à un endommagement de l'aube.

Si l'écart angulaire α_1 mesuré est supérieur à la première valeur seuil, alors il convient de mettre l'aube contrôlée au rebut puisque cela
15 indique que le seul et unique grain de l'aube est trop fortement désaligné par rapport à l'orientation idéale souhaitée qui est celle de l'axe longitudinale de l'aube. Ainsi, dans un tel cas, l'aube subirait en fonctionnement des contraintes mécaniques trop importantes par rapport à
20 l'orientation des atomes.

Dans une deuxième configuration possible d'une aube 40 comprenant deux grains différents dans la zone traversée par le faisceau de rayons X (figure 6), on obtient alors une figure de diffraction sur l'image de diffraction (figure 7) qui est différente de celle obtenue pour l'aube avec
25 un seul grain. Cette image comprend deux séries de cercles 42a, 44a, la première série 42a de cercles (traits pleins) correspond à un premier grain de la pièce et la seconde série 44a de cercles (traits pointillés) correspond à un second grain de l'aube 40.

Pour déterminer si l'aube qui comprend deux grains 42, 44, alors
30 qu'en théorie elle ne devrait comprendre qu'un seul grain orienté selon la direction longitudinale, le procédé selon l'invention consiste donc à

déterminer l'orientation spatiale 42b, 44b du premier grain 42 et du second grain 44 et à mesurer l'écart angulaire α_1 et α_2 de chacune des orientations 42b, 44b avec la direction longitudinale 39. Si l'un des deux écarts angulaires α_1 et α_2 est supérieur à la première valeur seuil, alors il convient
5 de mettre la pièce au rebut. Toutefois, dans le cas où ces deux écarts angulaires α_1 et α_2 sont inférieurs à la première valeur seuil prédéterminée, alors il convient de calculer l'écart angulaire β entre l'orientation spatiale dudit premier grain et l'orientation spatiale dudit second grain et de comparer ce nouvel écart angulaire β , que l'on peut qualifier d'écart inter-
10 grains, avec une seconde valeur seuil prédéterminée. Il convient alors que l'écart angulaire β soit inférieur à la seconde valeur seuil prédéterminée pour la pièce ne soit pas mise au rebut.

Avec le procédé selon l'invention, il est ainsi possible de déterminer si l'orientation spatiale d'un grain est acceptable au regard de l'orientation
15 nominale que devrait avoir ce grain et si la présence de plusieurs grains d'orientations différentes est également acceptable.

Si le procédé selon l'invention a été décrit en référence à une seule de l'aube, on comprend que le procédé peut être répété de manière successive sur toute la hauteur de la pièce pour ainsi effectuer un contrôle
20 non destructif de celle-ci sur toute sa hauteur.

Il est à noter que pour pouvoir effectuer les mesures d'écarts angulaires précités à partir des orientations spatiales des grains, on obtient en premier une orientation spatiale de chacun des grains dans le repère des moyens de collecte 30 (ou capteur). On effectue alors un changement
25 de repère de l'orientation spatiale du repère des moyens de collecte dans le repère du bras préhenseur 36 puis un changement de repère du bras préhenseur dans le repère de la pièce 38, 40. Le lecteur pourra également se reporter au document « Cristallographie géométrique et radiocristallographie », 3^{ème} édition, Jean-Jacques Rousseau, Alain Gibaud,
30 édition Dunot, notamment p. 236 et s.

REVENDEICATIONS

1. Procédé de contrôle de l'orientation cristalline d'au moins un grain d'une pièce de turbomachine, comprenant les étapes consistant à :

- 5 a) émettre un faisceau d'un rayonnement électromagnétique au travers de la pièce et enregistrer une information de diffraction du rayonnement électromagnétique au travers de la pièce ;
- b) identifier au moins un premier grain cristallographique à partir de l'information de diffraction ;
- 10 c) déterminer une orientation spatiale dudit au moins un premier grain ;
- d) calculer l'écart angulaire entre l'orientation spatiale dudit au moins un premier grain et une direction prédéterminée prise sur la pièce et le comparer à une première valeur seuil
- 15 prédéterminée ;
- e) déterminer un état d'utilisation de la pièce.

