

(19)



(11)

**EP 2 075 721 B1**

(12)

**FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention  
de la délivrance du brevet:  
**12.09.2018 Bulletin 2018/37**

(51) Int Cl.:  
**G06F 17/50** <sup>(2006.01)</sup> **F01D 5/22** <sup>(2006.01)</sup>  
**F01D 9/04** <sup>(2006.01)</sup> **F01D 25/24** <sup>(2006.01)</sup>

(21) Numéro de dépôt: **08172427.0**

(22) Date de dépôt: **19.12.2008**

(54) **Procédé de choix d'un arrangement de secteurs pour un distributeur pour turbomachine**

Auswahlverfahren für die Anordnung von Sektoren eines Leitkranzes für Turbomaschinen

Selection procedure for the arrangement of sectors of a stator ring for a turbomachine

(84) Etats contractants désignés:  
**DE FR GB IT SE**

(30) Priorité: **24.12.2007 FR 0760335**

(43) Date de publication de la demande:  
**01.07.2009 Bulletin 2009/27**

(73) Titulaire: **Safran Aircraft Engines**  
**75015 Paris (FR)**

(72) Inventeur: **Menuey, Justine**  
**86100 Chatelleraut (FR)**

(74) Mandataire: **Intès, Didier Gérard André et al**  
**Cabinet Beau de Loménie**  
**158 rue de l'Université**  
**75340 Paris Cedex 07 (FR)**

(56) Documents cités:  
**EP-A- 0 716 219 EP-A- 1 113 373**  
**EP-A- 1 731 713 US-B1- 6 393 331**

**EP 2 075 721 B1**

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la publication de la mention de la délivrance du brevet européen au Bulletin européen des brevets, toute personne peut faire opposition à ce brevet auprès de l'Office européen des brevets, conformément au règlement d'exécution. L'opposition n'est réputée formée qu'après le paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

## Description

**[0001]** La présente invention concerne un procédé de choix d'un arrangement de secteurs pour un distributeur pour turbomachine.

**[0002]** Dans un distributeur pour turbomachine, un secteur est une pièce connue, comportant une ou plusieurs aubes reliant deux plates-formes. La réunion en couronne des secteurs constitue, pour l'essentiel, le distributeur. Dans le distributeur, chaque secteur se positionne ou se met en position relative de montage par rapport aux deux secteurs situés de part et d'autre, par aboutement des surfaces de contact de ses plates-formes avec celles des plates-formes des secteurs adjacents.

**[0003]** Dans un distributeur, sauf exception, tous les secteurs ont la même géométrie. Les différences entre secteurs sont difficiles à mesurer et souvent indécélables à l'oeil nu. A fortiori, en général la qualité du positionnement relatif entre des secteurs adjacents n'est pas évaluée. Pour cette raison, en général l'optimisation de l'arrangement des secteurs de distributeur n'est pas réalisée.

**[0004]** Pourtant, il est apparu que du fait des variations des conditions de fabrication et d'utilisation des secteurs, il existe des différences géométriques non négligeables entre ceux-ci. Ces différences peuvent conduire à l'apparition de défauts géométriques comme des asymétries, ce qui est très préjudiciable à la durée de vie du distributeur, voire de la turbomachine dans laquelle celui-ci est monté, du fait des vibrations que celles-ci peuvent engendrer. Une autre conséquence fâcheuse est la diminution du rendement du distributeur, ou du moins l'obtention d'un rendement sous-optimal.

**[0005]** US6393331 décrit un procédé pour concevoir un joint d'étanchéité à l'air extérieur pour des aubes de turbine. Le procédé utilise un modèle de produit logiciel pour générer un modèle géométrique paramétrique tridimensionnel dudit joint.

**[0006]** EP1113373 divulgue une méthode de conception optimisée pour un système de climatisation sur un véhicule. La méthode permet une flexibilité dans la conception du véhicule et l'analyse technique de ladite conception. Divers outils informatiques sont intégrés, y compris le modèle solide, la conception paramétrique, les études automatisées et une bibliothèque.

**[0007]** EP0716219 divulgue un distributeur monobloc sectorisé d'un stator de turbine de turbomachine.

**[0008]** EP1737713 décrit un procédé pour assembler une aube de turbine carénée.

**[0009]** US2006/0013692 décrit une méthode pour ordonner les aubes d'une roue à aubes. A l'aide d'un produit logiciel, le procédé consiste à déterminer un paramètre géométrique de chaque aube et à déterminer un ordre de mappage desdites aubes.

**[0010]** US6898547 décrit un système permettant semble-t-il d'optimiser la position des différents modules comme compresseurs, turbines etc ou hypothétiquement des roues à aubes dans une turbomachine.

**[0011]** L'objet de la présente invention est de définir un procédé de choix d'un arrangement de secteurs pour un distributeur pour turbomachine, selon la revendication 1.

**[0012]** Dans ce qui précède, un arrangement de secteurs pour un distributeur pour turbomachine désigne la suite ordonnée des références individuelles de ces secteurs assemblés en position relative de montage, c'est-à-dire en couronne, pour former un distributeur. Ainsi, deux arrangements se distinguent dès lors que les positions des secteurs à l'intérieur du distributeur ne sont pas les mêmes, par exemple si les secteurs ont subi une permutation. On notera qu'un arrangement de secteurs peut désigner la suite ordonnée des références individuelles d'un ensemble de secteurs qui ne constituent pas un distributeur entier mais seulement une partie de celui-ci.

**[0013]** La base de données constituée dans l'étape A. contient une pluralité de modèles de secteurs, c'est-à-dire une collection de modèles de secteurs, ces modèles étant globalement identiques du fait qu'ils représentent tous des secteurs destinés à un même distributeur, mais présentent toutefois des différences secondaires car ils proviennent de la digitalisation de différents secteurs. C'est l'existence de ces différences qui fait tout l'intérêt du choix d'un arrangement plutôt que d'un autre.

**[0014]** Par ailleurs, le choix d'un arrangement d'un ensemble de secteurs porte d'une part sur le choix des secteurs qui composent l'arrangement, mais aussi sur les positions respectives de ceux-ci dans l'arrangement.

**[0015]** Le procédé de choix d'un arrangement de secteur présenté précédemment permet d'optimiser le choix des secteurs et leurs positionnements relatifs dans un distributeur lors de la constitution du distributeur. Il s'ensuit que l'on obtient un distributeur aux performances accrues, et à la durée de vie augmentée. En outre, l'utilisation d'une base de données des modèles numériques tridimensionnels des secteurs de distributeur permet le contrôle et le suivi dans le temps d'un nombre important de caractéristiques géométriques des secteurs du distributeur.

