



(11)

EP 2 780 551 B1

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:
01.06.2016 Bulletin 2016/22

(51) Int Cl.:
F01D 5/20 (2006.01) **F01D 5/18** (2006.01)
F01D 5/14 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **12795525.0**

(86) Numéro de dépôt international:
PCT/FR2012/052604

(22) Date de dépôt: **13.11.2012**

(87) Numéro de publication internationale:
WO 2013/072610 (23.05.2013 Gazette 2013/21)

(54) **AUBE DE TURBINE À GAZ À DÉCALAGE VERS L'INTRADOS DES SECTIONS DE TÊTE ET À CANAUX DE REFROIDISSEMENT**

GASTURBINENSCHAUFEL MIT ZUR DRUCKSEITE GENEIGTEM KOPF UND MIT KÜHLKANÄLEN
GAS TURBINE BLADE WITH TIP SECTIONS ANGLED TOWARDS THE PRESSURE SURFACE AND
WITH COOLING CHANNELS

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

(30) Priorité: **17.11.2011 FR 1160465**

(43) Date de publication de la demande:
24.09.2014 Bulletin 2014/39

(73) Titulaire: **SNECMA
75015 Paris (FR)**

(72) Inventeurs:
• **GROHENS, Régis**
F-77550 Moissy-Cramayel Cedex (FR)
• **BOTREL, Erwan, Daniel**
F-77550 Moissy-Cramayel Cedex (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-A2- 1 762 702 US-A1- 2004 013 515
US-A1- 2004 126 236 US-A1- 2010 135 813

EP 2 780 551 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] Le domaine de la présente invention concerne les aubes creuses, notamment des aubes de turbines à gaz, et plus particulièrement des aubes mobiles de turbomachine, et tout particulièrement des aubes mobiles pour une turbine haute pression.

[0002] De façon connue en soi, une aube comporte notamment une pale s'étendant selon une direction longitudinale, un pied et une tête opposée au pied. Dans le cas d'une aube mobile de turbine, l'aube est fixée sur le disque d'un rotor de turbine par l'intermédiaire de son pied. La tête de l'aube est située en regard de la face interne du carter annulaire fixe entourant la turbine. La direction longitudinale de la pale correspond à la direction radiale du rotor ou de la turbomachine, et ce par rapport à l'axe de rotation du rotor.

[0003] La pale peut être décomposée en section de pales qui sont empilées selon une direction d'empilement qui est radiale par rapport à l'axe de rotation du disque de rotor. Les sections d'aubes forment ainsi une surface aérodynamique qui est directement soumise aux gaz traversant la turbine. Cette surface aérodynamique s'étend, d'amont en aval selon le sens d'écoulement du fluide, entre un bord d'attaque et un bord de fuite, ces bords étant reliés entre eux par une face intrados appelée l'intrados et une face extrados appelée l'extrados.

[0004] La turbine munie de telles aubes mobiles est traversée par un écoulement gazeux. La surface aérodynamique de ses aubes doit être utilisée pour transformer le maximum d'énergie cinétique provenant l'écoulement gazeux en énergie mécanique transmise à l'arbre de rotation du rotor de la turbine.

[0005] Or, comme tout obstacle présent à l'écoulement des gaz, la pale de l'aube génère des pertes d'énergie cinétique et qu'il convient de minimiser. En particulier, il est connu qu'une part non négligeable de ces pertes (entre 20 % et 30 % des pertes globales) est imputable à la présence d'un jeu radial fonctionnel entre la tête de chaque aube et la surface interne du carter entourant la turbine. En effet, ce jeu radial génère un débit gazeux de fuite s'écoulant de l'intrados (zone à pression plus élevée) vers l'extrados (zone à pression plus faible) de l'aube. Ce débit de fuite représente un débit gazeux non travaillant et ne participe pas à la détente dans la turbine. En outre, il est à l'origine du développement d'un tourbillon en tête de l'aube (appelé tourbillon de jeu) qui génère des pertes d'énergie cinétique importante.

