



Europäisches
Patentamt
European
Patent Office
Office européen
des brevets



(11)

EP 2 202 385 A1

(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:
30.06.2010 Bulletin 2010/26

(51) Int Cl.:
F01D 5/14 (2006.01)
F01D 25/06 (2006.01)
F01D 25/24 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: 08172885.9

(22) Date de dépôt: 24.12.2008

(84) Etats contractants désignés:
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MT NL NO PL PT
RO SE SI SK TR**
Etats d'extension désignés:
AL BA MK RS

(71) Demandeur: **Techspace Aero S.A.
4041 Herstal (Milmort) (BE)**

(72) Inventeur: **Hiernaux, Stéphane
4300 Waremme (BE)**

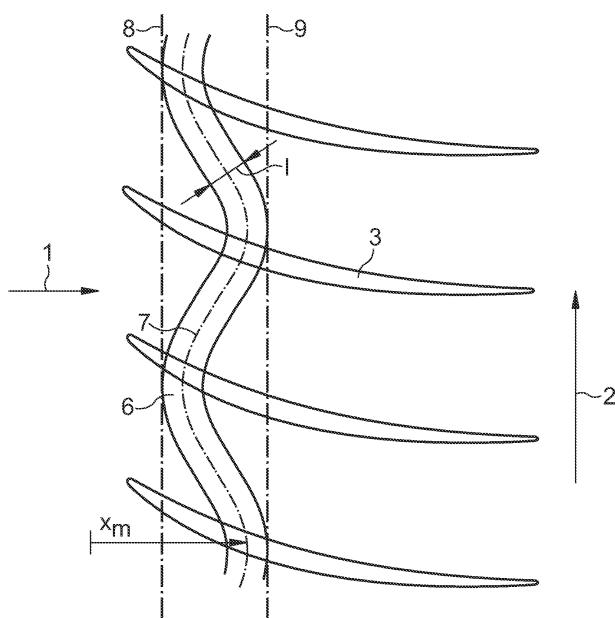
(74) Mandataire: **Lecomte, Didier
Lecomte & Partners Sàrl
B.P. 1623
1016 Luxembourg (LU)**

(54) Traitement de carter de compresseur de turbomachine consistant en une rainure circulaire décrivant une ondulation en vue de contrôler les tourbillons de tête d'aubes

(57) L'invention a trait à un traitement de carter de turbomachine, en particulier de compresseur de turbomachine. Le traitement consiste à réaliser une rainure (6) de forme généralement circulaire sur la surface interne du carter en regard de la partie avant des têtes d'aubes (3). Cette rainure décrit des ondulations le long de son profil de sorte à créer une fuite entre l'intrados et l'extrados des aubes (3) en vue de contrôler et de réduire les tourbillons naissant à la tête d'aube. Cette rainure crée un volume de fuite où le tourbillon naissant peut circuler

et s'affaiblir. Elle crée parallèlement une fuite intermittente à une position axiale donnée de la tête des aubes générant ainsi un jet pulsé contrecarrant ou influençant le tourbillon. Les jets pulsés peuvent de plus induire une force non stationnaire sur la tête d'aube permettant d'amortir les oscillations de certains modes des aubes. Le profil de la rainure est généralement sinusoïdal. Il peut également contenir davantage de contenu fréquentiel. La réalisation de la rainure se fait par usinage où l'outil de coupe se déplace selon l'axe de la machine en vue de décrire le profil ondulatoire.