**[0016]** On notera que par digitalisation, on désigne ici tout procédé de relevé de coordonnées tridimensionnelles sur la pièce, que ce soit par des moyens mécaniques à l'aide d'une pointe de touche, ou par des moyens optiques à l'aide d'un scanner laser ou avec projection de lumière structurée par exemple. Dans tous les cas, la digitalisation suppose le relevé d'un nombre important de coordonnées tridimensionnelles, de manière à obtenir un "nuage de points", ce qui permet notamment de présenter sur un écran d'ordinateur le modèle numérique obtenu sous forme de maillage.

**[0017]** Pour l'étape A. de création d'une base de données des modèles numériques tridimensionnels des secteurs,

chaque secteur de distributeur est mesuré en général démonté, indépendamment des autres secteurs et sans positionnement relatif par rapport à ceux-ci (ce qui n'empêche pas cependant d'utiliser des moyens de fixation ou de maintien du secteur pendant la mesure).

**[0018]** L'utilisation de la digitalisation, pour des pièces comme des secteurs de distributeur, est une opération délicate, mais qui présente en revanche des avantages substantiels.

**[0019]** Cette opération est délicate tout d'abord en raison de la forme des surfaces du secteur de distributeur. Un secteur de distributeur est une pièce de forme complexe, présentant de nombreuses surfaces gauches, et dont les directions normales sont dirigées dans toutes les directions de l'espace.

**[0020]** Bien qu'il ne soit pas nécessaire de digitaliser l'ensemble des surfaces extérieures du secteur, il est nécessaire d'en digitaliser au moins deux familles de surfaces :

Ce sont tout d'abord les surfaces dont le modèle numérique est nécessaire pour déterminer la valeur du critère de choix retenu. Naturellement, ces surfaces peuvent être localisées dans des emplacements difficiles d'accès. En effet, les surfaces fonctionnelles principales du secteur et qui sont les plus importantes sont les surfaces des aubes ; or, celles-ci sont disposées principalement dans le canal inter-aube. Ce canal est étroit, mesurant quelques millimètres à quelques centimètres de large ; l'introduction d'un outil de mesure dans cet espace est donc difficile. La mesure des surfaces du canal inter-aubes est donc particulièrement problématique ; et pour cette raison, dans le cas de nombreux critères, la digitalisation des surfaces nécessaires pour l'évaluation du critère est problématique.

**[0021]** La seconde famille de surfaces dont la digitalisation est nécessaire, en vue du montage virtuel des secteurs réalisé à l'étape C., est celle des surfaces de référence nécessaires pour le montage virtuel. Ces surfaces de référence sont orientées de manière complètement différente des surfaces à mesurer. Il en résulte une difficulté de mesure supplémentaire.

**[0022]** Enfin, la précision que doit avoir l'opération de digitalisation est importante. En effet, l'incertitude de mesure admise n'excède pas le centième voire quelques centièmes de millimètre.

**[0023]** Pour les différences raisons citées précédemment, la digitalisation du secteur de distributeur est une opération difficile.

**[0024]** Inversement, la digitalisation fournit un modèle numérique tridimensionnel des secteurs de distributeur qui contient un nombre très important d'informations sur ceux-ci, à savoir, en pratique, le relevé éventuellement quasiment complet de leur forme extérieure. L'exploitation de ces modèles numériques permet de réaliser les étapes de montage virtuel des distributeurs, et de détermination de la valeur du critère pour un ensemble de distributeurs assemblés, opérations évidemment irréalisables en l'absence d'une base de données des modèles numériques des secteurs de distributeurs.

**[0025]** Enfin, la base de données constituée dans le cadre du procédé selon l'invention se compose de modèles numériques qui permettent de mesurer un grand nombre de cotes du secteur de distributeur et de vérifier leurs valeurs réelles par rapport à leurs valeurs spécifiées et tolérancées, portées au plan. La base de données permet ainsi des opérations puissantes de traçabilité.

**[0026]** Enfin, le critère de choix fixé dans l'étape B) peut prendre différentes valeurs en fonction des contraintes jugées les plus importantes pour l'optimisation du distributeur. Il est ainsi possible, par exemple, de chercher à rendre les sections de passage les plus voisines possibles les unes par rapport aux autres dans le distributeur, indépendamment de leurs dimensions respectives ; ou tout autre critère fonction des géométries et des positions relatives dans l'arrangement des différents secteurs.

**[0027]** En fonction de la puissance de calcul disponible, on peut appliquer le procédé en évaluant un nombre plus ou moins grands d'arrangements. Si une grande puissance de calcul est disponible, il est envisageable de tester l'ensemble des combinaisons des secteurs de la base de données.

**[0028]** Si la puissance de calcul est plus modeste, on peut procéder de la manière suivante : à l'étape C., un arrangement évalué est la combinaison d'un arrangement choisi par le procédé et d'un autre secteur ou d'un autre arrangement choisi à l'aide du procédé. L'algorithme de montage du distributeur est ainsi un algorithme récursif : on définit peu à peu l'arrangement des secteurs composant le distributeur, en optimisant à chaque étape l'ajout d'un nouveau secteur de distributeur par rapport à l'arrangement existant. La puissance de calcul consommée est bien plus faible que dans le cas précédent.

**[0029]** Par ailleurs, la base de données de modèles tridimensionnels de secteurs de distributeur peut être utilisée soit pour optimiser le montage d'un seul distributeur, soit pour optimiser un parc de secteurs de distributeur permettant de composer plusieurs distributeurs.

**[0030]** Ainsi selon le mode de réalisation, à l'étape A), la base de données utilisée pour le procédé peut contenir des secteurs venant d'un seul distributeur, ou encore des secteurs venant d'au moins deux distributeurs différents.

**[0031]** Le procédé comporte une étape importante, en particulier du point de vue de la précision de mesure, qui est celle du montage virtuel en position assemblés, des modèles numériques des secteurs de l'arrangement évalué. (Par montage virtuel, on désigne ici la détermination des différents changements de repère tridimensionnel, à appliquer respectivement aux modèles numériques tridimensionnels des secteurs, pour placer ceux-ci en position relative mutuelle

de montage, dans un espace virtuel. On peut parler également de mise en référence). Pour ce montage virtuel, le recalage est ainsi fait de manière numérique, sur ordinateur, entre les modèles numériques des différents secteurs de l'arrangement évalué.

Dans l'étape C. de montage virtuel, le montage virtuel des modèles numériques des secteurs pour distributeur d'un arrangement évalué est fait de la manière suivante. Comme cela a été écrit, les secteurs de distributeur comportent des surfaces de contact, et sont placés en position relative par rapport aux secteurs de distributeur adjacents par abutement de ces surfaces de contact.