[0006] Pour résoudre ce problème, il est connu de modifier l'empilement des sections de l'aube au niveau de la tête de l'aube, afin de réaliser un décalage de leur empilement en direction de la face intrados, ce décalage étant de préférence progressif et allant en s'accroissant au fur et à mesure que la section est proche de l'extrémité libre de la tête.

[0007] Ce type d'aubes est appelé aubes avec « sommet d'aube avancé » ou encore « décalage des coupes en tête ».

[0008] Par ailleurs, les aubes de turbine, et en particulier les aubes mobiles de turbine haute pression, sont soumises à des niveaux importants de température de gaz externes issus de la chambre de combustion. Ces niveaux dépassent les températures admissibles du matériau de l'aube, ce qui conduit à devoir les refroidir. Les niveaux de température des moteurs récents en conception étant toujours en hausse afin d'améliorer la performance d'ensemble, il devient nécessaire de mettre en place des systèmes innovants de refroidissement des aubes de turbine haute pression afin de garantir une durée de vie acceptable de ces pièces.

[0009] L'endroit le plus chaud d'une aube mobile étant sa tête, les systèmes de refroidissement visent en premier lieu à refroidir le sommet de l'aube.

[0010] De nombreuses techniques différentes de refroidissement de la tête de l'aube ont déjà été proposées, on peut citer notamment celles décrites dans EP 1 505 258, FR 2 891 003, EP 1 726 783 et US 2010/0 135 813.

[0011] En conséquence, on comprend que la géométrie particulière engendrée par la technique de « décalage de coupes en tête » vient perturber la mise en oeuvre et l'efficacité des systèmes classiques de refroidissement dans la zone de la tête de l'aube.

[0012] Or, le sommet d'aube étant systématiquement l'endroit le plus chaud d'une aube mobile, la coexistence de la technique de « décalage de coupes en tête » et d'un système de refroidissement qui reste efficace devient primordiale pour permettre de conserver une durée de vie suffisante de la pièce dans cette zone en cas de conditions thermiques amont élevées.

[0013] Il s'avère que ces solutions ne sont pas compatibles avec la technique de « décalage de coupes en tête ».

[0014] La présente invention a donc pour objectif de proposer une structure d'aube qui permette de conserver une efficacité élevée du système de refroidissement en sommet d'aube dans le cas d'un sommet d'aube avancé du type « décalage des coupes en tête ».

[0015] A cet effet, la présente invention concerne une aube creuse selon la revendication 1 comportant une pale s'étendant selon une direction longitudinale, un pied et une tête, un passage de refroidissement interne dans la pale, une cavité (ou baignoire) située dans la tête, ouverte en direction de l'extrémité libre de l'aube et délimitée par une paroi de fond et un rebord, ledit rebord s'étendant entre le bord d'attaque et le bord de fuite et comprenant un rebord d'extrados le long de l'extrados et un rebord d'intrados le long de l'intrados, et des canaux de refroidissement reliant ledit passage de refroidissement interne et l'intrados, lesdits canaux de refroidissement étant inclinés par rapport à l'intrados, l'empilement des sections de pale de l'aube au niveau du rebord de la tête de l'aube présentant un décalage en direction de l'intrados, ce décalage étant de plus en plus important en se rapprochant de l'extrémité libre de la tête de l'aube.

[0016] Cette aube creuse est caractérisée en ce que la paroi d'intrados de la pale présente une portion en

saillie dont plus de la moitié de la longueur s'étend le long d'une portion longitudinale du passage de refroidissement interne, et dont la face extérieure est inclinée par rapport au reste de l'intrados de la pale et présente à son extrémité tournée vers la cavité une face terminale, la paroi de fond étant reliée à la paroi d'intrados à l'emplacement de ladite extrémité de ladite portion en saillie et lesdits canaux de refroidissement étant disposés dans ladite portion en saillie de sorte qu'ils débouchent sur la face terminale de ladite portion en saillie, ce par quoi la distance d entre l'axe des canaux de refroidissement et la limite extérieure de l'extrémité libre du rebord d'intrados est supérieure ou égale à une valeur minimale d1 non nulle. Cette valeur d1 correspond ainsi à une valeur seuil prédéterminée selon le type d'aube et les conditions opératoires du perçage.