FIG 2



Description**Domaine technique**

5 [0001] L'invention a trait à un traitement de carter de stator de turbomachine visant à réduire et/ou à contrôler les tourbillons de tête d'aubes d'une roue mobile. Plus particulièrement l'invention a trait à un carter de stator de compresseur de turbomachine, à un compresseur de turbomachine et à un procédé de réduction et/ou de contrôle du tourbillon de tête d'aubes d'une roue mobile de compresseur de turbomachine

10 **Etat de la technique**

15 [0002] Lors du fonctionnement d'une turbomachine, typiquement un compresseur comprenant au moins une roue mobile munie d'aubes et tournant dans un carter formant l'enveloppe extérieure de la veine fluide (liquide ou gazeux) à déplacer et à comprimer, un tourbillon en tête d'aube prend naissance et peut influencer négativement l'écoulement de fluide le long des aubes. Ce phénomène est illustré à la figure 1. Le tourbillon de tête 4' trouve son origine dans la différence de pression entre l'intrados et l'extrados de l'aube 3' en mouvement. La direction générale de l'écoulement est indiquée par la flèche 1' et la direction de déplacement des aubes est indiquée par la flèche 2'. En raison du jeu mécanique nécessaire entre la tête de l'aube et le carter, cette différence de pression donne naissance à un tourbillon 4' dont l'axe principal 5' est essentiellement parallèle à la surface du carter et orienté essentiellement selon la tangente au profil de l'aube 3' à l'endroit du profil où il prend naissance. Ce tourbillon se propage du côté extrados de l'aube 3' où il a pris naissance et crée une zone morte bloquant une partie de l'écoulement entre les deux aubes voisines. Ce blocage est susceptible de générer un écoulement de retour depuis l'aval du compresseur vers l'amont de celui-ci. L'écoulement peut devenir pulsé et faire vibrer les aubes. Il s'agit d'un phénomène dénommé pompage où les aubes sont soumises à des contraintes vibratoires importantes.

20 [0003] Il est connu de l'état de l'art de prévoir différents types de traitements de carter de compresseur en vue de contrôler l'influence du tourbillon de tête sur l'écoulement de fluide et les performances du compresseur.

25 [0004] Le document US 6 582 189 B2 divulgue divers traitements de carter consistant essentiellement à réaliser des rainures soit parallèles à l'axe de rotation de la roue mobile, soit perpendiculaires à l'axe en question, ou encore une combinaison des deux. Typiquement, ce document prévoit la présence d'une section de rainure circulaire en intersection avec une série de rainures parallèles à l'axe de la machine et s'étendant depuis une zone en amont des aubes jusqu'à une zone en regard de la partie avant des têtes d'aubes, la section de rainure circulaire étant en regard de la partie avant des têtes d'aubes de la roue mobile. En alternative, ce document prévoit la présence de rainures identiques parallèles à l'axe de la machine et dont les extrémités avales sont incurvées dans le sens de déplacement des aubes par rapport à la surface du carter. Ces différents designs sont supposés réduire l'importante d'un tel tourbillon et son impact sur le rendement de la machine.

30 [0005] Il est également connu du document EP 1 961 920 A1 de prévoir un traitement de carter où des rainures formant des contours fermés sont pratiquées en regard des têtes d'aubes d'une roue mobile. Ces contours fermés couvrent typiquement chacun deux à trois aubes, c'est-à-dire que la largeur du contour selon la direction de rotation correspond à 1,5 à 2,5 pas d'aubes de la roue mobile.

35 [0006] Il est également connu du document JP 58-113504 de prévoir dans la surface du carter en regard des têtes d'aube d'une turbine une série de rainures droites ou incurvées parallèles.

40 [0007] Dans ces enseignements, les réseaux de rainures pratiquées ont pour objectif de former un volume où le tourbillon naissant pourra circuler et se dissiper au moins partiellement. La présence d'une série de rainures distribuées de façon régulière sur le pourtour de la surface interne du carter selon ces différents enseignements permet certes une action non stationnaire sur les phénomènes de tourbillons en tête d'aube mais ces différents traitements impliquent une mise en oeuvre assez lourde d'un point de vue usinage.

Exposé de l'invention

50 [0008] L'invention a pour objectif d'améliorer la réduction et/ou le contrôle des tourbillons de tête d'aubes d'une roue mobile de turbomachine et de simplifier la mise en oeuvre du traitement correspondant.