**[0032]** Selon un mode de réalisation, dans la base de données créée à l'étape A., les modèles numériques des secteurs comportent une modélisation des surfaces de contact impliquées dans leur mise en position relative de montage ; et à l'étape C. le montage virtuel des modèles numériques des secteurs dans un arrangement évalué est réalisé en mettant en correspondance les surfaces de contact des secteurs adjacents dudit arrangement.

**[0033]** Le recalage numérique suit ainsi les mêmes règles, et fournit donc les mêmes résultats, que le recalage réel qui pourrait être réalisé entre les différents secteurs de distributeur de l'arrangement évalué.

**[0034]** On notera en outre qu'en recalant simultanément un ensemble de secteurs de distributeurs, leurs sections de passages (chacune étant déterminée relativement aux deux secteurs adjacents dans la position étudiée) peuvent être déterminées toutes ensemble.

**[0035]** Selon un mode de réalisation, l'étape A. de digitalisation est réalisée à l'aide d'un moyen de mesure optique sans contact. L'utilisation de la mesure sans contact ou mesure optique est particulièrement intéressante dans le cas des secteurs pour distributeur car elle évite toute rayure de ces pièces et toute dégradation de la surface de celles-ci.

**[0036]** Selon un mode de réalisation, la création des modèles numériques des secteurs, par digitalisation, est automatisée. Ce résultat peut être obtenu notamment en embarquant le capteur de digitalisation, comme un scanner 3D avec projection de lumière structurée, à l'extrémité du bras d'un robot. Pour la digitalisation de chaque secteur, le bras du robot parcourt une trajectoire prédéterminée, comportant un certain nombre de positions d'arrêt. Lors de l'arrêt du bras à ces positions d'arrêt, le capteur de digitalisation procède à une acquisition de données. De manière connue, les différentes acquisitions réalisées aux différentes positions d'arrêt sont recalées les unes en référence par rapport aux autres automatiquement, par un ordinateur, de manière à constituer le modèle numérique tridimensionnel du secteur digitalisé. La digitalisation en mode automatique d'un ensemble de secteurs peut être faite en utilisant en outre un convoyeur qui place successivement en face du bras robotisé portant le capteur de digitalisation, les différents secteurs à digitaliser.

**[0037]** Selon un mode de réalisation, les étapes de détermination d'un ensemble d'arrangements à évaluer, de montage virtuel des secteurs d'un arrangement évalué, et/ou de détermination des valeurs du critère de choix pour les différents arrangements évalués, sont automatisées. Un logiciel du ordinateur utilisé pour réaliser l'étape C. de recalage et de détermination des sections de passage est en effet programmé pour réaliser ces opérations en séquence, sans intervention humaine. Le résultat obtenu est un rapport de contrôle indiquant l'arrangement optimal et la valeur de critère de choix pour cet arrangement.

**[0038]** Les avantages de l'automatisation sont un gain de temps, une réduction des erreurs opératoires, une réduction du temps de main d'oeuvre, et une augmentation de la reproductibilité des résultats, et au final une meilleure précision du procédé de mesure.

**[0039]** Dans un mode de réalisation, le critère de choix est fonction des sections de passage respectives des secteurs de distributeur. Dans un distributeur, la performance globale dépend en effet notamment des sections de passage du distributeur, c'est-à-dire de la somme des sections de passage des différents secteurs. La mesure de ces sections de passage est donc une opération importante.

**[0040]** Pour un secteur donné, les sections de passage sont les aires, mesurées perpendiculairement au sens du flux, de passage du flux à travers le secteur de distributeur. Par extension, les sections de passage peuvent aussi désigner plus simplement les largeurs de passage du flux à travers le secteur de distributeur, mesurées dans un plan perpendiculaire à l'axe des aubes.

**[0041]** Dans ce qui suit, les sections de passage seront considérées dans leur sens exact, c'est-à-dire des sections de passage du flux qui sont des aires. Plus généralement, on comprendra que la présente invention vise aussi le cas où les sections de passage du flux sont seulement les largeurs de passage du flux comme cela a été dit précédemment.

**[0042]** Dans les sections de passages du flux dans un secteur de distributeur, on peut distinguer des sections de passage internes et des sections de passage externes.

**[0043]** Les sections de passage internes, concernant seulement des secteurs de distributeur comportant chacun au moins deux aubes, sont mesurées entre des aubes adjacentes deux à deux du secteur considéré.

**[0044]** Les sections de passage externes, au nombre de deux, valent chacune la moitié de l'aire formée entre une aube d'extrémité du secteur et l'aube adjacente du secteur en vis-à-vis dans le distributeur. En principe, l'aire entre l'aube d'extrémité du secteur de distributeur et l'aube adjacente doit être déterminée avec une aube adjacente qui serait aux cotes nominales ; on obtient alors la section de passage nominale à cette extrémité du secteur de distributeur. Par extension, il est possible de déterminer une section de passage réelle pour l'extrémité du distributeur par rapport à une

## EP 2 075 721 B1

aube d'un secteur donné ; dans ce cas, on détermine l'aire entre l'aube d'extrémité du secteur de distributeur et cette dernière aube, et la section de passage pour cette extrémité du secteur de distributeur est la moitié de cette aire.

**[0045]** Selon un mode de réalisation, pour déterminer la section de passage d'un secteur disposé à une extrémité de l'arrangement, on utilise en outre un modèle numérique théorique d'une aube de référence. Par modèle numérique

**[0046]** En effet, si l'arrangement de secteurs ne constitue pas un distributeur complet, mais seulement une partie de celui-ci, la question se pose, dans le cas où le critère de choix concerne les sections de passage des secteurs, de la mesure des sections de passage des deux secteurs situés aux extrémités de l'arrangement. On utilise alors les modèles numériques de deux aubes de référence. Lors du montage virtuel des secteurs, ces aubes sont positionnées en position relative de montage aux extrémités de l'arrangement. Il est alors possible de calculer les sections de passage de l'ensemble des secteurs, et ainsi de mener le procédé de choix d'un arrangement à son terme.

**[0047]** L'invention sera bien comprise et ses avantages apparaîtront mieux à la lecture de la description détaillée qui suit, de modes de réalisation représentés à titre d'exemples non limitatifs. La description se réfère aux dessins annexés, sur lesquels :

la figure 1 est une vue en perspective de trois secteurs de distributeur présentés en position relative de montage ; la figure 2 est une vue en coupe circonférentielle en position relative de montage d'un secteur mesuré et de deux secteurs adjacents ;

la figure 3 est une vue en coupe d'un secteur, faisant apparaître la section du canal inter-aubes dans laquelle est mesurée une section de passage entre deux aubes adjacentes ; et

la figure 4 est une vue de face d'un ensemble de secteurs d'un distributeur, dont l'arrangement est optimisé grâce au procédé selon l'invention.

