(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

COURBEVOIE

(11) **N° de publication :** ***3 149 375***

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

(21) **N° d'enregistrement national :** **23 05273**

(51) Int Cl[8] : ***G 01 B 11/30*** *(2023.01), G 01 M 13/00, G 01 N 21/00*

(12) DEMANDE DE BREVET D'INVENTION A1

(22) **Date de dépôt :** 31.05.23.

(30) **Priorité :**

(43) **Date de mise à la disposition du public de la demande :** 06.12.24 Bulletin 24/49.

(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) :** BOUMAZA Taous, ARQUIE Fabien, Jean-Guillaume, BERGERON Didier et ECHARD Tristan.

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

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

(54) PROCEDE DE CONTROLE NON INVASIF D'USURE D'UNE AUBE DE TURBOMACHINE.

(57) Procédé de contrôle non invasif d'usure d'une aube de turbomachine

Le procédé comprend les étapes consistant à :

a) acquérir à l'aide d'un capteur optique (54) un nuage de points en trois dimensions d'une surface de référence (56),

b) définir une direction de projection (Z) à partir du nuage de points de la surface de référence (56),

c) acquérir un nuage de points en trois dimensions d'une partie de contrôle (32) de l'aube (10),

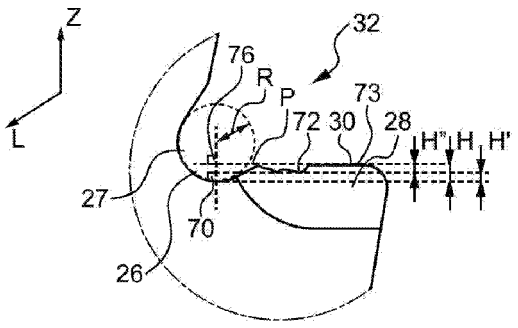
d) calculer une surface de peau en trois dimensions de la partie de contrôle (32) et la scanner pour déterminer un point le plus bas (72),

e) projeter sur ladite direction de projection (Z) un premier point (70) appartenant à la partie de contrôle (32), et le point (72),

f) déterminer une hauteur (H') entre le premier point (70) et le deuxième point (72),

g) appliquer un critère de comparaison de ladite hauteur (H') à une valeur prédéterminée (C, C') quantifiant un niveau d'usure acceptable de ladite partie de contrôle (32).

Figure à publier avec l'abrégé : [Fig. 6]



FR 3 149 375 - A1

Description

Titre de l'invention : PROCEDE DE CONTROLE NON INVASIF D'USURE D'UNE AUBE DE TURBOMACHINE

[0001] DOMAINE

[0002] La présente invention concerne un procédé de contrôle non invasif d'usure d'une aube de turbomachine, en particulier une aube de turbomachine pour aéronef. Elle concerne aussi une installation de mise en œuvre du procédé de contrôle d'une aube de turbomachine.

[0003] CONTEXTE

[0004] Dans une turbomachine d'aéronef, des aubes sont disposées radialement autour d'un axe et chaque aube présente une pale s'étendant entre un pied d'aube au voisinage de l'axe et une tête d'aube opposée à l'axe. La pale présente un premier côté concave appelé intrados et un deuxième côté convexe appelé extrados. Généralement, les têtes d'aubes de deux aubes consécutives sont placées en contact rapproché et présentent des zones de friction susceptibles de s'user au fil des heures de vol.

[0005] Il est connu de renforcer les zones de friction avec des dépôts métalliques, notamment réalisés en stellite. Un tel dépôt métallique s'use non-uniformément au fur et à mesure des heures de vol, lui donnant ainsi une forme irrégulière et complexe générant des difficultés de mesure de l'usure.

[0006] Dans le cadre de la maintenance de telles turbomachines, des aubes sont régulièrement déposées afin d'être contrôlées. Parmi ces contrôles, l'un d'entre eux consiste à mesurer l'usure du dépôt métallique situé dans une zone de friction évoquée ci-dessus. Pour ce faire, l'aube à contrôler est placée sur un support et un comparateur manuel à tige pendulaire est utilisé pour mesurer, pour chaque dépôt métallique, la hauteur du dépôt métallique usé entre un point de référence et le point le plus profond du dépôt et comparer la hauteur obtenue à la hauteur du dépôt métallique d'une aube neuve. Si la hauteur mesurée est inférieure à une valeur prédéfinie appelée critère pour au moins l'un des dépôts métalliques, l'aube est rebutée. Si la hauteur mesurée est supérieure ou égale à une valeur prédéfinie appelée critère pour chaque dépôt métallique, l'aube est conservée. Cependant, un tel contrôle est fastidieux et chronophage car il présente de nombreuses tâches manuelles et répétitives.

[0007] Il existe donc un besoin pour automatiser le procédé de contrôle d'aube de turbomachine afin de réduire les tâches manuelles et pour qu'il soit plus rapide.

[0008] A cet effet, la présente divulgation a pour objet un procédé de contrôle non invasif d'usure d'une aube de turbomachine comprenant une pale s'étendant entre une tête d'aube et un pied d'aube, la tête d'aube comportant au moins une partie de contrôle,

chaque partie de contrôle comprenant une encoche présentant une surface extérieure et un dépôt métallique présentant une surface extérieure et étant adjacent de l'encoche, le procédé comportant les étapes consistant à, pour chaque partie de contrôle de la tête d'aube :

[0009] a) acquérir à l'aide d'un capteur optique ayant un champ d'acquisition et un axe optique un nuage de points en trois dimensions d'une surface de référence,

[0010] b) définir une direction de projection à partir du nuage de points de la surface de référence,

[0011] c) acquérir à l'aide du capteur optique un nuage de points en trois dimensions de la partie de contrôle, la partie de contrôle de la tête d'aube étant agencée à proximité de la surface de référence pour que le champ d'acquisition du capteur optique comprenne à la fois la partie de contrôle et la surface de référence,

[0012] d) calculer une surface de peau en trois dimensions de la partie de contrôle de la tête d'aube à partir du nuage de points de la partie de contrôle acquis à l'étape c), et scanner ladite surface de peau en trois dimensions de la partie de contrôle pour déterminer un point le plus bas de la surface extérieure du dépôt métallique suivant la direction de projection, dit deuxième point,

[0013] e) projeter sur ladite direction de projection un premier point appartenant à la surface extérieure de l'encoche de la partie de contrôle de la tête d'aube et le deuxième point déterminé à l'étape d) précédente,

[0014] f) déterminer à partir de la projection de l'étape e) une hauteur entre le premier point et le deuxième point prise suivant la direction de projection,

[0015] g) appliquer un critère de comparaison de ladite hauteur à une valeur prédéterminée quantifiant un niveau d'usure acceptable de ladite partie de contrôle de la tête d'aube.