55 [0009] L'invention consiste en un carter de stator de turbomachine, comprenant une surface interne essentiellement symétrique en révolution autour de l'axe de la machine, le carter étant destiné à recevoir un rotor muni d'au moins une rangée d'aubes dont les extrémités décrivent un mouvement circulaire à proximité de la surface interne du carter lors de la rotation du rotor, la surface interne du carter comportant au moins une rainure circulaire en regard de la partie avant de la tête de la rangée d'aubes, la rainure étant destinée à réduire et/ou à contrôler le tourbillon de tête des aubes ; où la rainure décrit une ondulation le long de sa direction circulaire.

[0010] Ce profil de rainure procure l'avantage de créer une fuite continue entre la tête d'aube et le carter ainsi qu'une

fuite intermittente à une position déterminée de la tête d'aube. Ces deux types de fuite permettent à un seul traitement de carter très simple à mettre en oeuvre de contrôler les tourbillons de tête d'aube par la combinaison d'un volume de recirculation et la génération de jets pulsés.

[0011] Préférentiellement la rainure décrit une boucle sans fin.

5 [0012] Préférentiellement l'ondulation de la rainure est dans le plan de la surface interne.

[0013] Préférentiellement la ligne médiane de la rainure décrit une sinusoïde.

[0014] Préférentiellement l'amplitude de la ligne médiane de la rainure selon l'axe de la machine ou un axe contenu dans le plan de la surface interne au niveau de la rainure et orienté selon l'écoulement du fluide est régie par la loi

10

$$x_m(\theta) = x_{m0} + \sum_{i=1}^n A_i \cdot \sin(\omega_i \cdot \theta)$$

15

où

$x_m(\theta)$ est l'amplitude de la ligne médiane,

x_{m0} est une constante,

θ est la position angulaire dans un plan perpendiculaire à l'axe de la machine,

20 ω_i est la fréquence de la composante du signal par tour de carter,

A_i est le coefficient d'amplitude de la composante du signal,

et n est un entier ≥ 1 .

Préférentiellement $n > 1$.

25

[0015] Préférentiellement la largeur de la rainure est constante.

[0016] Préférentiellement la profondeur de la rainure est constante.

[0017] Préférentiellement le carter comporte une seule rainure par rangée d'aube du stator et la largeur de l'ondulation de la rainure mesurée selon une direction parallèle à l'axe de la machine est égale ou inférieure au tiers de la largeur des aubes correspondantes mesurée selon la même direction.

30

[0018] Préférentiellement la rainure est réalisée par usinage, préférentiellement au moyen d'un outil de fraisage.

[0019] L'invention consiste également en un compresseur de turbomachine comprenant un carter et un rotor tels que l'invention, où l'ondulation de la rainure est en regard d'une partie de la tête d'aube ne dépassant pas la moitié avant, préférentiellement le premier tiers de la longueur des aubes mesurée selon l'axe de la machine ou un axe contenu dans le plan de la surface interne au niveau de la rainure et orienté selon l'écoulement du fluide.

35

[0020] L'invention consiste également en un procédé de réduction et/ou de contrôle du tourbillon de tête d'aube d'une roue mobile de compresseur de turbomachine tournant dans un stator formant carter de la veine fluide, consistant à réaliser une rainure circulaire sur la surface intérieure du carter en regard de la partie avant de la tête des aubes de la roue mobile ; où la rainure est réalisée de sorte qu'elle décrive une ondulation le long de sa trajectoire circulaire.

40

[0021] Préférentiellement la rainure décrit une boucle sans fin.

[0022] Préférentiellement la rainure est réalisée par usinage où l'outil d'usinage se déplace par rapport au carter selon l'axe de la machine le long de la trajectoire de la rainure durant l'usinage.

Description sommaire des figures

45

[0023]

La figure 1 est une vue schématique correspondant au rabattement dans le plan de la feuille des aubes d'une roue mobile d'une turbomachine selon l'état de la technique.

50

La figure 2 est une vue schématique correspondant au rabattement dans le plan de la feuille des aubes d'une roue mobile d'une turbomachine et illustrant le traitement de carter selon l'invention.