**[0048]** On notera que lorsqu'un élément apparaît sur plusieurs figures, soit à l'identique, soit sous une forme analogue, il est décrit en relation avec la première figure sur laquelle il apparaît ; de plus, la description de l'élément n'est faite qu'une fois.

**[0049]** En référence aux figures 1 et 3, un secteur de distributeur va maintenant être présenté. La réunion de tels secteurs permet de composer un distributeur, agencé autour d'un axe de distributeur.

**[0050]** Le secteur de distributeur 100 visible en figure 1 comporte deux plates-formes 130, 140, sensiblement parallèles. Ces plates-formes sont sensiblement de forme cylindrique autour de l'axe du distributeur. Ces plates-formes 130, 140 comportent des surfaces de contact 131, 132, 141, 142, dirigées respectivement vers les deux secteurs de distributeurs disposés de part et d'autre du secteur 100 mesuré (en position relative de montage). Les surfaces de contact sont prévues pour maintenir en position relative de contact les secteurs de distributeur adjacents 200 et 300. Ces secteurs latéraux 200, 300 comportent respectivement deux aubes d'extrémité 220 et 310, qui sont disposées en vis-à-vis des aubes d'extrémité du secteur 100 en position de montage relatif des secteurs.

**[0051]** Le secteur de distributeur 100 comporte en outre deux aubes 110, 120. Chacune de ces aubes présente un profil aérodynamique et comporte un intrados 111, 121, et un extrados 112, 122. Comme il n'y a que deux aubes dans le secteur 100, chacune des aubes 110, 120 est une aube d'extrémité. Ainsi, chacune de ces aubes est amenée à être disposée en vis-à-vis avec une aube d'extrémité du secteur de distributeur adjacent, en position relative de montage. Plus précisément, l'intrados 111 est en vis-à-vis de l'extrados 222 de l'aube 220, et l'extrados 122 est en vis-à-vis de l'intrados 311 de l'aube 310.

**[0052]** Entre les aubes respectives sont formés des passages inter-aubes 101, 102, 103. Le passage 102 est formé entre les aubes 110, 120 du secteur 100. En revanche, les passages inter-aubes 101 et 103 sont formés entre, d'une part une aube (110 ou 120) du secteur, et d'autre part l'aube de référence en vis-à-vis, 220 ou 310.

**[0053]** Dans le mode de réalisation du procédé qui va être présenté dans ce qui suit, le critère de choix retenu pour un arrangement est fonction des sections de passage dans chaque secteur. Pour cette raison, avant de détailler le procédé selon l'invention, le mode de détermination des sections de passage d'un secteur de distributeur va maintenant être présenté.

**[0054]** Les sections de passage sont présentées en relation avec la figure 2. Celle-ci représente une coupe dans un plan P, perpendiculaire à l'axe des aubes et sensiblement à mi-hauteur de celles-ci, des secteurs de distributeur 100, 200, 300 faisant apparaître notamment les aubes de référence 220 et 310 (On s'est placé dans le cas où les aubes seraient des aubes pleines).

**[0055]** Cette coupe fait apparaître les sections des différentes aubes 220, 110, 120, 310 ; les surfaces de contact mises en correspondance, 242, 141, 142, 341 ; et les canaux inter-aubes 101, 102, 103. Par conception, la forme nominale des différents canaux est sensiblement la même. Comme on peut le voir, dans un canal inter-aubes donné, la distance entre les aubes fluctue en fonction de la position dans le canal. Il existe habituellement un seul plan pour lequel cette distance est minimale. Comme la distance entre les plates-formes 130, 140 est sensiblement constante,

c'est aussi dans ce plan que la section de passage entre les aubes est minimale, pour un canal inter-aubes donné. Ce plan du canal correspond respectivement aux plans P1, P2, P3 pour les canaux 101, 102, 103 ; la distance entre les aubes dans ces sections est respectivement D1, D2, D3. On notera qu'avantageusement, dans le procédé selon l'invention, il est possible d'optimiser pour chaque canal inter-aubes la position du plan P1, P2, P3 de section, permettant

ainsi de déterminer le plan du canal inter-aubes dans lequel la section de passage est effectivement minimale.

**[0056]** La figure 3 fait apparaître la coupe de secteur de distributeur suivant le plan P1. Elle fait apparaître la géométrie du passage dans le canal inter-aubes 101.

**[0057]** Sur la base des informations fournies sur la coupe de la figure 3, la valeur de la section de passage du canal inter-aubes 101 peut être déterminée de la manière suivante :

On définit tout d'abord une section de passage du flux entre deux aubes adjacentes comme étant sensiblement égale à l'aire minimale de passage du flux entre celles-ci.

**[0058]** Par définition également, les sections de passage du secteur sont d'une part, lorsque le secteur comporte plus d'une aube, la ou les sections de passage du flux entre la ou les paires d'aubes adjacentes du secteur (ce sont les sections de passage internes du secteur) ; et d'autre part, la moitié des section de passage du flux entre une aube d'extrémité du secteur et l'aube du secteur adjacent en vis-à-vis de celle-ci (ce sont les sections de passage externes du secteur).

**[0059]** Suivant un mode de calcul de section de passage, une section de passage du flux entre deux aubes adjacentes est déterminée sur la base de la plus petite distance entre celles-ci. Les plus petites distances entre aubes adjacentes, dans les trois canaux inter-aubes 101, 102, 103 représentés sur la figure 2, sont les distances D1, D2, D3.

**[0060]** Notons tout d'abord que par extension du concept de section de passage, une section de passage peut être définie non pas par une aire de passage, mais par une largeur de passage pour le flux.

**[0061]** Dans ce dernier cas, la distance D2 (pour une section de passage interne du secteur), les moitiés des distances D1 et D3 (pour les sections de passage externes du secteur) peuvent être considérées comme les sections de passage du secteur de distributeur.

**[0062]** Nous revenons maintenant à la définition première des sections de passage, dans laquelle la détermination des sections de passage est sous forme d'aires.

**[0063]** Ainsi, une section de passage du flux entre deux aubes adjacentes est égale à l'aire de la section d'espace libre entre les deux aubes, dans le plan sensiblement parallèle à l'axe des aubes et dans lequel la distance entre les aubes est la plus faible.

**[0064]** Cette section est illustrée sur la figure 3, pour le canal inter-aubes 101. La figure 3 représente en effet une coupe des secteurs de distributeurs 100 et 200, en position relative de montage. Cette coupe est faite dans le plan P1 de moindre distance entre les aubes adjacentes 220 et 110, et qui apparaît en figure 2. On notera que la digitalisation des aubes des secteurs 100 et 200, permet d'obtenir la section réelle du passage 101 et de connaître les positions réelles des quatre parois 111, 222, 135-235, 145-245, délimitant le secteur, représentées sur la figure 3.