[0016] La surface de référence est acquise à chaque mesure d'usure du dépôt métallique. Ladite surface permet ainsi de recaler à chaque contrôle les mesures par rapport à ce référentiel unique et stable, et de garantir la qualité et la répétabilité des mesures. On s'affranchit des variations de mesure dues à la déformation non uniforme des aubes. Grâce au procédé selon l'invention, le contrôle d'usure d'un dépôt métallique d'une tête d'aube peut donc être réalisé de façon automatique et digitalisée. Le procédé selon l'invention permet également un gain de temps et une meilleure traçabilité des mesures par rapport à la technique antérieure.

[0017] Selon d'autres caractéristiques du procédé, prises isolément ou selon toute combinaison techniquement envisageable :

[0018] - la surface de référence est perpendiculaire au champ d'acquisition du capteur optique, et la direction de projection est perpendiculaire à ladite surface de référence ;

[0019] - le premier point défini à l'étape e) est le point de rebroussement du fond de l'encoche de la partie de contrôle, et le deuxième point défini à l'étape d) est un point

de profondeur maximum de la surface extérieure du dépôt métallique selon la direction de projection ;

[0020] - le critère de comparaison à une valeur prédéterminée quantifiant un niveau d'usure acceptable utilise l'une parmi les deux valeurs prédéterminées suivantes :

[0021] - a. une première valeur prédéterminée quantifiant un niveau d'usure acceptable sous forme d'une épaisseur restante autorisée du dépôt métallique, à comparer à ladite hauteur déterminée du dépôt métallique considéré,

[0022] - b. une deuxième valeur prédéterminée quantifiant un niveau d'usure acceptable, qui est comparée à une différence entre une valeur de référence de hauteur correspondant à un dépôt métallique non usé et ladite hauteur déterminée du dépôt métallique considéré ;

[0023] - la surface de référence a une aire comprise entre 10 mm^2 et 50 mm^2 ;

[0024] - la surface de référence est agencée à une distance inférieure à 10 mm, en particulier inférieure ou égale à 4 mm, de la partie de contrôle et dans le prolongement de celle-ci ;

[0025] - l'aube à contrôler est une aube de turbine de ladite turbomachine ;

[0026] - le dépôt métallique de chaque partie de contrôle est en stellite ;

[0027] - les étapes b), d), e), f), et g) sont mises en œuvre par une unité de traitement de données ;

[0028] - la surface de référence est plane.

[0029] L'invention a également pour objet une installation de mise en œuvre du procédé de contrôle d'une aube de turbomachine comprenant :

- un support configuré pour maintenir ladite aube,
- une aube à contrôler placée sur ledit support, l'aube comprenant une pale s'étendant entre une tête d'aube et un pied d'aube, la tête d'aube comportant au moins une partie de contrôle,
- un capteur optique ayant un axe optique et un champ d'acquisition, configuré pour visualiser une partie de contrôle de la tête d'aube, ladite partie de contrôle comprenant une encoche et un dépôt métallique adjacents,
- installation dans laquelle le support comprend une surface de référence agencée à proximité et dans le prolongement de la partie de contrôle de la tête d'aube pour que le champ d'acquisition du capteur optique comprenne ladite partie de contrôle de la tête d'aube et ladite surface de référence.

[0030] Selon d'autres caractéristiques de l'installation, prises isolément ou selon toute combinaison techniquement envisageable :

[0031] - le capteur optique est un microscope optique avec un capteur confocal chromatique, en particulier un microscope à lumière blanche ;

[0032] - la résolution du capteur optique suivant l'axe optique est comprise entre 0,1 et 0,5

microns, en particulier égale à 0,3 microns ;

[0033] - l'installation comprend en outre une unité de traitement de données reliée au capteur optique, l'unité de traitement de données comprenant notamment un processeur, une mémoire et un dispositif d'affichage.

[0034] L'invention sera mieux comprise et d'autres détails, caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description suivante faite à titre d'exemple non limitatif en référence aux dessins annexés.

BREVE DESCRIPTION DES FIGURES

[0035] [Fig.1] la [Fig.1] est une vue schématique en perspective d'une aube de turbomachine comprenant un pied d'aube, une pale et une tête d'aube à contrôler suivant le procédé de contrôle non invasif d'usure selon l'invention, la tête d'aube comprenant une partie de contrôle comportant un dépôt métallique et une encoche,

[0036] [Fig.2] la [Fig.2] est une vue de côté de la partie de contrôle de la tête d'aube de la [Fig.1] où le dépôt métallique est neuf,

[0037] [Fig.3] la [Fig.3] est une vue agrandie de la partie de contrôle de la tête d'aube de la [Fig.1] où le dépôt métallique est usé,

[0038] [Fig.4] la [Fig.4] est une vue schématique d'aubes de la [Fig.1] positionnées sur un disque,

[0039] [Fig.5] la [Fig.5] est une vue schématique d'une installation de mise en œuvre du procédé de contrôle selon l'invention,

[0040] [Fig.6] la [Fig.6] est une vue schématique de côté de la partie de contrôle de la tête d'aube de la [Fig.1].

DESCRIPTION DETAILLEE DE L'INVENTION

[0041] La [Fig.1] représente une aube 10 de turbomachine. Par exemple, l'aube 10 est une aube de turbine.

[0042] L'aube 10 de turbomachine présente de façon connue une pale 12 s'étendant selon une direction longitudinale L entre un pied d'aube 14 destiné à être engagé dans une rainure d'un disque de turbomachine et une tête d'aube 16 destinée à venir en vis-à-vis d'un carter de la turbomachine. La pale 12 présente un premier côté 18 concave appelé intrados 18 et un deuxième côté 20 convexe appelé extrados 20.

[0043] La tête d'aube 16 présente une première portion intrados 22 et une deuxième portion extrados 24 présentant une forme complémentaire de la première portion 22. La tête d'aube 16 présente par exemple une forme générale en Z.

[0044] Chaque portion 22, 24 de tête d'aube 16 comporte une encoche 26 présentant une surface extérieure 27 et un dépôt métallique 28 adjacents de l'encoche 26, visibles sur la [Fig.2] dans le cas d'une tête d'aube neuve.

[0045] L'encoche 26 présente avantageusement une forme complémentaire d'un cylindre.

[0046] Le dépôt métallique 28 est par exemple réalisé en stellite. La surface extérieure 30 du dépôt métallique 28 est par exemple égale à 4 mm * 2 mm.