[0017] Globalement, grâce à la solution selon la présente invention, on crée un décalage vers l'intrados de la position de la portion de la paroi d'intrados portant les canaux de refroidissement et ce afin de permettre aux outils de perçage d'accéder à l'emplacement adéquat, tout en ne dégradant pas, voire en améliorant les performances de refroidissement.

[0018] Cette solution présente aussi l'avantage supplémentaire, de permettre, en outre, une amélioration du refroidissement de la portion de la paroi d'intrados portant les canaux de refroidissement par pompage thermique et un meilleur refroidissement par film du rebord d'intrados de la cavité (ou baignoire).

[0019] La présente invention porte également sur un rotor de turbomachine, une turbine de turbomachine et une turbomachine comprenant au moins une aube telle que définie dans le présent texte.

[0020] D'autres avantages et caractéristiques de l'invention ressortiront à la lecture de la description suivante faite à titre d'exemple et en référence aux dessins annexés dans lesquels :

- la figure 1 montre une vue en perspective d'une aube de rotor creuse pour turbine à gaz conventionnelle,
- la figure 2 montre en perspective, de manière agrandie, l'extrémité libre de l'aube de la figure 1,
- la figure 3 est une vue analogue à celle de la figure 2, après que le bord de fuite de l'aube ait été retiré par une coupe longitudinale,
- la figure 4 est une vue partielle en coupe longitudinale selon la direction IV-IV de la figure 3,
- les figures 5 à 7 représentent des vues similaires à celle de la figure 4, pour des aubes intégrant la technique de « décalage de coupes en tête »,
- les figures 8 et 9 représentent la solution selon la présente invention, et
- les figures 10 et 11 sont des vues similaires à celle de la figure 8 pour une première variante de réalisation et une deuxième variante de réalisation.

[0021] Dans la présente demande, sauf précision contraire, l'amont et l'aval sont définis par rapport au sens

d'écoulement normal du gaz (de l'amont vers l'aval) à travers la turbomachine. Par ailleurs, on appelle axe de la turbomachine, l'axe X-X' de symétrie radiale de la turbomachine. La direction axiale correspond à la direction de l'axe de la turbomachine, et une direction radiale est une direction perpendiculaire à cet axe et passant par lui. De même, un plan axial est un plan contenant l'axe de la turbomachine et un plan radial est un plan perpendiculaire à cet axe et passant par lui. La direction transversale (ou circonférentielle) est une direction perpendiculaire à l'axe de la turbomachine et ne passant pas par lui. Sauf précision contraire, les adjectifs (et adverbes) axial, radial, et transversal (axialement, radialement et transversalement) sont utilisés en référence aux directions axiale, radiale et transversale précitées. Enfin, sauf précision contraire, les adjectifs interne et externe sont utilisés en référence à une direction radiale de sorte que la partie ou la face interne (i.e. radialement interne) d'un élément est plus proche de l'axe de la turbomachine que la partie ou la face externe (i.e. radialement externe) du même élément.

[0022] Sur la figure 1 est visible, en perspective, un exemple d'une aube 10 de rotor creuse conventionnelle pour une turbine à gaz. De l'air de refroidissement (non représenté) s'écoule à l'intérieur de l'aube depuis le bas du pied 12 de l'aube dans pale 13, le long de la direction longitudinale R-R' de la pale 13 (direction verticale sur la figure et direction radiale par rapport à l'axe X-X' de rotation du rotor), vers la tête 14 de l'aube (en haut sur la figure 1), puis cet air de refroidissement s'échappe par une sortie pour rejoindre le flux de gaz principal.