**[0065]** Connaissant ces positions, l'aire de la partie du plan P1 située entre ces quatre parois peut être calculée ou déterminée. Cette détermination peut se faire de plusieurs manières, plus ou moins approchées.

**[0066]** La distance entre les plates-formes 130-230 et 140-240 étant en première approximation constante (ces plates-formes étant sensiblement de formes cylindriques et coaxiales), la valeur de la section de passage  $S_{101}$  dans le canal inter-aubes 101 entre les deux aubes adjacentes 220 et 110, est le produit de la plus petite distance entre les aubes, D1, par la distance H entre les plates-formes.

**[0067]** Par conséquent, aux extrémités du secteur, la section de passage relative au secteur considéré (ou mesuré), dite 'externe', vaut la moitié de ce produit : Elle vaut donc  $S_{100/1} = \frac{1}{2} \times S_{101} = \frac{1}{2} \times D1 \times H$  dans le cas de la section relative au canal inter-aubes 101 de la figure 4.

**[0068]** Pour les canaux 102 et 103, les sections de passage relatives au secteur 100 valent respectivement :  $S_{100/2} = S_{102} = D2 \times H$  (section de passage interne) ; et enfin  $S_{100/3} = \frac{1}{2} \times S_{103} = \frac{1}{2} \times D3 \times H$  (section de passage externe).

**[0069]** La section de passage attribuable au distributeur 100 vaut :

$$S_{100} = S_{100/1} + S_{100/2} + S_{100/3} = \frac{1}{2} S_{101} + S_{102} + \frac{1}{2} S_{103}.$$

**[0070]** La méthode précédemment indiquée consiste à mesurer la distance réelle H entre les deux parois 135-235 et 145-245 des plates-formes 130 et 140, et à multiplier celle-ci par la distance D1 entre les parois 111 et 222 des aubes adjacentes 110 et 220.

**[0071]** On peut de manière alternative exploiter plus finement les informations disponibles dans les modèles numériques des secteurs pour déterminer de manière plus exacte l'aire de passage entre les aubes adjacentes ; par exemple, remarquer que la partie du plan P1 située entre les quatre parois précitées forme sensiblement un trapèze (les parois des aubes sont parallèles), et déterminer l'aire de cette partie du plan P1 en conséquence.

## EP 2 075 721 B1

**[0072]** Au final, on obtient donc pour le secteur, les valeurs de ses différentes sections de passage, dont la somme constitue la section de passage attribuable au secteur ou du secteur.

**[0073]** En résumé, pour déterminer les sections de passage d'un secteur de distributeur comme le secteur 100 présenté sur les figures :

- on identifie les différentes sections de passage, internes et externes, qui sont à déterminer ;
- on coupe les modèles numériques du secteur et des secteurs adjacents par le plan, parallèle à l'axe des aubes, et dans lequel la distance entre les aubes est la plus faible ;
- on détermine l'aire de la partie du plan située dans le passage inter-aubes considéré ;

la section de passage valant cette aire pour les sections internes, et la moitié de cette aire pour les sections externes.

**[0074]** Le procédé de choix d'un arrangement de secteurs pour distributeur pour turbomachine selon l'invention va maintenant être détaillé.

**[0075]** Dans l'exemple considéré, on cherche seulement à optimiser le choix de onze secteurs pour occuper les positions I à XI d'un distributeur, présentées sur la figure 4.

**[0076]** Dans une première étape, on crée par digitalisation la base de données des modèles numériques tridimensionnels d'un certain nombre de secteurs.

**[0077]** En général, chacun des secteurs de distributeur est digitalisé seul (ou du moins, sans être spécifiquement en position relative de montage par rapport aux aubes de référence). Sa digitalisation permet d'obtenir son modèle numérique tridimensionnel. Comme le secteur de distributeur est digitalisé seul, il est plus facile d'obtenir un modèle complet du secteur, c'est-à-dire comportant l'ensemble de ses surfaces extérieures.

**[0078]** Le modèle numérique obtenu par digitalisation comporte la digitalisation des surfaces de contact du secteur de distributeur. Ces surfaces de contact sont les surfaces 131,132,141,142 qui servent à maintenir le secteur par rapport aux secteurs adjacents en position relative de montage.

**[0079]** On obtient par ailleurs les modèles numériques des aubes de référence. Pour chaque aube de référence, son modèle contient les surfaces de montage du secteur dont fait partie l'aube. Ces modèles peuvent par exemple être un extrait de la maquette numérique tridimensionnelle du distributeur (ou seulement du secteur).

**[0080]** La base de données des différents secteurs est alors créée, y compris les aubes de référence.

**[0081]** A titre d'exemple on peut ainsi supposer que l'on produit les cent modèles numériques de cent secteurs pour distributeurs, numérotés de 1 à 100. Chaque modèle tridimensionnel comprend la représentation de ses surfaces de contact, permettant ainsi le recalage du secteur par rapport à des secteurs adjacents.

**[0082]** Dans une seconde étape, on fixe un critère de choix, pour évaluer la qualité d'un arrangement de secteurs donné, et l'on choisit une valeur préférée pour ce critère. Ce critère est fonction des sections de passage des secteurs en position relative de montage dans l'arrangement. On choisit ici le critère suivant :

$$\text{Critère} = \sum_{\text{arrangement}} (S_i - S_0)^2$$

dans lequel  $S_i$  est la section de passage du secteur  $i$  et  $S_0$  la section de passage nominale d'un secteur, et la somme porte sur tous les secteurs de l'arrangement considéré. (D'autres choix pour le critère sont bien entendu possibles).

**[0083]** La valeur préférée pour ce critère est zéro.

**[0084]** Au cours de la troisième étape (C.), on envisage parmi les secteurs 1 à 100, tous les arrangements de secteurs permettant de constituer une partie de distributeur. Chaque arrangement se présente comme la suite des références individuelles des secteurs de l'arrangement, ordonnée suivant les positions I à XI et par exemple un des arrangements est la suite : (28-4-90-80-54-43-91-3-11-35-66), dans laquelle par exemple le secteur n°28 occupe la position I et le secteur n°66 la position XI.

**[0085]** Pour chacun des arrangements possibles des cent secteurs dans les onze positions, on opère de la manière suivante :

- On réalise le montage virtuel en position relative de montage des onze secteurs. Cette opération est faite en mettant en correspondance les surfaces de contact de chaque secteur avec celles des secteurs adjacents. Naturellement, pour la détermination des sections de passage externes des aubes situées aux positions d'extrémité dans un arrangement (s'il y a lieu), on prend en compte comme aube de référence le modèle numérique d'une aube aux cotes nominales, recalée par rapport au secteur d'extrémité.
- Les modèles numériques des secteurs étant dans cette position relative de montage, on détermine les sections de passage des différents secteurs, et à partir de celles-ci on détermine la valeur du critère cité précédemment, pour l'arrangement évalué.