[0047] Lorsque des aubes 10 sont en place dans une turbomachine, la première portion intrados 22 d'une tête d'aube 16 vient en regard de la deuxième portion extrados 24 d'une tête d'aube 16 adjacente, comme cela est visible sur la [Fig.4] : le dépôt métallique 28 sur la première portion intrados 22 d'une tête d'aube fait ainsi face au dépôt métallique 28 sur la deuxième portion extrados 24 de la tête d'aube 16 adjacente, conduisant au fur et à mesure de l'utilisation de la turbomachine, à une usure des dépôts métalliques se faisant face, par friction.

[0048] On veut surveiller ce niveau d'usure de chaque dépôt métallique 28 des têtes d'aube.

[0049] La surface extérieure 30 du dépôt métallique 28 définit un plan dépourvu de points saillants lorsque l'aube 10 est neuve. La surface extérieure 30 présente des aspérités, et donc des points saillants, au fur et à mesure des heures de vol, du fait de l'usure du dépôt métallique 28, comme cela est représenté sur la [Fig.3].

[0050] Un objet de la présente invention concerne une installation 50 de mise en œuvre du procédé de contrôle d'une aube 10 de turbomachine représentée sur la [Fig.5], et plus particulièrement du procédé de contrôle de chaque partie de contrôle sur l'intrados 22 et l'extrados 24 de la tête d'aube 16, référencée 32 sur la [Fig.4]. Chaque partie de contrôle 32 comprend l'encoche 26 et le dépôt métallique 28, sur la partie correspondante d'intrados 22 ou d'extrados 24. En particulier, la surface extérieure 27 de l'encoche 26 et la surface extérieure 30 du dépôt métallique 28 considéré forment la partie de contrôle 32 pour le procédé de contrôle de l'aube 10.

[0051] L'installation 50 comprend un support 52 configuré pour maintenir ladite aube 10, une aube 10 à contrôler placée sur ledit support 52, un capteur optique 54 ayant un axe optique A et un champ d'acquisition, configuré pour visualiser une partie de contrôle 32 de la tête d'aube 16 telle que définie ci-dessus, et le support 52 comprenant une surface de référence 56.

[0052] Le support 52 présente par exemple une plateforme 58 plane et horizontale portant une pièce 60 de réception d'une tête d'aube 16, et une pièce 62 de réception d'un pied d'aube 14, ces deux pièces étant conçues pour permettre un posage répétable de l'aube à contrôler. Dans un exemple, la pièce de réception 60, respectivement 62, a une forme complémentaire de celle de la tête d'aube, respectivement du pied d'aube. On prévoit généralement un support par côté intrados, extrados, mais l'invention n'est pas limitée à une telle mise en œuvre pratique.

[0053] La pièce 60 de réception est telle que lorsque la tête d'aube 16 est placée sur le support, une partie de contrôle 32 (intrados ou extrados) est visible pour le capteur optique. En particulier, la surface extérieure 30 du dépôt métallique 28 de la partie de contrôle 32 visible par le capteur optique est parallèle à la plateforme 58 lorsque l'aube

10 est neuve, et perpendiculaire au champ d'acquisition du capteur optique 54.

[0054] La surface de référence 56 du support 52 est placée au voisinage de la pièce 60 de réception d'une tête d'aube 16. Grâce à cette disposition, le capteur optique 54 peut visualiser dans son champ d'acquisition la surface de référence 56 et la partie de contrôle 32 de la tête d'aube 16. La mesure est ainsi plus fiable, et permet un gain de temps puisque l'acquisition ne concerne qu'une zone très restreinte. En particulier, la surface de référence 56 est agencée à une distance inférieure à 10 mm, en particulier inférieure ou égale à 4 mm, de la partie de contrôle 32 de la tête d'aube 16.

[0055] De préférence, la surface de référence 56 est agencée pour être perpendiculaire au champ d'acquisition du capteur optique 54.

[0056] De préférence, la surface de référence 56 est plane. En particulier, la surface de référence 56 présente une planéité parfaite submicronique.

[0057] La surface de référence 56 a une aire typiquement comprise entre 10 mm^2 et 50 mm^2, en particulier égale à 25 mm^2, soit 5 mm x 5 mm.

[0058] La surface de référence 56 est de préférence réalisée dans un matériau robuste, inoxydable et stable dans le temps et qui ne se déforme pas avec la température ambiante d'utilisation comprise entre 0°C et 40°C ni la température de stockage comprise entre -20°C et 70°C. Des exemples de matériaux possibles sont un alliage de Nickel à 36 % et de Fer à 64%, ou l'acier ASP60 trempé ayant une dureté Rockwell de 60 HRC avec un revêtement Titane Nickel.

[0059] Le capteur optique 54 est de préférence un microscope optique avec un capteur confocal chromatique, en particulier un microscope à lumière blanche. De préférence, le capteur optique 54 est agencé pour que le champ d'acquisition dudit capteur optique 54 soit perpendiculaire à la surface de référence 56 du support 52.

[0060] Le principe de fonctionnement d'un tel capteur optique 54 est d'envoyer une lumière blanche sur une surface à analyser. Lorsque la lumière atteint la surface, une onde est réfléchie jusqu'au capteur optique 54. L'analyse de l'onde réfléchie permet d'obtenir de manière très précise la distance, ou hauteur, entre la surface et le capteur optique 54. Le capteur optique 54 permet l'acquisition d'un nuage de points avec un maillage très serré. Il est alors possible de réaliser une image point à point de la surface à analyser et d'obtenir la hauteur de chacun de ces points.

[0061] La résolution du capteur optique 54 suivant l'axe optique A est comprise entre 0,1 et 0,5 microns, en particulier égale à 0,3 microns.

[0062] Le capteur optique 54 permet de réaliser des mesures de haute précision, fiables et répétables.

[0063] Lorsqu'une aube 10 à contrôler est placée sur le support 52, le champ d'acquisition du capteur optique 54 comprend l'une des deux parties de contrôle 32 de la tête d'aube 16, par exemple celle du côté intrados et la surface de référence 56, comme cela est

visible sur la [Fig.5].

[0064] Le capteur optique 54 est de préférence relié à une unité de traitement de données 66 comprenant notamment un processeur 67, une mémoire 68 et un dispositif d'affichage 69. La mémoire 68 de l'unité de traitement de données 66 est typiquement configurée pour stocker les données de mesure (nuages de points) relevées par le capteur optique 54. Le processeur 67 de l'unité de traitement de données 66 est typiquement configuré pour exploiter les données stockées dans la mémoire afin de réaliser certaines étapes du procédé de contrôle décrites ci-dessous. Le dispositif d'affichage 69 de l'unité de traitement de données 66 est typiquement configuré pour afficher les données brutes ou traitées par le processeur.

[0065] L'unité de traitement de données 66 est notamment configurée pour définir une direction de projection Z à partir du nuage de points de la surface de référence 56.