Meilleure manière de réaliser l'invention

55

[0024] La figure 2 illustre une vue en élévation des aubes d'une roue mobile, la surface extérieure de la roue étant rabattue dans le plan de la feuille. La direction générale de l'écoulement est indiquée par la flèche 1. La direction de déplacement des aubes 3 est illustrée par la flèche 2. Le traitement de carter consiste en une rainure 6 continue sur le

pourtour de la surface interne du carter de la turbomachine. Cette rainure forme une boucle sans fin et décrit des ondulations le long de son profil. La ligne médiane de la rainure décrit des ondulations le long de la surface interne du carter de sorte à ce que la rainure évolue en regard de la partie avant des têtes d'aubes 3. La rainure est de largeur et profondeur approximativement constante. L'ondulation décrite est une sinusoïde dont la période correspond à deux fois le pas d'aube, c'est-à-dire la distance entre deux aubes voisines. La ligne médiane 7 de la rainure 6 ainsi que ses bords amont et aval décrivent le long de la surface interne du carter une trajectoire sinusoïdale. Le plan médian du profil est perpendiculaire à l'axe de rotation de la roue mobile. Le profil de la rainure évolue dans une bande annulaire dont le bord amont 8 est à distance du bord d'attaque des aubes 3 et le bord aval 9 est à une distance du bord d'attaque correspondant à un tiers environ de la longueur de l'aube.

[0025] La trajectoire ou le profil ondulé de la ligne médiane de la rainure a pour avantage de générer en plus de son effet stationnaire un effet non stationnaire similairement à celui des rainures répétées de l'état de l'art tout en étant beaucoup plus simple à mettre en oeuvre. En effet, le volume continu formé par la rainure crée une fuite permanente entre l'intrados et l'extrados de la tête d'aube et permet ainsi une stabilisation du tourbillon de tête de manière stationnaire, c'est-à-dire de manière constante le long de la périphérie de la surface interne du carter. De plus, le fait que la rainure couvre plusieurs positions axiales permet de créer une fuite intermittente entre l'intrados et l'extrados de la tête d'aube pour une position de la tête donnée. Cette fuite intermittente induit un jet pulsé qui réduit l'incidence de l'écoulement sur la tête d'aube. En fonction de la période de l'ondulation et en fonction de la vitesse de rotation de la roue mobile, les jets pulsés générés peuvent induire des phénomènes non stationnaires.

[0026] La rainure peut être caractérisée par les paramètres suivants :

- sa profondeur p ;
- sa largeur l ; et
- la position de sa ligne médiane x_m selon un axe parallèle à l'axe de la machine.

[0027] La profondeur p et la largeur l sont généralement constants mais on pourrait envisager de les faire varier. La profondeur est typiquement de l'ordre du jeu existant entre les têtes d'aubes et la surface interne du carter. En pratique, la profondeur est légèrement supérieure afin de compenser une usure éventuelle résultant de frottement entre les têtes d'aubes et le carter. Ce jeu correspond généralement à environ 1 à 2 % de la hauteur d'aube.

[0028] La position x_m de la ligne médiane est régie par la loi suivante :

$$x_m(\theta) = x_{m0} + \sum_{i=1}^n A_i \cdot \sin(\omega_i \cdot \theta)$$

où x_m est exprimé en fonction de l'angle θ de la position angulaire de la rainure dans un plan perpendiculaire à l'axe de la machine, x_{m0} est une constante, ω_i est un paramètre correspondant à la fréquence du signal par tour de carter, A_i est un coefficient d'amplitude et n est un entier ≥ 1 .

[0029] Lorsque n est égal à 1, la loi définit une sinusoïde pure dont la forme est définie par les deux paramètres suivants : l'amplitude A et la fréquence ω .

[0030] Lorsque n est supérieur à 1, on obtient une forme plus complexe avec cette fois $2n$ paramètres. Ceci augmente le contenu fréquentiel, ce qui permet d'interagir sur plusieurs fréquences fondamentales de l'écoulement (par exemple les fréquences de Crow et de Widnall de stabilité du tourbillon) ou de l'aube (par exemple, les modes de flexion de la tête de l'aube). En pratique n est égal à 2 ou 3 mais des valeurs supérieures sont envisageables.