[0023] En particulier, cet air de refroidissement circule dans un passage de refroidissement interne situé à l'intérieur de l'aube et qui aboutit à la tête 14 de l'aube au niveau de perçages débouchants 15.

[0024] Le corps de l'aube est profilé de sorte qu'il définit une paroi d'intrados 16 (à gauche sur toutes les figures) et une paroi d'extrados 18 (à droite sur toutes les figures).

[0025] La paroi d'intrados 16 présente une forme générale concave et se présente la première face au flux de gaz chauds, c'est-à-dire du côté pression des gaz, par sa face extérieure, tournée en amont, appelée face d'intrados ou plus simplement intrados 16a.

[0026] La paroi d'extrados 18 est convexe et se présente par la suite au flux de gaz chauds, c'est-à-dire du côté aspiration des gaz, le long de sa face extérieure, tournée en aval, appelée face d'extrados ou plus simplement extrados 18a.

[0027] Les parois d'intrados 16 et d'extrados 18 se rejoignent à l'emplacement du bord d'attaque 20 et à l'emplacement du bord de fuite 22 qui s'étendent radialement entre la tête 14 de l'aube et le haut du pied 12 de l'aube.

[0028] Comme il ressort des vues agrandies des figures 2 à 4, au niveau de la tête 14 de l'aube, le passage de refroidissement interne 24 est délimité par la face intérieure 26a d'une paroi de fond 26 qui s'étend sur toute la tête 14 de l'aube, entre la paroi d'intrados 16 et la paroi d'extrados 18, donc depuis le bord d'attaque 20 jusqu'au

bord de fuite 22.

[0029] Au niveau de la tête 14 de l'aube, les parois d'intrados et d'extrados 16, 18 forment le rebord 28 d'une cavité ouverte 30 dans la direction opposée au passage de refroidissement interne 24, soit radialement vers l'extérieur (vers le haut sur toutes les figures). Plus précisément, le rebord 28 est constitué du rebord d'intrados 281 du côté de la paroi d'intrados 16 et du rebord d'extrados 282 du côté de la paroi d'extrados 18.

[0030] Comme il apparaît sur les figures, cette cavité ouverte 30 est donc délimitée latéralement par la face interne de ce rebord 28 et en partie basse par la face extérieure 26b de la paroi de fond 26.

[0031] Le rebord 28 forme donc une paroi mince le long du profil de l'aube qui protège l'extrémité libre de la tête 14 de l'aube 10 du contact avec la surface annulaire interne correspondante du carter de turbine 50 (voir la figure 4).

[0032] Comme on peut le voir plus précisément sur la vue en coupe de la figure 4, qui illustre la technologie connue de refroidissement dite par « perçages sous-baignoire », des canaux de refroidissement 32 inclinés traversent la paroi d'intrados 16 pour relier le passage de refroidissement interne 24 à la face-extérieure de la paroi d'intrados 16, à savoir l'intrados 16a.

[0033] Ces canaux de refroidissement 32 sont inclinés de façon à ce qu'ils débouchent en direction du sommet 28a du rebord afin de le refroidir, au moyen d'un jet d'air qui se dirige vers le sommet 28a du rebord 28 le long de la paroi d'intrados 16.

[0034] L'efficacité du refroidissement résultant de ces canaux de refroidissement 32 est principalement reliée à deux paramètres géométriques de ces canaux de refroidissement 32 (voir figure 4) :

- l'étendue radiale totale D des canaux de refroidissement 32, comprise entre les deux rayons R1 et R2 (respectivement la hauteur de l'ouverture d'entrée 32b et de l'ouverture de sortie 32a des canaux de refroidissement 32 sur l'intrados 16) : plus cette étendue radiale D est importante, plus le phénomène de refroidissement par pompage thermique concernera une partie importante de l'aube le long de l'axe R-R', et
- la hauteur de l'ouverture de sortie 32a des canaux de refroidissement 32 sur l'intrados 16 sous la forme du rayon R2 dit « rayon de débouchage » : plus ce rayon R2 est élevé, plus le film d'air de refroidissement externe est efficace jusqu'au sommet de la baignoire, à savoir le sommet 28a du rebord d'intrados 281.