[0066] L'unité de traitement de données 66 est notamment configurée pour calculer une surface de peau en trois dimensions de la partie de contrôle 32 à partir du nuage de points de la partie de contrôle 32 acquis par le capteur optique 54. La surface de peau est calculée par triangulation entre les points du nuage de points. Les résultats sont par exemple obtenus sous forme d'un fichier STL.

[0067] L'unité de traitement 66 peut également être configurée pour scanner ladite surface de peau et déterminer un point le plus bas selon la direction de projection Z, ou deuxième point 72, de la surface extérieure 30 du dépôt métallique 28.

[0068] L'unité de traitement 66 peut également être configurée pour projeter sur ladite direction de projection Z un premier point 70 appartenant à la surface extérieure de l'encoche 26 de la partie de contrôle 32 de la tête d'aube 16 et le deuxième point 72.

[0069] L'unité de traitement 66 peut en outre être configurée pour déterminer à partir de ladite projection une hauteur H' entre le premier point 70 et le deuxième point 72 prise suivant la direction de projection Z.

[0070] L'unité de traitement 66 peut en outre être configurée pour appliquer un critère de comparaison de ladite hauteur H' à une valeur prédéterminée quantifiant un niveau d'usure acceptable de la partie de contrôle 32 de la tête d'aube 16, comme cela sera explicité ci-dessous.

[0071] Un premier mode de réalisation d'un procédé de contrôle non invasif d'usure d'une aube 10 de turbomachine selon l'invention va maintenant être décrit. Il faut préciser que ce procédé de contrôle s'applique de la même façon à la partie de contrôle de l'intrados et à celle de l'extrados de l'aube que l'on veut contrôler.

[0072] Pour la mise en œuvre du procédé de contrôle, une installation 50 telle que décrite ci-dessus est fournie. L'aube 10 est installée sur le support 52 de sorte que le pied d'aube 14 soit maintenu par la pièce 62 de réception d'un pied d'aube, et que la tête d'aube 16 soit maintenue par la pièce 60 de réception d'une tête d'aube.

[0073] L'une des parties de contrôle 32 (intrados ou extrados) de la tête d'aube 16 est laissée visible pour un capteur optique 54. Ladite partie de contrôle 32 de la tête de l'aube est placée au voisinage de la surface de référence 56.

[0074] Dans une première étape du procédé de contrôle selon l'invention, le capteur optique 54 acquiert un nuage de points en trois dimensions de la surface de référence 56.

[0075] Dans une deuxième étape du procédé de contrôle, une direction de projection Z est définie à partir de l'image de la surface de référence 56, comme cela est visible sur la [Fig.6]. En particulier, la direction de projection Z est perpendiculaire à la surface de référence 56 et parallèle à l'axe optique A. La direction de projection Z est par exemple déterminée à l'aide de l'unité de traitement 66.

[0076] Cette direction de projection Z sert de direction de référence afin de projeter des points particuliers de la partie de contrôle 32 de la tête d'aube 16 tel que cela sera explicité par la suite. Cette direction de projection Z est donc indépendante de la mesure et ne dépend que de la surface de référence 56 qui reste inchangée au cours du temps. Cela garantit une fiabilité et une répétabilité de la mesure.

[0077] Dans une troisième étape du procédé de contrôle, le capteur optique 54 acquiert un nuage de points en trois dimensions de la partie de contrôle 32 de la tête d'aube 16 de l'aube 10 à contrôler. Pour cela, le capteur optique 54 réalise un balayage de la surface extérieure 27 de l'encoche 26 et de la surface extérieure 30 du dépôt métallique 28. Grâce à la proximité de la surface de référence 56 et de la partie de contrôle 32, le champ d'acquisition du capteur optique 54 comprend la surface de référence 56 et la partie de contrôle 32. Il n'est pas nécessaire de déplacer le capteur optique 54 après avoir acquis l'image de la surface de référence pour acquérir l'image de la partie de contrôle 32. Cela permet d'obtenir une mesure la plus précise possible.

[0078] Dans une quatrième étape du procédé de contrôle, une surface de peau en trois dimensions de la partie de contrôle 32 est calculée à partir du nuage de points en trois dimensions acquis à l'étape précédente. La surface de peau est typiquement calculée par triangulation entre les points du nuage de points, permettant d'obtenir une représentation en trois dimensions, c'est-à-dire une image en trois dimensions, de la partie de contrôle 32. Plus précisément, la surface de peau est une image en trois dimensions qui représente très précisément la surface extérieure 27 de l'encoche 26 et la surface extérieure 30 du dépôt métallique 28. La surface de peau en trois dimensions est de préférence calculée à l'aide de l'unité de traitement 66.

[0079] Dans une cinquième étape du procédé de contrôle, à partir de la surface de peau calculée à l'étape précédente, un premier point 70 appartenant à la surface extérieure 27 de l'encoche 26 de la partie de contrôle 32 de la tête d'aube 16 est projeté sur la direction de projection Z. En particulier, ce premier point 70 est le point de rebroussement du fond de l'encoche 26. En d'autres termes, le premier point 70 est le

point le plus bas de l'encoche 26 lorsque le dépôt métallique 28 d'une aube 10 neuve est parallèle à l'horizontale avec sa surface extérieure 30 orientée vers le haut. Ce premier point 70 le plus bas du fond de l'encoche 26, est un point de référence pour la mesure de l'usure de l'aube 10, l'encoche 26 n'étant pas modifiée au cours des heures de vol.

[0080] Pour trouver ce point 70 le plus bas selon la direction de projection Z appartenant à la surface extérieure 27 de l'encoche 26, on balaye la partie de surface de peau reconstruite correspondant à la surface extérieure 27 de l'encoche, avec des coupes de profil dans la direction de projection Z pour trouver le point le plus bas de l'encoche 26 selon la direction de projection Z de la surface reconstruite une fois remise dans le référentiel de direction de projection Z.

[0081] En variante, le premier point 70 peut-être déterminé à l'aide d'un cylindre virtuel de rayon R connu qui coïncide avec la surface extérieure 27 de l'encoche 26. Le rayon R du cylindre virtuel est en particulier compris entre 1,0 mm et 1,2 mm.

[0082] A partir de la surface de peau, un deuxième point 72 appartenant à la surface extérieure 30 du dépôt métallique 28 de la partie de contrôle 32 de la tête d'aube 16 est également projeté sur ladite direction de projection Z. Ce deuxième point 72 est le point de profondeur maximum de la surface extérieure 30 du dépôt métallique 28, ou le moins saillant, de la surface extérieure 30 du dépôt métallique 28, c'est-à-dire le point le plus bas selon la direction de projection Z.