[0031] En adaptant ces paramètres, en particulier la fréquence de la ou des sinusoïde(s) on peut également induire une force non stationnaire sur la tête des aubes permettant d'amortir les oscillations de certains modes des aubes. Les oscillations auxquelles les aubes sont soumises sont par exemple du type « Flexion » correspondant à une déformation en flexion de l'aube et aussi du type « Stripe » qui est une déformation dite en drapeau de l'aube. Le contenu fréquentiel de la rainure peut donc être sélectionné de sorte à générer des forces contraires certaines oscillations inhérentes à certains régimes de fonctionnement de la machine et particulièrement néfastes pour la durée de vie de l'aube.

[0032] La réalisation du traitement de carter est particulièrement aisée. Elle nécessite l'usinage de la rainure au moyen d'une machine d'usinage où l'outil de coupe est déplacé par rapport au carter ou inversément, selon le profil désiré. En pratique, le carter est déplacé en rotation par rapport à l'outil de coupe qui lui est déplacé uniquement selon l'axe de la turbomachine. C'est le déplacement axial de l'outil de coupe synchronisé avec le déplacement rotationnel du carter qui définit les ondulations de la rainure.

[0033] Bien qu'une seule rainure soit représentée à la figure 2, il est tout-à-fait envisageable de prévoir deux rainures ou plus encore.

Revendications

1. Carter de stator de turbomachine, comprenant une surface interne essentiellement symétrique en révolution autour de l'axe de la machine, le carter étant destiné à recevoir un rotor muni d'au moins une rangée d'aubes (3) dont les extrémités décrivent un mouvement circulaire à proximité de la surface interne du carter lors de la rotation du rotor, la surface interne du carter comportant au moins une rainure (6) circulaire en regard de la partie avant de la tête de la rangée d'aubes (3), la rainure (6) étant destinée à réduire et/ou à contrôler le tourbillon de tête des aubes ; **caractérisé en ce que**
 la rainure (6) décrit une ondulation le long de sa direction circulaire.
- 5
2. Carter selon la revendication précédente, **caractérisé en ce que** la rainure (6) décrit une boucle sans fin.
- 10
3. Carter selon la revendication précédente, **caractérisé en ce que** l'ondulation de la rainure (6) est dans le plan de la surface interne.
- 15
4. Carter selon la revendication précédente, **caractérisé en ce que** la ligne médiane (7) de la rainure (6) décrit une sinusoïde.
- 20
5. Carter selon la revendication précédente, **caractérisé en ce que** l'amplitude de la ligne médiane (7) de la rainure (6) selon l'axe de la machine ou un axe contenu dans le plan de la surface interne au niveau de la rainure et orienté selon l'écoulement du fluide est régie par la loi

$$x_m(\theta) = x_{m0} + \sum_{i=1}^n A_i \cdot \sin(\omega_i \cdot \theta)$$

25 où

$x_m(\theta)$ est l'amplitude de la ligne médiane,

x_{m0} est une constante,

θ est la position angulaire dans un plan perpendiculaire à l'axe de la machine,

ω_i est la fréquence de la composante du signal par tour de carter,

A_i est le coefficient d'amplitude de la composante du signal,

et n est un entier ≥ 1 .