2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel il consiste en outre à :

- 20 i. identifier la présence d'un second grain cristallographique à partir de l'information de diffraction,
- ii. déterminer une orientation spatiale dudit second grain de la pièce à partir de l'information de diffraction,
- iii. calculer l'écart angulaire entre l'orientation spatiale dudit second grain et ladite direction prédéterminée de la pièce et le
- 25 comparer à la première valeur seuil prédéterminée,
- iv. calculer l'écart angulaire entre l'orientation spatiale dudit premier grain et l'orientation spatiale dudit second grain et le comparer à une seconde valeur seuil prédéterminée,
- v. déterminer un état d'utilisation de la pièce des étapes d), iii) et
- 30 iv).

3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, dans lequel la première valeur seuil prédéterminée est comprise entre de l'ordre de -15° et de l'ordre de 15° .

5 4. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, dans lequel la seconde valeur seuil prédéterminée est comprise entre de l'ordre de -12° et de l'ordre de 12° .

5. Procédé selon l'une des revendications 1 à 4, dans lequel la détermination de l'état d'utilisation consiste à mettre au rebut la pièce si l'un des écarts est supérieur à un seuil prédéterminé auquel il est comparé.

10 6. Procédé selon l'une des revendications 1 à 5, dans lequel l'identification de la présence d'un grain est réalisée par comparaison d'une image de diffraction du rayonnement ayant traversé la pièce à une base de données comprenant des images de diffraction de référence correspondant à des orientations connues de grains dans une pièce, de préférence de même type que la pièce analysée ou par comparaison de la position des pics sur l'image de diffraction avec des positions de référence de pics connus contenus dans une base de données .