[0083] Pour trouver ce deuxième point 72, on balaye la partie de surface de peau reconstruite correspondant à la surface extérieure 30 du dépôt métallique 28, avec des coupes de profil dans la direction de projection Z pour trouver le point le plus bas de la surface reconstruite une fois remise dans le référentiel de direction de projection Z.

[0084] La cinquième étape du procédé est de préférence mise en œuvre à l'aide de l'unité de traitement 66.

[0085] Dans une sixième étape du procédé de contrôle, une hauteur H' est déterminée entre le premier point 70 et le deuxième point 72 suivant la direction de projection Z. La hauteur H' obtenue est une détermination de l'épaisseur restante du dépôt métallique 28 au point 72. La sixième étape du procédé est de préférence mise en œuvre à l'aide de l'unité de traitement 66.

[0086] Dans une septième étape du procédé de contrôle, on applique un critère de comparaison de la hauteur H' obtenue à l'étape précédente, à une valeur prédéterminée quantifiant un niveau d'usure acceptable sous forme d'une première valeur prédéterminée C définissant une épaisseur minimale autorisée (ou épaisseur restante autorisée). Cette première valeur prédéterminée C est en pratique une valeur définie en usine pour chaque type d'aube, et mémorisée dans l'unité de traitement 66.

[0087] La comparaison des valeurs H' et C permet de discriminer entre un critère

d'acceptabilité et un critère d'inacceptabilité. Le critère d'acceptabilité correspond à la vérification de l'inégalité H' ≥ C (H' supérieur ou égal à C) : l'état du dépôt métallique 28 (son épaisseur restante) est alors considéré comme acceptable. Le critère d'inacceptabilité correspond à la vérification de l'inégalité H' < C (H' strictement inférieur à C) : l'état du dépôt métallique 28 (son épaisseur restante) est alors considéré comme non acceptable. Une aube 10 est conservée si pour chacun de ses deux dépôts métalliques 28 (sur la première portion intrados 22 et la deuxième portion extrados 24 de l'aube) le critère d'acceptabilité H' supérieur ou égal à C est vérifié. Si pour l'un au moins des dépôts métalliques 28 le critère d'inacceptabilité H' < C, est vérifié, l'aube est rebutée.

[0088] La septième étape du procédé est de préférence mise en œuvre à l'aide de l'unité de traitement 66.

[0089] Ces sept étapes du procédé sont appliquées, pour chaque aube 10 à contrôler, une première fois pour vérifier l'état du dépôt métallique 28 d'un côté, par exemple intrados, de l'aube 10 ; puis une seconde fois pour vérifier l'état du dépôt métallique 28 de l'autre côté, extrados dans l'exemple. Puis, selon les résultats de la comparaison à la première valeur prédéterminée C, l'aube est rebutée si au moins l'un des deux dépôts métalliques 28 est hors critère d'acceptabilité. A noter que la vérification peut être indifféremment appliquée d'abord au côté intrados, ou d'abord au côté extrados, pour chaque aube 10 à contrôler.

[0090] Dans une variante, s'il est déterminé que l'état du dépôt métallique 28 du premier côté vérifié (dans l'exemple, intrados) répond au critère d'acceptabilité, alors le même procédé est appliqué pour vérifier l'état du dépôt métallique de l'autre côté, dans l'exemple extrados, de l'aube

[0091] Un deuxième mode de réalisation du procédé en sept étapes selon l'invention est maintenant décrit, qui applique une septième étape utilisant un autre critère de comparaison. Ce critère de comparaison utilise une deuxième valeur prédéterminée C' d'un niveau d'usure acceptable, qui est comparée à la différence entre une valeur de référence de hauteur H lorsque l'aube 10 est neuve et la hauteur H' mesurée.

[0092] Dans un exemple, la valeur H correspond à une valeur usine, qui est une constante de fabrication des aubes contrôlées. Cette valeur est mémorisée ou fournie à l'unité de traitement 66 pour la mise en œuvre du procédé.

[0093] En variante, on peut prévoir une détermination d'une valeur de référence de hauteur H à partir de la détermination d'un plan virtuel P de référence correspondant à un dépôt métallique neuf. Ce plan P est perpendiculaire à la direction de projection Z et passe par un troisième point 73 de profondeur minimum de la surface extérieure 30 du dépôt métallique 28. En d'autres termes, le plan virtuel P de référence passe par le point le plus saillant, autrement dit, le plus haut sur la direction de projection Z, de la

surface extérieure 30 du dépôt métallique 28.

[0094] Pour trouver ce troisième point de profondeur minimum 73, on balaye toute la surface de peau reconstruite, avec des coupes de profil dans la direction de projection Z pour trouver ce point le plus haut de la surface reconstruite une fois remise dans le référentiel de direction de projection Z.

[0095] La valeur de référence de hauteur H est ensuite mesurée sur la droite de projection Z, entre le premier point 70 déterminé ci-dessus, et le point d'intersection 76 entre le plan virtuel P de référence et la direction de projection Z. Cette septième étape du procédé est de préférence mise en œuvre à l'aide de l'unité de traitement 66.

[0096] Dans cette variante, avec H valeur usine ou mesurée par rapport à un plan virtuel P de référence comme décrit ci-dessus, l'acceptation ou le rejet de l'aube 10 est basé sur la comparaison d'une mesure H'' de la valeur courante de l'épaisseur de dépôt métallique 28, donnée par la différence H-H', à la deuxième valeur prédéterminée C'. Le critère d'acceptabilité devient alors H'' ≤ C'. Autrement dit, si la différence entre la hauteur de référence H et la hauteur mesurée H' est inférieure à la deuxième valeur prédéterminée C' quantifiant un niveau d'usure maximum autorisé, l'état du dépôt métallique 28 est alors considéré comme acceptable. Ainsi, une aube sera conservée si pour chacun de ses deux dépôts métalliques 28 (sur la première portion intrados 22 et la deuxième portion extrados 24 de l'aube) le critère d'acceptabilité H-H' ≤ C'est vérifié. A l'inverse, Si pour l'un au moins de ses dépôts métalliques 28, le critère d'inacceptabilité H-H' > C' est vérifié, l'aube sera rebutée.

[0097] S'agissant de la valeur de référence de hauteur H des dépôts métalliques 28, la variante de la septième étape décrite ci-dessus, rend possible un suivi dans le temps d'une évolution entre une hauteur de référence qui serait mesurée sur l'aube contrôlée, entre le premier point 70 déterminé ci-dessus, et le point d'intersection 76 entre le plan virtuel P de référence et la direction de projection Z, comme défini ci-dessus (via la détermination du troisième point 73), et une valeur usine de référence, pour chaque côté intrados, extrados, de l'aube.