- 30
6. Carter selon la revendication précédente, **caractérisé en ce que** $n > 1$.
7. Carter selon la revendication précédente, **caractérisé en ce que** la largeur l de la rainure (6) est constante.
- 40
8. Carter selon la revendication précédente, **caractérisé en ce que** la profondeur p de la rainure (6) est constante.
9. Carter selon la revendication précédente, **caractérisé en ce que** il comporte une seule rainure (6) par rangée d'aube du stator et la largeur de l'ondulation de la rainure mesurée selon une direction parallèle à l'axe de la machine est égale ou inférieure au tiers de la largeur des aubes (3) correspondantes mesurée selon la même direction.
- 45
10. Carter selon la revendication précédente, **caractérisé en ce que** la rainure (6) est réalisée par usinage, préférentiellement au moyen d'un outil de fraisage.
- 50
11. Compresseur de turbomachine comprenant un carter et un rotor selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'ondulation de la rainure (6) est en regard d'une partie de la tête d'aube ne dépassant pas la moitié avant, préférentiellement le premier tiers de la longueur des aubes mesurée selon l'axe de la machine ou un axe contenu dans le plan de la surface interne au niveau de la rainure et orienté selon l'écoulement du fluide (1).
- 55
12. Procédé de réduction et/ou de contrôle du tourbillon de tête d'aubes d'une roue mobile de compresseur de turbomachine tournant dans un stator formant carter de la veine fluide, consistant à réaliser une rainure circulaire (6) sur la surface intérieure du carter en regard de la partie avant de la tête des aubes (3) de la roue mobile, **caractérisé en ce que**

EP 2 202 385 A1

la rainure (6) est réalisée de sorte à ce qu'elle décrive une ondulation le long de sa trajectoire circulaire.

13. Procédé selon la revendication précédente, **caractérisé en ce que** la rainure décrit une boucle sans fin.

5 14. Procédé selon la revendication précédente, **caractérisé en ce que** la rainure est réalisée par usinage où l'outil d'usinage se déplace par rapport au carter selon l'axe de la machine le long de la trajectoire de la rainure durant l'usinage.