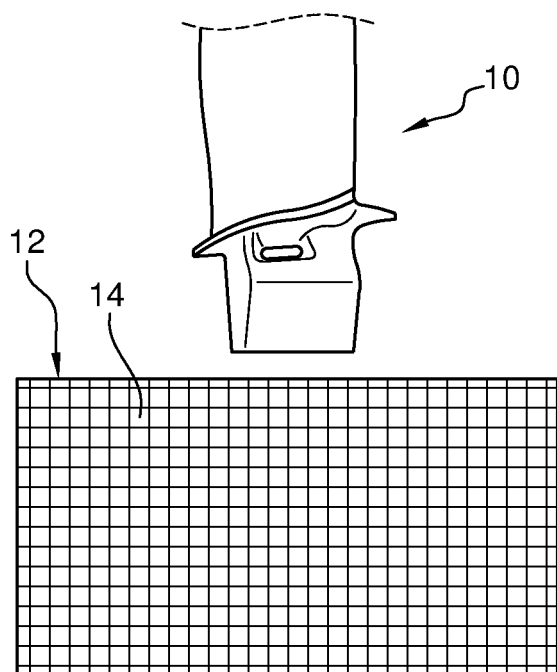
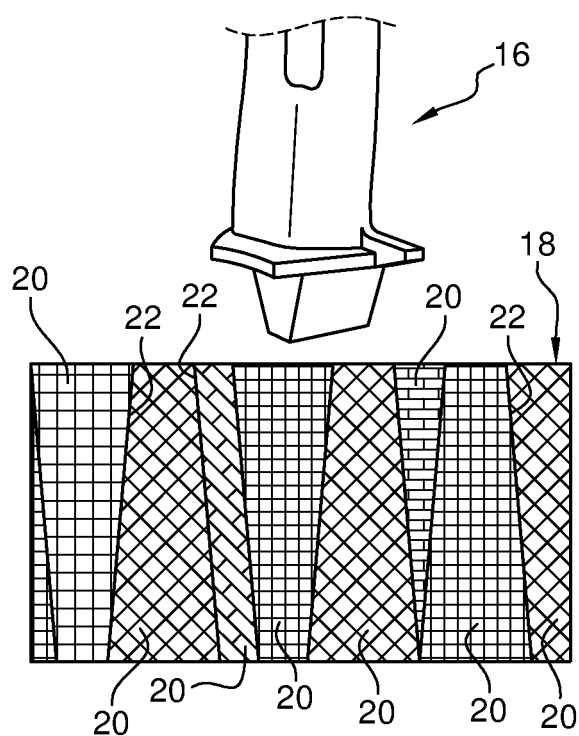
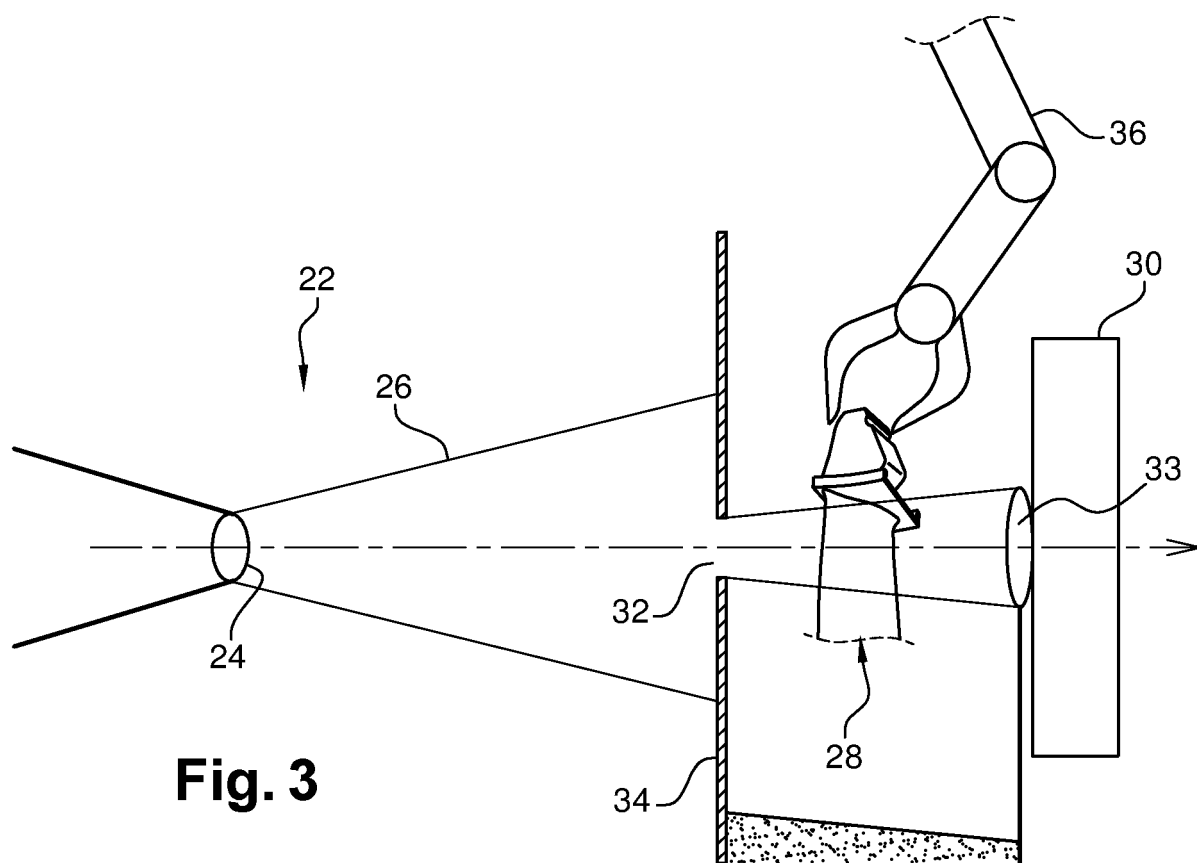
20 7. Procédé selon la revendication 6, dans lequel les images de diffraction de référence sont des images de diffraction obtenues par expérimentation sur des pièces réelles ou sur des pièces simulées numériquement du point de vue cristallographique.