[0098] La mise en œuvre d'un procédé selon l'invention, peut comprendre de mettre en œuvre la septième étape selon le premier mode de réalisation, ou selon le deuxième mode de réalisation, soit encore selon les deux modes de réalisation. Toutes les valeurs mesurées sont avantageusement mémorisées dans l'unité de traitement à chaque étape de contrôle de l'aube.

Revendications

[Revendication 1] Procédé de contrôle non invasif d'usure d'une aube (10) de turbomachine comprenant une pale (12) s'étendant entre une tête d'aube (16) et un pied d'aube (14), la tête d'aube (16) comportant au moins une partie de contrôle (32), chaque partie de contrôle (32) comprenant une encoche (26) présentant une surface extérieure (27) et un dépôt métallique (28) présentant une surface extérieure (30) et étant adjacent de l'encoche (26), le procédé comportant les étapes consistant à, pour chaque partie de contrôle (32) de la tête d'aube (16) :

a) acquérir, à l'aide d'un capteur optique (54) ayant un champ d'acquisition et un axe optique, un nuage de points en trois dimensions d'une surface de référence (56),

b) définir une direction de projection (Z) à partir du nuage de points de la surface de référence (56),

c) acquérir à l'aide du capteur optique (54) un nuage de points en trois dimensions de la partie de contrôle (32), la partie de contrôle (32) de la tête d'aube (16) étant agencée à proximité de la surface de référence (56) pour que le champ d'acquisition du capteur optique (54) comprenne à la fois la partie de contrôle (32) et la surface de référence (56),

d) calculer une surface de peau en trois dimensions de la partie de contrôle (32) de la tête d'aube (16) à partir du nuage de points de la partie de contrôle (32) acquis à l'étape c), et scanner ladite surface de peau en trois dimensions de la partie de contrôle (32) pour déterminer un point le plus bas (72) de la surface extérieure (30) du dépôt métallique (28) suivant la direction de projection (Z), dit deuxième point (72),

e) projeter sur ladite direction de projection (Z) un premier point (70) appartenant à la surface extérieure de l'encoche (26) de la partie de contrôle (32) de la tête d'aube (16), et le deuxième point (72) déterminé à l'étape d) précédente,

f) déterminer à partir de la projection de l'étape e) une hauteur (H') entre le premier point (70) et le deuxième point (72) prise suivant la direction de projection (Z),

g) appliquer un critère de comparaison de ladite hauteur (H') à une valeur prédéterminée (C, C') quantifiant un niveau d'usure acceptable de ladite partie de contrôle (32) de la tête d'aube (16).

[Revendication 2] Procédé selon la revendication 1, dans lequel la surface de référence

(56) est perpendiculaire au champ d'acquisition du capteur optique (54), et la direction de projection (Z) est perpendiculaire à ladite surface de référence (56).

[Revendication 3] Procédé selon la revendication 1 ou 2, dans lequel le premier point (70) défini à l'étape e) est le point de rebroussement du fond de l'encoche (26) de la partie de contrôle (32), et le deuxième point (72) défini à l'étape d) est un point de profondeur maximum de la surface extérieure du dépôt métallique (28) selon la direction de projection (Z).

[Revendication 4] Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel le critère de comparaison à une valeur prédéterminée quantifiant un niveau d'usure acceptable utilise l'une parmi les deux valeurs prédéterminées suivantes :

a. une première valeur prédéterminée (C) quantifiant un niveau d'usure acceptable sous forme d'une épaisseur restante autorisée du dépôt métallique (28), à comparer à ladite hauteur (H') déterminée du dépôt métallique (28) considéré ;
b. une deuxième valeur prédéterminée (C') quantifiant un niveau d'usure acceptable, qui est comparée à une différence entre une valeur de référence de hauteur (H) correspondant à un dépôt métallique non usé et ladite hauteur (H') déterminée du dépôt métallique (28) considéré.

[Revendication 5] Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel la surface de référence (56) a une aire comprise entre 10 mm^2 et 50 mm^2.

[Revendication 6] Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, dans lequel la surface de référence (56) est agencée à une distance inférieure à 10 mm, en particulier inférieure ou égale à 4 mm, de la partie de contrôle (32) et dans le prolongement de celle-ci.

[Revendication 7] Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, dans lequel l'aube (10) à contrôler est une aube de turbine de ladite turbomachine.

[Revendication 8] Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le dépôt métallique (28) de chaque partie de contrôle (32) est en stellite.

[Revendication 9] Installation (50) de mise en œuvre du procédé de contrôle d'une aube (10) de turbomachine selon l'une quelconque des revendications précédentes, l'installation comprenant :
un support (52) configuré pour maintenir ladite aube (10),
une aube (10) à contrôler placée sur ledit support, l'aube (10)

comprenant une pale (12) s'étendant entre une tête d'aube (16) et un pied d'aube (14), la tête d'aube (16) comportant au moins une partie de contrôle (32),
un capteur optique (54) ayant un axe optique et un champ d'acquisition, configuré pour visualiser une partie de contrôle (32) de la tête d'aube (16), ladite partie de contrôle (32) comprenant une encoche (26) et un dépôt métallique (28) adjacents,
installation dans laquelle le support (52) comprend une surface de référence (56) agencée à proximité et dans le prolongement de la partie de contrôle (32) de la tête d'aube (16) pour que le champ d'acquisition du capteur optique (54) comprenne ladite partie de contrôle (32) de la tête d'aube (16) et ladite surface de référence.

[Revendication 10] Installation (50) selon la revendication 9, dans laquelle le capteur optique (54) est un microscope optique avec un capteur confocal chromatique, en particulier un microscope à lumière blanche.

[Fig. 1]