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

FIG 1

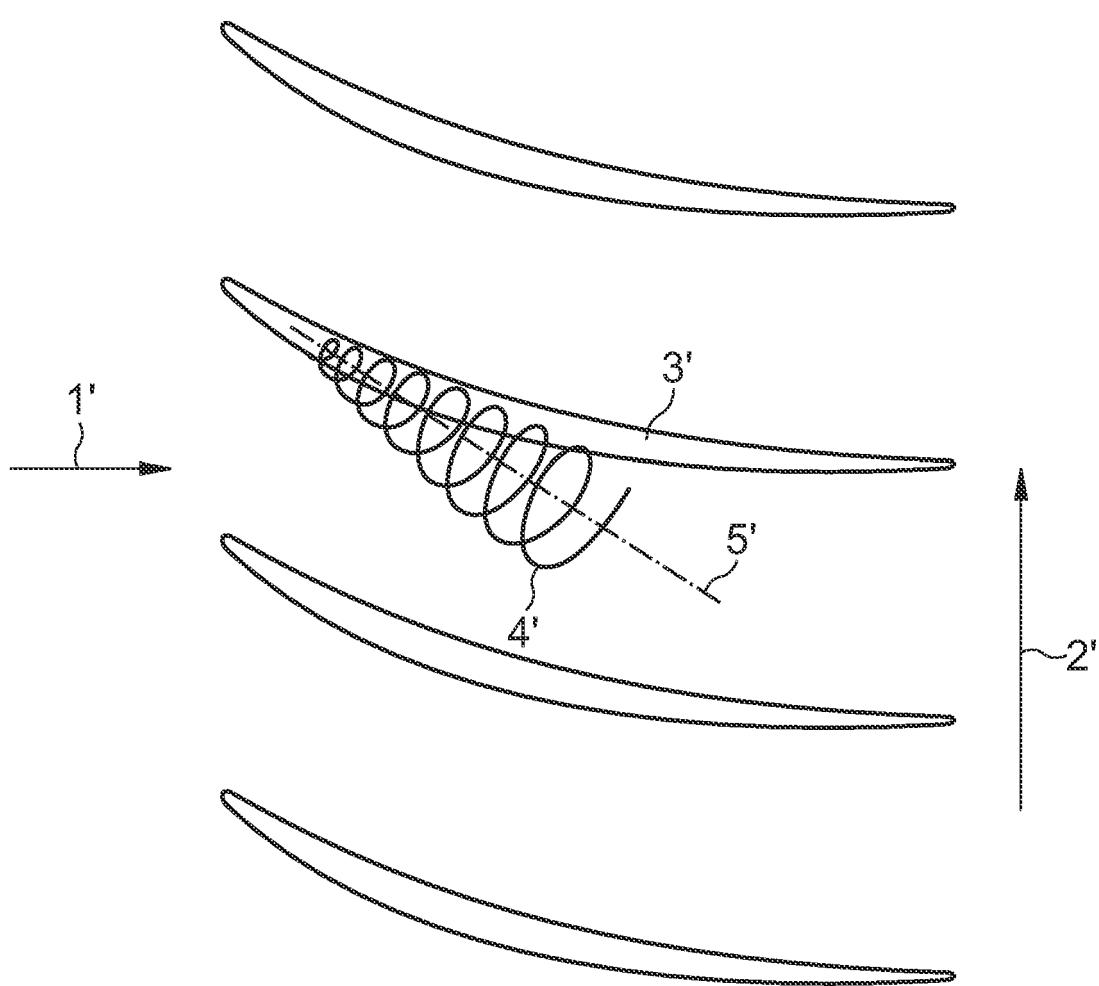
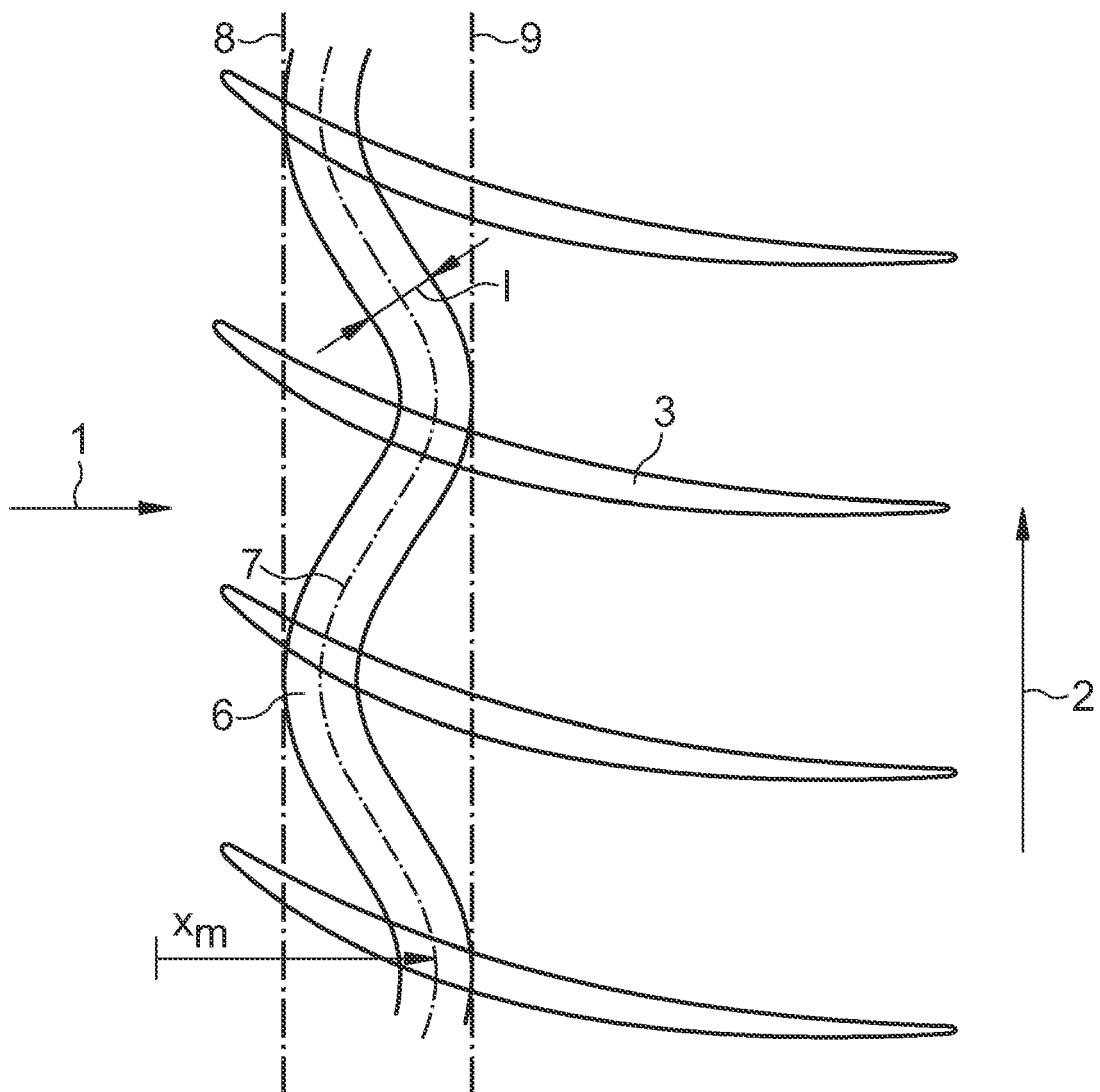