**[0086]** Ayant calculé l'ensemble de ces valeurs du critère de choix, on peut passer à la dernière étape. Au cours de celle-ci, on sélectionne l'arrangement qui donne au critère sa valeur la plus proche de zéro.

5 **Revendications**

1. Procédé de choix d'un arrangement de secteurs (100,200,300) pour un distributeur pour turbomachine, les secteurs de distributeur comportant des surfaces de contact (131,132,141,142), et étant susceptibles d'être placés en position relative par rapport aux secteurs de distributeur adjacents par aboutement de ces surfaces de contact,  
10 **caractérisé en ce qu'il** comporte les étapes suivantes :
  - A. on crée par digitalisation une base de données des modèles numériques tridimensionnels de secteurs, dans laquelle les modèles numériques des secteurs comportent une modélisation des surfaces de contact impliquées dans une mise en position relative des secteurs lors du montage ;
  - 15 B. on fixe un critère de choix d'un arrangement de secteurs et une valeur souhaitée pour ce critère, le critère étant fonction de la géométrie et de la position relative des secteurs ;
  - C. pour différents arrangements évalués, on détermine par montage virtuel les positions relatives des secteurs montés ensemble, le montage virtuel des modèles numériques des secteurs dans un arrangement évalué étant réalisé en mettant en correspondance les surfaces de contact des secteurs adjacents dudit arrangement ; et
  - 20 en fonction desdites positions relatives, on détermine la valeur du critère de choix pour l'arrangement évalué ;
  - D. on retient l'arrangement pour lequel le critère de choix a la valeur la plus proche de la valeur souhaitée.
2. Procédé de choix d'un arrangement de secteurs selon la revendication 1, dans lequel à l'étape C., au moins un arrangement évalué est la combinaison d'un arrangement choisi par le procédé et d'un autre secteur ou d'un autre arrangement choisi à l'aide du procédé.
- 25 3. Procédé de choix d'un arrangement de secteurs selon la revendication 1 ou 2, dans lequel à l'étape A., la base de données utilisée pour le procédé contient des secteurs (100,200,300) venant d'un seul distributeur.
- 30 4. Procédé de choix d'un arrangement de secteurs selon la revendication 1 ou 2, dans lequel à l'étape A., la base de données utilisée pour le procédé contient des secteurs venant d'au moins deux distributeurs différents.
5. Procédé de choix d'un arrangement de secteurs selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel l'étape A) de création d'une base de données de modèles numériques par digitalisation est réalisée à l'aide d'un moyen de mesure optique sans contact.
- 35 6. Procédé de choix d'un arrangement de secteurs selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, dans lequel le critère de choix est fonction des sections de passage respectives ( $S_i$ ) des secteurs de distributeur.
- 40 7. Procédé de choix d'un arrangement de secteurs selon la revendication 6, dans lequel pour déterminer la section de passage ( $S_i$ ) d'un secteur disposé à une extrémité de l'arrangement, on utilise en outre un modèle numérique théorique d'une aube de référence (220,310).
8. Procédé de choix d'un arrangement de secteurs selon la revendication 6 ou 7, dans lequel, une section de passage ( $S_{101}, S_{102}, S_{103}$ ) du flux entre deux aubes adjacentes étant sensiblement l'aire minimale de passage du flux entre celles-ci, et les sections de passage ( $S_{100/1}, S_{100/2}, S_{100/3}$ ) du distributeur étant d'une part, la moitié des section de passage du flux ( $S_{101}, S_{103}$ ) entre une aube d'extrémité du secteur et l'aube de référence recalée en vis-à-vis de celle-ci, et d'autre part, lorsque le secteur comporte plus d'une aube, la ou les sections de passage du flux ( $S_{102}$ ) entre la ou les paires d'aubes adjacentes du secteur ; une section de passage du flux entre deux aubes adjacentes est égale à l'aire de la section d'espace libre entre les deux aubes, dans le plan sensiblement parallèle à l'axe des aubes et dans lequel la distance ( $D1, D2, D3$ ) entre les aubes est la plus faible.
- 50 9. Procédé de choix d'un arrangement de secteurs selon l'une quelconque des revendications 6 à 8, dans lequel, une section de passage du flux ( $S_{101}, S_{102}, S_{103}$ ) entre deux aubes adjacentes étant sensiblement l'aire minimale de passage du flux entre celles-ci, et les sections de passage ( $S_{100/1}, S_{100/2}, S_{100/3}$ ) du distributeur étant d'une part, la moitié des section de passage du flux ( $S_{101}, S_{103}$ ) entre une aube d'extrémité du secteur et l'aube de référence recalée en vis-à-vis de celle-ci, et d'autre part, lorsque le secteur comporte plus d'une aube, la ou les sections de passage du flux ( $S_{102}$ ) entre la ou les paires d'aubes adjacentes du secteur ; une section de passage du flux entre
- 55

deux aubes adjacentes est déterminée sur la base de la plus petite distance (D1,D2,D3) entre celles-ci.