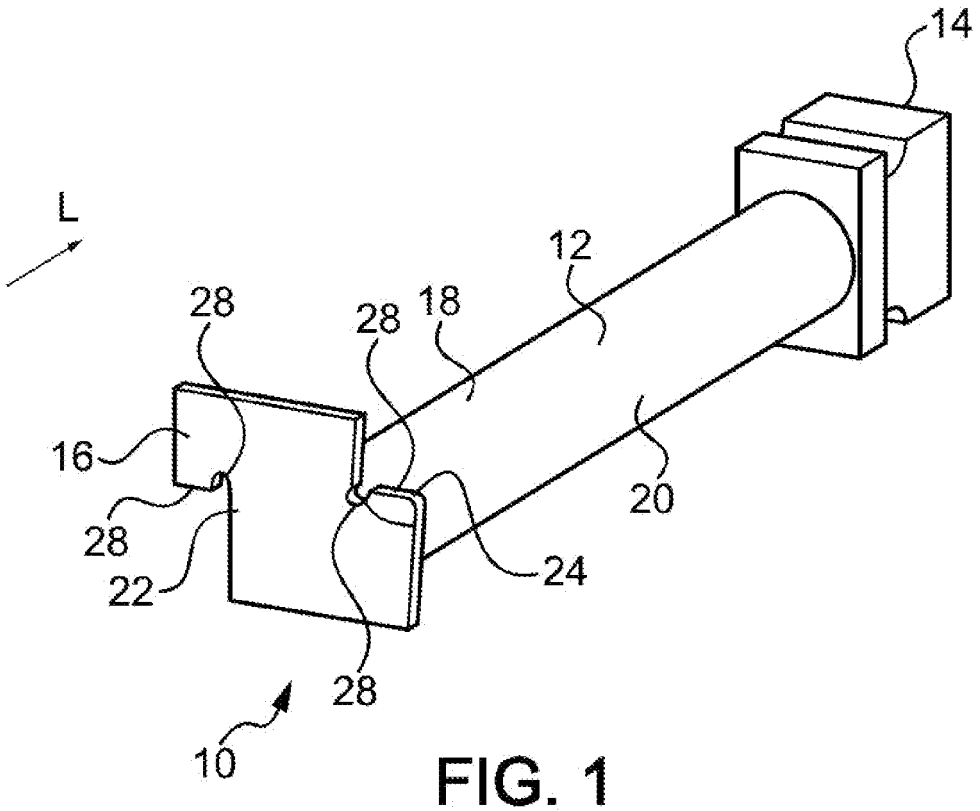


FIG. 1

[Fig. 2]

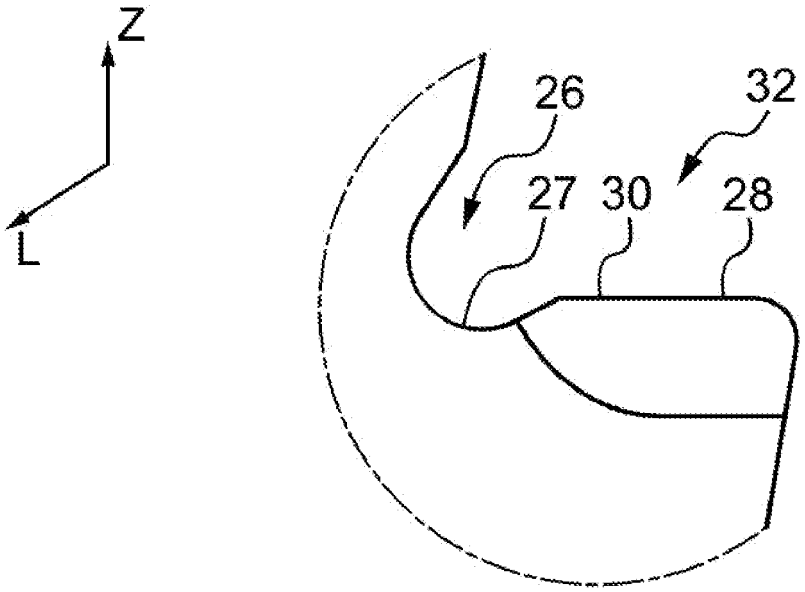


FIG. 2

[Fig. 3]

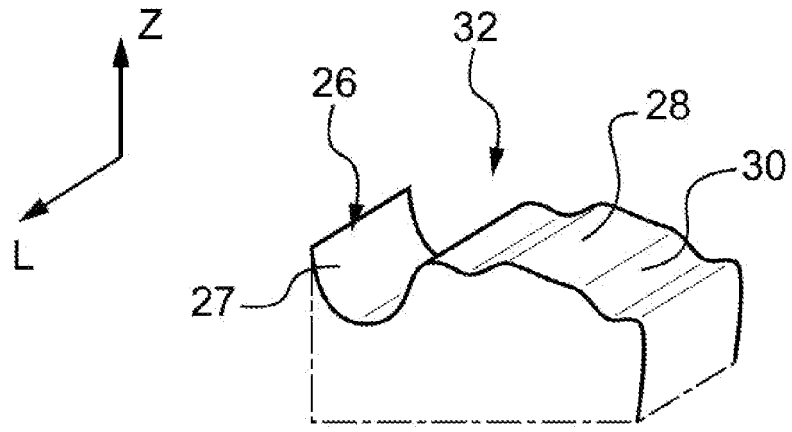


FIG. 3

[Fig. 4]

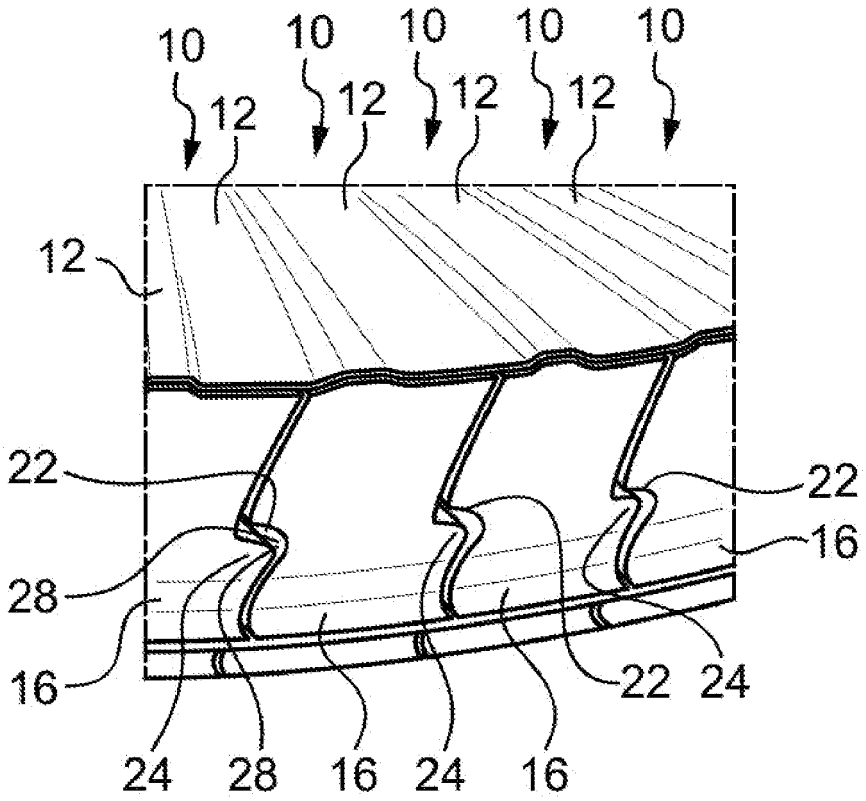


FIG. 4

[Fig. 5]