8. Procédé selon l'une des revendications 1 à 7, dans lequel l'information de diffraction consiste en une image de diffraction obtenue à partir du faisceau diffracté au travers de la pièce.

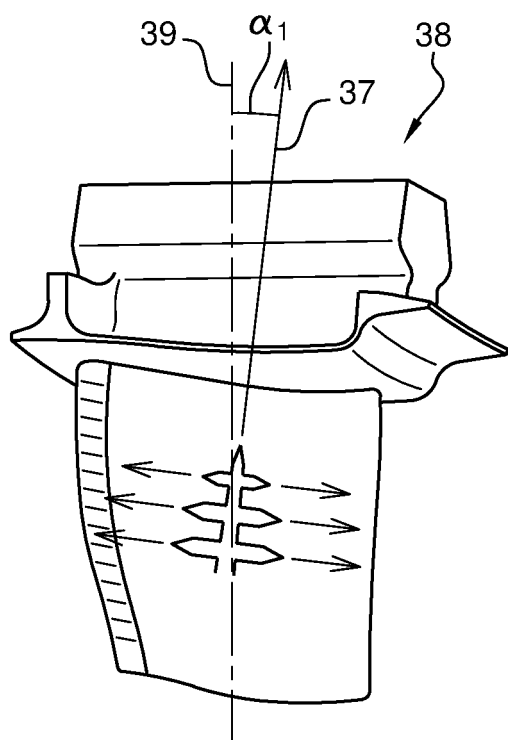
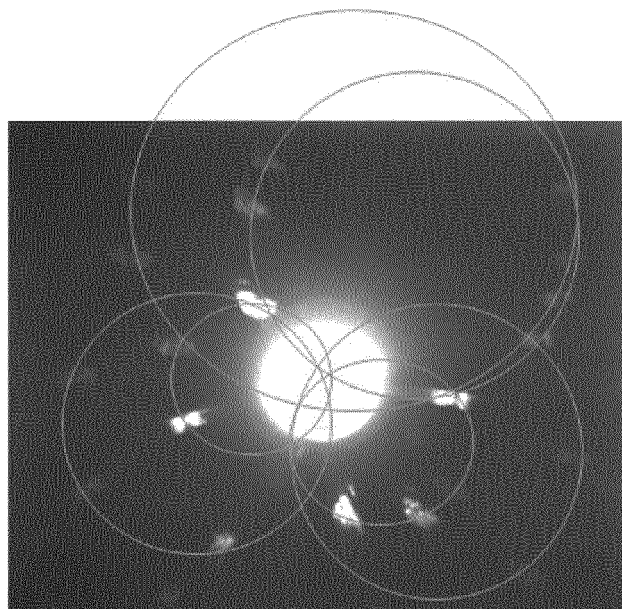
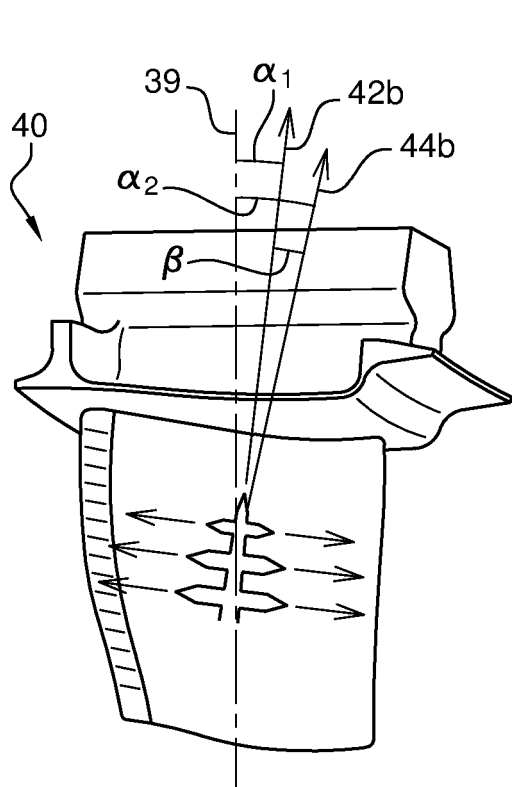
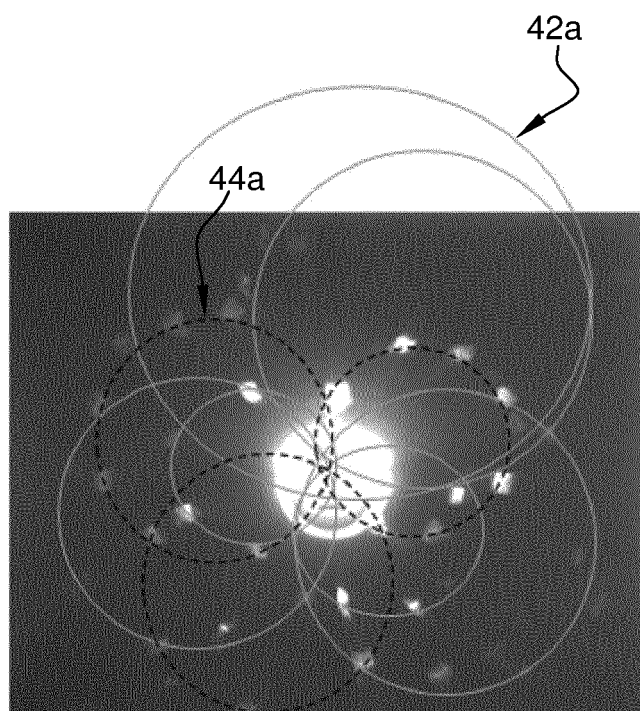
25 9. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel la pièce est une aube d'une turbine de turbomachine, la direction prédéterminée prise sur la pièce étant la direction longitudinale s'étendant entre le pied et le sommet de l'aube.