[0035] Enfin, la faisabilité industrielle de la réalisation des canaux de refroidissement 32 (généralement réalisés en perçage EDM pour « *Electron Discharge Machining* » ou électroérosion) impose d'avoir un angle α -suffisant entre l'axe des canaux de refroidissement 32 et la face extérieure 281a du rebord d'intrados 281 afin

de pouvoir disposer d'un dégagement suffisant pour permettre le passage de la buse EDM.

[0036] On constate que si l'on utilise la même configuration géométrique que le canal de refroidissement 32 de la figure 4, pour une aube 10' comportant en outre un « décalage des coupes en tête » (figure 5), le dégagement de l'axe du canal de refroidissement 32 (angle α) n'est alors plus suffisant. Dans ce cas, l'axe du canal de refroidissement 32 vient interférer avec le rebord d'intrados 281', soit en étant trop près de lui soit en le croisant comme illustré sur la figure 5. La réalisation par perçage de ce canal de refroidissement 32 n'est donc plus possible.

[0037] Sur la figure 5, l'aube 10' qui comporte un « décalage des coupes en tête » porte les mêmes signes de référence que ceux de l'aube des figures 1 à 4, agrémentés d'un prime (« ' ») pour les parties modifiées. En l'occurrence, les différences portent uniquement sur la forme du rebord 28' qui n'est plus parallèle à la direction longitudinale R-R' ou direction radiale de l'aube 10'.

[0038] On considère les sections S de pale comme correspondant au contour de la coupe de la pale selon un plan de coupe orthogonal à la direction longitudinale R-R' ou direction radiale de l'aube. Pour l'aube 10, toutes les sections de pale S sont empilées selon une direction d'empilement parallèle à la direction longitudinale R-R' ou direction radiale de l'aube, en étant superposées entre elles (voir figure 4).

[0039] Pour l'aube 10' de la figure 5, les sections de pale S de la portion de pale comprenant le passage de refroidissement interne 24 et la paroi de fond 26 sont également empilées selon la direction radiale de l'aube ; cependant, les sections de pale S1, S2, S3 et S4 du rebord 28' (sections de tête) sont empilées avec un décalage de leur empilement vers l'intrados 16a, qui est progressif et va en s'accroissant au fur et à mesure que la section est proche du sommet 28a' (dans l'ordre S1, S2, S3 et S4 sur la figure 5).

[0040] On appelle A la limite extérieure de l'extrémité libre du rebord d'intrados 281', ci-après désignée par extrémité A du rebord d'intrados 281'.

[0041] Par ailleurs, le rebord 28' illustré comporte en outre un élargissement 283' du rebord d'intrados 281' à l'emplacement de la limite extérieure A de l'extrémité libre dudit rebord d'intrados 281', à savoir à l'emplacement de la bordure intrados du sommet 28a'.

[0042] Cet élargissement 283' est présent sur un certain nombre de sections empilées (S3 et S4) sur la figure 5 et forme, en coupe une forme de pointe d'extrémité A et qui est traversée par l'axe du canal de refroidissement 32. Cette forme de pointe qui peut apparaître lors de l'usinage de l'aube 10 doit être considérée comme non impérative et optionnelle.