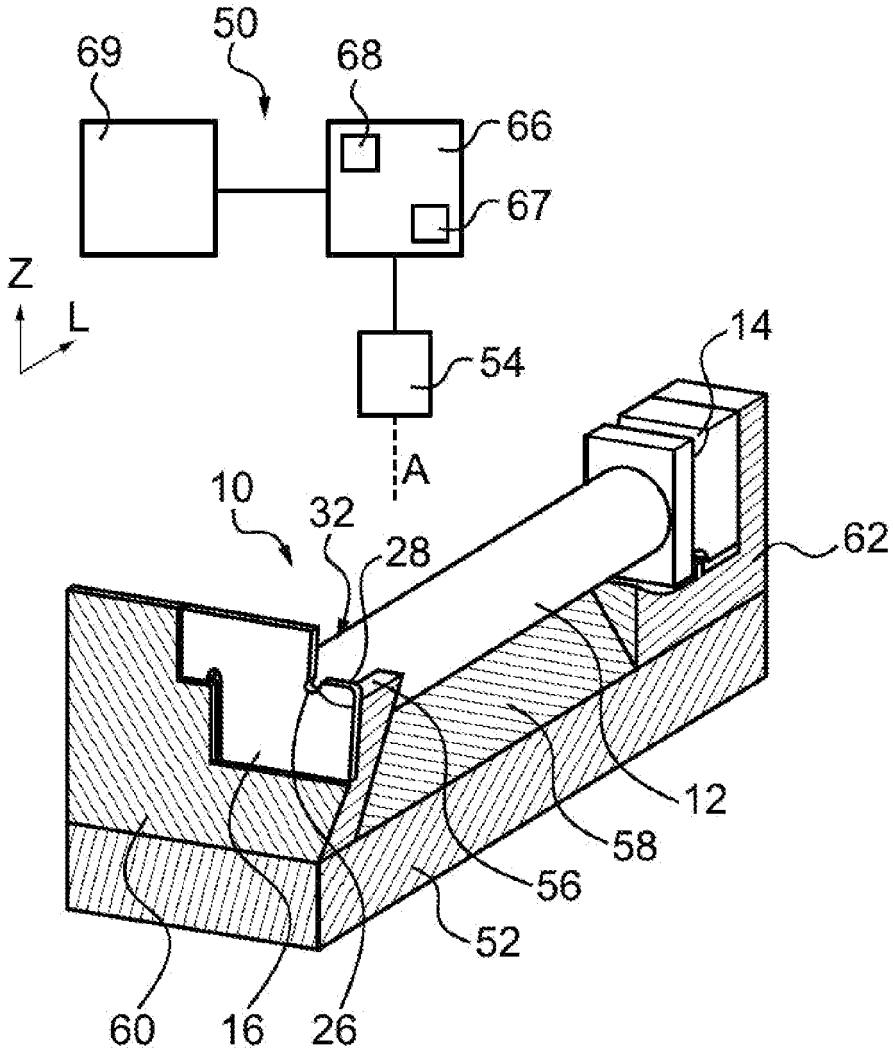


FIG. 5

[Fig. 6]

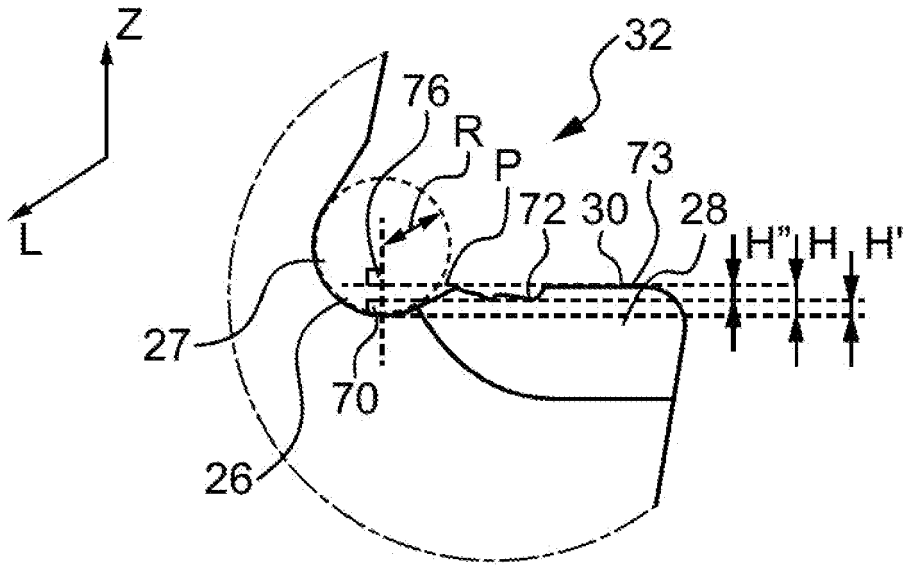


FIG. 6

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement national

FA 922481
FR 2305273

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		
A	US 2019/339165 A1 (FINN ALAN MATTHEW [US] ET AL) 7 novembre 2019 (2019-11-07) * alinéas [0002], [0006], [0028] - [0032], [0034], [0036], [0037], [0040], [0041]; figures 1,2 *	1-10	G01B 11/30 G01M 13/00 G01N 21/00
A	EP 2 942 479 B1 (GEN ELECTRIC [US]) 1 mars 2017 (2017-03-01) * alinéas [0001], [0017], [0018]; figures 3,4 *	1-10	
A	EP 3 130 887 B1 (GEN ELECTRIC [US]) 22 juin 2022 (2022-06-22) * alinéas [0010], [0011], [0015] *	1-10	
A	EP 3 324 150 B1 (GEN ELECTRIC [US]) 11 septembre 2019 (2019-09-11) * alinéas [0016] - [0018], [0022], [0025]; figure 4 *	1-10	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			F01D B23P

Date d'achèvement de la recherche	Examinateur
5 février 2024	Steinhauser, Udo

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

EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2305273 FA 922481

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 **05-02-2024**
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 2019339165 A1	07-11-2019	AUCUN	
EP 2942479 B1	01-03-2017	EP 2942479 A1	11-11-2015
		US 2015308284 A1	29-10-2015
EP 3130887 B1	22-06-2022	CN 106446329 A	22-02-2017
		EP 3130887 A1	15-02-2017
		JP 6866081 B2	28-04-2021
		JP 2017078401 A	27-04-2017
		US 9542739 B1	10-01-2017
EP 3324150 B1	11-09-2019	CN 108072349 A	25-05-2018
		EP 3324150 A1	23-05-2018
		KR 20180056376 A	28-05-2018
		US 2018144457 A1	24-05-2018

EPO FORM P0465