FIG 2





RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande
EP 08 17 2885

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
X	US 2007/160459 A1 (TUDOR DAVID J [GB]) 12 juillet 2007 (2007-07-12) * alinéa [0001] - alinéa [0005] * * alinéa [0025] - alinéa [0027] * * alinéa [0035] * * alinéa [0039]; figures 1-4,6E * -----	1-14	INV. F01D5/14 F01D25/06 F01D25/24
X	US 2005/141990 A1 (GUEMMER VOLKER [DE]) 30 juin 2005 (2005-06-30) * alinéa [0002] - alinéa [0004] * * alinéa [0022] * * alinéa [0053] * * alinéa [0061] * * alinéa [0128] - alinéa [0136]; figures 27,28,30 *	1-9, 11-13	
X	FR 2 832 180 A (SNECMA MOTEURS [FR]) 16 mai 2003 (2003-05-16) * page 1, ligne 5 - ligne 9 * * page 3, ligne 22 - ligne 25 * * page 4, ligne 16 - ligne 23 * * page 5, ligne 24 - ligne 26 * * page 7, ligne 23 - ligne 26; figures 3,7 *	1-11	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
X	FR 2 343 944 A (WESTINGHOUSE ELECTRIC CORP [US]) 7 octobre 1977 (1977-10-07) * page 2, ligne 35 - page 3, ligne 34; figures 2,4 *	1-9	
X	EP 1 715 224 A (SIEMENS AG [DE]) 25 octobre 2006 (2006-10-25) * alinéa [0030] - alinéa [0031]; figure 3 *	1-9	
A	US 6 375 416 B1 (FARRELL KEVIN J [US] ET AL) 23 avril 2002 (2002-04-23) * colonne 3, ligne 56 - colonne 4, ligne 30 *	1,4,5	
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
5	Lieu de la recherche	Date d'achèvement de la recherche	Examinateur
	La Haye	29 juillet 2009	Robelin, Bruno
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	
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			

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.**

EP 08 17 2885

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne visé ci-dessus.

Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

29-07-2009

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication		Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2007160459	A1	12-07-2007	GB	2434179 A	18-07-2007
US 2005141990	A1	30-06-2005	DE EP	10355241 A1 1536147 A2	30-06-2005 01-06-2005
FR 2832180	A	16-05-2003	DE EP US	60217456 T2 1312761 A1 2003175116 A1	08-11-2007 21-05-2003 18-09-2003
FR 2343944	A	07-10-1977	BE CA ES GB IT JP JP JP US	852276 A1 1063139 A1 456194 A1 1535663 A 1076876 B 999732 C 52109065 A 54034108 B 4103905 A	09-09-1977 25-09-1979 01-05-1978 13-12-1978 27-04-1985 30-05-1980 12-09-1977 24-10-1979 01-08-1978
EP 1715224	A	25-10-2006	AUCUN		
US 6375416	B1	23-04-2002	AUCUN		

EPO FORM P0460

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82

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 6582189 B2 **[0004]**
- EP 1961920 A1 **[0005]**
- JP 58113504 A **[0006]**