Patentansprüche

- 5
1. Auswahlverfahren für eine Anordnung von Sektoren (100, 200, 300) eines Leitkranzes für Turbomaschinen, wobei die Sektoren des Leitkranzes Kontaktflächen (131, 132, 141, 142) aufweisen und durch Anstoßen dieser Kontaktflächen gegenüber benachbarten Sektoren des Leitkranzes positionierbar sind,  
**dadurch gekennzeichnet ist, dass** es die folgenden Schritte aufweist:  
 10
    - A. Erstellen einer Datenbank von dreidimensionalen digitalen Modellen von Sektoren durch Digitalisierung, in der die digitalen Modelle der Sektoren eine Modellierung der Kontaktflächen aufweisen, die an einer relativen Positionierung der Sektoren während der Montage beteiligt sind,
    - B. Festsetzen eines Kriteriums zur Auswahl einer Anordnung von Sektoren und eines gewünschten Wertes für dieses Kriterium, wobei das Kriterium von der Geometrie und der relativen Position der Sektoren abhängt,
    - 15 C. Bestimmen der relativen Positionen der zusammengeführten Sektoren durch virtuelle Montage für verschiedene bewertete Anordnungen, wobei die virtuelle Montage der digitalen Modelle der Sektoren in einer bewerteten Anordnung dadurch erfolgt, dass die Kontaktflächen benachbarter Sektoren der Anordnung in Übereinstimmung gebracht werden, und Bestimmen des Wertes des Auswahlkriteriums für die bewertete Anordnung in Abhängigkeit von diesen relativen Positionen,
    - 20 D. Übernehmen der Anordnung, für die das Auswahlkriterium den Wert aufweist, der dem gewünschten Wert am nächsten kommt.
  2. Auswahlverfahren für eine Anordnung von Sektoren gemäß Anspruch 1, wobei in Schritt C. mindestens eine bewertete Anordnung die Kombination aus einer durch das Verfahren ausgewählten Anordnung und einem anderen Sektor oder einer anderen durch das Verfahren ausgewählten Anordnung darstellt.
  - 25 3. Auswahlverfahren für eine Anordnung von Sektoren gemäß Anspruch 1 oder 2, wobei in Schritt A. die für das Verfahren verwendete Datenbank Sektoren (100, 200, 300) von einem einzigen Leitkranz enthält.
  - 30 4. Auswahlverfahren für eine Anordnung von Sektoren gemäß Anspruch 1 oder 2, wobei in Schritt A. die für das Verfahren verwendete Datenbank Sektoren von mindestens zwei verschiedenen Leitkränzen enthält.
  - 35 5. Auswahlverfahren für eine Anordnung von Sektoren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei Schritt A) des Erstellens einer Datenbank von digitalen Modellen durch Digitalisierung mit Hilfe eines berührungslosen optischen Messmittels umgesetzt wird.
  - 40 6. Auswahlverfahren für eine Anordnung von Sektoren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei das Auswahlkriterium von den jeweiligen Durchgangsabschnitten ( $S_i$ ) der Sektoren des Leitkranzes abhängt.
  7. Auswahlverfahren für eine Anordnung von Sektoren gemäß Anspruch 6, wobei zum Bestimmen des Durchgangsabschnitts ( $S_i$ ) eines an einem Ende der Anordnung liegenden Sektors ferner ein theoretisches digitales Modell einer Referenzschaufel (220, 310) verwendet wird.
  - 45 8. Auswahlverfahren für eine Anordnung von Sektoren gemäß Anspruch 6 oder 7, wobei ein Durchgangsabschnitt ( $S_{101}$ ,  $S_{102}$ ,  $S_{103}$ ) der Strömung zwischen zwei benachbarten Schaufeln im Wesentlichen die minimale Durchgangsfläche der Strömung zwischen ihnen darstellt und die Durchgangsabschnitte ( $S_{100/1}$ ,  $S_{100/2}$ ,  $S_{100/3}$ ) des Leitkranzes einerseits die Hälfte der Durchgangsabschnitte der Strömung ( $S_{101}$ ,  $S_{103}$ ) zwischen einer Endschaufel des Sektors und der ihr entsprechenden Referenzschaufel, und andererseits, wenn der Sektor mehr als eine Schaufel aufweist, den oder die Durchgangsabschnitte der Strömung ( $S_{102}$ ) zwischen dem oder den benachbarten Schaufelpaaren des Sektors darstellen, ein Durchgangsabschnitt der Strömung zwischen zwei benachbarten Schaufeln ist gleich der Fläche des Freiraumabschnitts zwischen den beiden Schaufeln in der Ebene, die im Wesentlichen parallel zur Schaufelachse liegt und in der der Abstand ( $D_1$ ,  $D_2$ ,  $D_3$ ) zwischen den Schaufeln am kleinsten ist.
  - 50 9. Auswahlverfahren für eine Anordnung von Sektoren gemäß einem der Ansprüche 6 bis 8, wobei ein Durchgangsabschnitt der Strömung ( $S_{101}$ ,  $S_{102}$ ,  $S_{103}$ ) zwischen zwei benachbarten Schaufeln im Wesentlichen die minimale Durchgangsfläche der Strömung zwischen ihnen darstellt, und die Durchgangsabschnitte ( $S_{100/1}$ ,  $S_{100/2}$ ,  $S_{100/3}$ ) des Leitkranzes einerseits die Hälfte der Durchgangsabschnitte der Strömung ( $S_{101}$ ,  $S_{103}$ ) zwischen einer End-

schaufel des Sektors und der ihr entsprechenden Referenzschaufel, und andererseits, wenn der Sektor mehr als eine Schaufel aufweist, den oder die Durchgangsabschnitte der Strömung ( $S_{102}$ ) zwischen dem oder den benachbarten Schaufelpaaren des Sektors darstellen, ein Durchgangsabschnitt der Strömung zwischen zwei benachbarten Schaufeln wird auf der Basis des kürzesten Abstand ( $D1$ ,  $D2$ ,  $D3$ ) zwischen diesen bestimmt.

5

## Claims

1. A method of selecting an arrangement of sectors (100, 200, 300) for a turbomachine nozzle, the nozzle sectors comprising contact surfaces, and being adapted to be placed in relative position relative to adjacent nozzle sectors by abutment of these contact surfaces; the method being **characterized in that** it comprises the following steps:
  - A) creating a database of three-dimensional numerical models of the sectors by digitizing, in which the numerical models of the sectors comprise a model of the contact surfaces involved in a relative positioning of the sectors when they are mounted;
  - B) setting a criterion for selecting an arrangement of sectors and setting a desired value for said criterion, the criterion being a function of the shapes and the relative positions of the sectors;
  - C) for various arrangements that are evaluated, determining the relative positions of the sectors when assembled together by performing a virtual assembly, the virtual assembly of the numerical models of the sectors in an arrangement under evaluation being realized by bringing into correspondence the contact surfaces of the adjacent sectors of said arrangement; and as a function of said relative positions, determining the value of the selection criterion for the arrangement under evaluation; and
  - D) retaining the arrangement for which the selection criterion has the value closest to the desired value.
2. A method of selecting an arrangement of sectors in accordance with claim 1, wherein, in step C), at least one evaluated arrangement is the combination of an arrangement as selected by the method plus another sector or another arrangement as selected with the help of the method.
3. A method of selecting an arrangement of sectors in accordance with claim 1 or claim 2, wherein, in step A), the database used for the method contains sectors (100, 200, 300) coming from a single nozzle.
4. A method of selecting an arrangement of sectors in accordance with claim 1 or claim 2, wherein, in step A), the database used for the method contains sectors coming from at least two different nozzles.
5. A method of selecting an arrangement of sectors in accordance with any one of claims 1 to 4, wherein step A) for creating a database of numerical models by digitizing is performed with the help of contactless optical measurement means.
6. A method of selecting an arrangement of sectors in accordance with any one of claims 1 to 5, wherein the selection criterion is a function of the respective flow sections ( $S_i$ ) of the nozzle sectors.
7. A method of selecting an arrangement of sectors in accordance with claim 6, wherein, in order to determine the flow section ( $S_i$ ) of a sector located at one end of the arrangement, use is also made of a theoretical numerical model of a reference vane (220, 310).
8. A method of selecting an arrangement of sectors in accordance with claim 6 or claim 7, wherein, for a flow section ( $S_{101}$ ,  $S_{102}$ ,  $S_{103}$ ) between two adjacent vanes being substantially the minimum flow section area between them, the flow sections ( $S_{100/1}$ ,  $S_{100/2}$ ,  $S_{100/3}$ ) of the nozzle being firstly one-half of the flow sections ( $S_{101}$ ,  $S_{103}$ ) between an end vane of the sector and the reference vane reset facing it, and secondly, when the sector has more than one vane, the flow sections ( $S_{102}$ ) between the pair(s) of adjacent vanes of the sector; a flow section between two adjacent vanes is equal to the area of the section of the empty space between the two vanes in the plane substantially parallel to the axes of the vanes and in which the distance ( $D1$ ,  $D2$ ,  $D3$ ) between the vanes is the shortest.
9. A method of selecting an arrangement of sectors in accordance with any one of claims 6 to 8, wherein, for a flow section ( $S_{101}$ ,  $S_{102}$ ,  $S_{103}$ ) between two adjacent vanes being substantially the minimum area of the flow section therebetween, and the flow sections ( $S_{100/1}$ ,  $S_{100/2}$ ,  $S_{100/3}$ ) of the nozzle being firstly one-half of the flow sections ( $S_{101}$ ,  $S_{103}$ ) between an end vane of the sector and the reference vane reset facing it, and secondly, when the sector has more than one vane, the flow section(s) ( $S_{102}$ ) between the pair(s) of adjacent vanes of the sector, a flow section