[0043] Pour pallier à ce problème et rendre compatibles entre eux un décalage des coupes en tête et un perçage sous-baignoire, il est naturel de modifier la géométrie de ce dernier et donc de dégrader l'efficacité thermique de celui-ci) :

- une première solution visible sur la figure 6, avec les canaux de refroidissement 32' qui peuvent être percés aisément, consiste à diminuer la hauteur de débouchage R2 à la valeur R2' sans modifier l'étendue radiale totale D (la hauteur R1 de l'entrée des canaux de refroidissement est abaissée à la valeur R1'): dans ce cas, en diminuant le rayon R2 et en abaissant la position de la sortie des canaux de refroidissement, on ne permet plus un refroidissement satisfaisant de la tête de l'aube formée du rebord 28',
- une deuxième solution visible sur la figure 7, avec les canaux de refroidissement 32" qui peuvent être percés aisément, consiste à réduire l'étendue radiale totale D à la valeur D" sans modifier la hauteur de débouchage R2: dans ce cas, en augmentant le rayon R1 à la valeur R1", on permet un refroidissement satisfaisant de la tête de l'aube formée du rebord 28' mais le phénomène de refroidissement thermique par pompage est insuffisant car il est effectif seulement sur une faible partie de l'aube le long de l'axe R-R'.

[0044] Pour pallier à ces inconvénients, la présente invention propose la solution présentée sur les figures 8 à 11 et décrite ci-après.

[0045] L'aube 110 comporte un rebord 28' équipé d'un un « décalage des coupes en tête » tel que décrit précédemment en relation avec la figure 5.

[0046] La paroi d'intrados 16 est modifiée dans sa portion intermédiaire, qui est adjacente au rebord d'intrados 281', par le fait que cette portion intermédiaire forme une protrusion en direction de l'intrados 16a.

[0047] Plus précisément, la portion intermédiaire est une portion en saillie 161 par le fait que dans cette portion en saillie, l'intrados 16a n'est pas dirigée selon la direction longitudinale R-R' ou direction radiale, mais est inclinée en s'écartant encore davantage de l'extrados 18a au fur et à mesure que l'on se rapproche du rebord 28' selon la direction longitudinale R-R'.

[0048] Plus de la moitié de la longueur de cette portion en saillie 161 s'étend le long d'une portion longitudinale du passage de refroidissement interne 24 (en l'espèce la portion la plus radialement externe dans la géométrie de la turbomachine).

[0049] Par ce décalage de la paroi d'intrados 16 à l'endroit du perçage, on peut conserver les rayons R2 et R1 de la figure 4 et dégager suffisamment l'axe des canaux de refroidissement 132 de l'extrémité A du rebord d'intrados 281' pour autoriser la réalisation du perçage.

[0050] Cette portion en saillie 161 s'étend sur toute la hauteur des canaux de refroidissement 132, entre les rayons R2 et R1 (avec $R2 > R1$) et se matérialise sur l'intrados 16a par une face extérieure ou face intrados 161a, une face terminale 161b tournée en direction du rebord 28', et une face interne 161c tournée vers le passage de refroidissement interne 24.

[0051] La face intrados 161a de la portion en saillie 161 est inclinée en s'écartant de la direction longitudinale

R-R' au fur et à mesure que l'on se rapproche de la face terminale 161b. De préférence, l'angle d'inclinaison β formé entre la face intrados 161a de la portion en saillie 161 et la direction longitudinale R-R' ou direction radiale est entre 10° et 60° , de préférence entre 20° et 50° , et avantageusement entre 25° et 35° , à savoir proche de 30° .

[0052] Par ailleurs, l'angle α d'inclinaison des canaux de refroidissement 132 par rapport à la direction longitudinale R-R' ou direction radiale est entre 10° et 60° , de préférence entre 20° et 50° , et avantageusement entre 25° et 35° , à savoir proche de 30° .

[0053] Avec cette configuration, on dispose d'une distance minimale d1 non nulle lorsque l'on mesure l'écart d entre la parallèle à la direction longitudinale R-R' passant par l'extrémité A du rebord d'intrados 281' et l'extrémité B ou bord extérieur de la portion en saillie 161 située entre la face intrados 161a et la face terminale 161b. En d'autres termes, l'extrémité B est en retrait par rapport à l'extrémité A.

[0054] De préférence, ladite valeur minimale d1 est supérieure ou égale à 1 mm, voire à 2 mm et dépend du matériel utilisé pour réaliser le perçage des canaux de refroidissement 132.