30 10. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le faisceau de rayonnement électromagnétique et un faisceau de rayons X.

1 / 2

**Fig. 1****Fig. 2****Fig. 3**

2 / 2

**Fig. 4****Fig. 5****Fig. 6****Fig. 7**



RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement
national

FA 835600
FR 1661602

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 2010/239068 A1 (BELASSEL MOHAMMED [CA] ET AL) 23 septembre 2010 (2010-09-23) * alinéas [0044], [0049], [0050], [0069], [0071], [0072], [0074] * -----	1-10	G01N23/20 G01N21/47
X	FR 2 636 141 A1 (MTU MUENCHEN GMBH [DE]) 9 mars 1990 (1990-03-09) * page 1 - page 6 * -----	1-10	
A	CA 2 544 464 A1 (UNITED TECHNOLOGIES CORP [US]; THOMPSON R BRUCE [US]) 21 octobre 2007 (2007-10-21) * alinéa [0033] * -----	1-10	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			G01N
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
25 juillet 2017		Martin, Hazel	
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 1661602 FA 835600

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 **25-07-2017**

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 2010239068 A1	23-09-2010	US 2010239068 A1	23-09-2010
		WO 2010108112 A1	23-09-2010

FR 2636141 A1	09-03-1990	DE 3830233 A1	15-03-1990
		FR 2636141 A1	09-03-1990
		GB 2222678 A	14-03-1990

CA 2544464 A1	21-10-2007	AUCUN	