55

**EP 2 075 721 B1**

between two adjacent vanes is determined on the basis of the shortest distance (D1, D2, D3) therebetween.

5

10

15

20

25

30

35

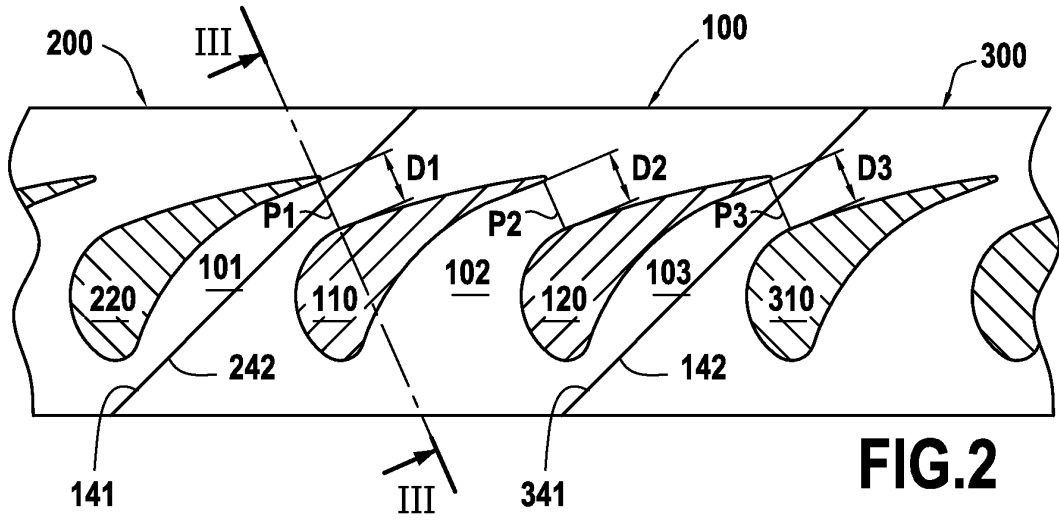
40

45

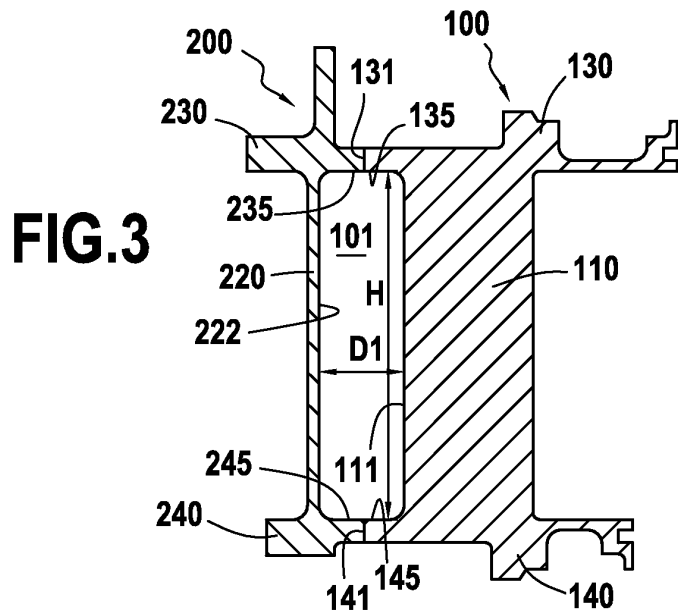
50

55

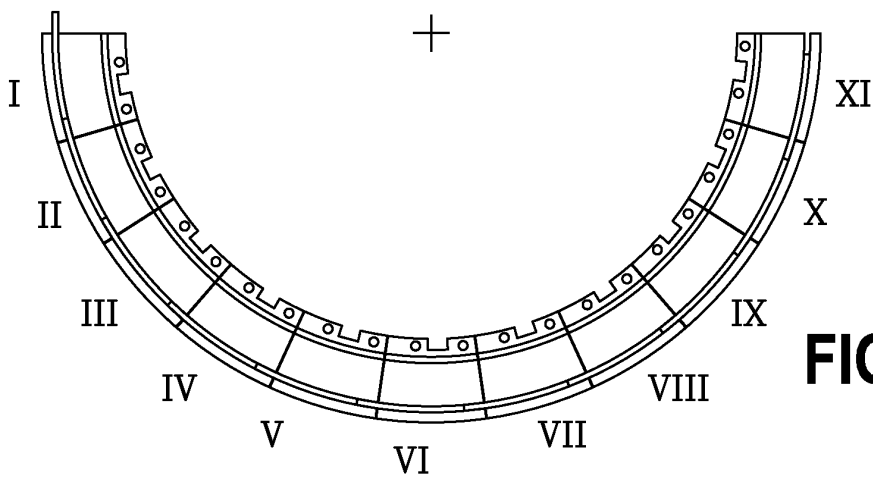




**FIG. 2**



**FIG. 3**



**FIG. 4**

**RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION**

*Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.*

**Documents brevets cités dans la description**

- US 6393331 B [0005]
- EP 1113373 A [0006]
- EP 0716219 A [0007]
- EP 1737713 A [0008]
- US 20060013692 A [0009]
- US 6898547 B [0010]