[0055] De façon caractéristique, lesdits canaux de refroidissement 132 sont disposés dans ladite portion en saillie 161 de sorte qu'ils débouchent sur la face terminale 161b de ladite portion en saillie 161.

[0056] De cette façon, on obtient un flux d'air de refroidissement F1 (voir figure 8) qui est rabattu par l'écoulement des gaz externes chauds dirigés depuis l'intrados 16a vers l'extrados 18a via le jeu existant en sommet d'aube par rapport à la surface annulaire interne correspondante du carter de turbine 50, du fait du gradient de pression positif entre l'intrados 16a et l'extrados 18a.

[0057] Cette géométrie engendre un flux F2 dans une zone de recirculation (zone de coin) qui permet un mélange efficace entre le flux de gaz de refroidissement F1 et les gaz externes chauds quelle que soit la position de l'ouverture de sortie des canaux de refroidissement 132 sur la face terminale 161b de ladite portion en saillie 161.

[0058] Ainsi, l'utilisation d'une portion en saillie 161 selon l'invention permet d'améliorer encore davantage l'efficacité du refroidissement engendré par l'air issu des canaux de refroidissement 132.

[0059] Selon une disposition géométrique préférentielle visible sur les figures 8 à 11, la distance Δ (voir figure 9) entre l'extrémité B de la face terminale 161b de la portion en saillie 161 et le reste de la paroi d'intrados 16 est au minimum égale à la différence entre l'écart E, mesuré entre l'extrémité A du rebord d'intrados 281' et le reste de la paroi d'intrados 16, et ladite distance d entre l'axe des canaux de refroidissement 132 et l'extrémité A du rebord d'intrados 281': cette distance Δ correspond à l'étendue axiale de la face terminale 161b de ladite portion en saillie 161. Ainsi, $\Delta \geq E - d$.

[0060] Afin de ne pas alourdir la structure, l'épaisseur e de la paroi d'intrados 16 de la pale de l'aube 110 est sensiblement constante entre la portion en saillie 161 et

le reste de la paroi d'intrados 16, et est également sensiblement égale à l'épaisseur de la paroi de la zone 161d de la portion en saillie 161 (voir la figure 9) reliée à la paroi de fond, au niveau de et par l'avant de la base du rebord d'intrados 281'.

[0061] On note que les épaisseurs de paroi sont, considérées en prenant la direction orthogonale à la face extérieure de la zone à considérer.

[0062] Cette caractéristique est illustrée sur la figure 9 où l'on retrouve cette épaisseur e en dessous de la portion en saillie 161, à l'emplacement de la portion en saillie 161 le long des canaux de refroidissement 132 et dans la zone 161d située entre la face terminale 161b et le passage de refroidissement interne et reliant la portion en saillie 161 à la paroi de fond 26.

[0063] Pour ne pas pénaliser la robustesse mécanique du pied 12 de l'aube, il faut éviter d'épaissir la paroi d'intrados 16 à l'emplacement de la portion en saillie 161. A cet effet, on creuse la face arrière de la paroi d'extrados à l'emplacement de la portion en saillie 161. Concrètement, la zone à retirer derrière la portion en saillie 161 par rapport au profil classique de la paroi d'intrados 16, visible par les lignes P1 et P2 sur la figure 8, correspond à la zone C de la figure 9.

[0064] Avantageusement, cette conception selon l'invention avec la portion en saillie 161 qui n'engendre pas de surépaisseur peut être obtenue avec un minimum de modification des outillages préexistants : en fonderie, on creuse la boîte à noyau déjà existante d'un volume équivalent de la surface extrudée C (sur toute la largeur de l'intrados) afin de produire des noyaux ayant le profil interne de cavité adéquat pour l'obtention de la portion en saillie 161, et on creuse ce volume sur le moule de cire formant l'enveloppe extérieure de l'aube.

[0065] Dans cette configuration, la face extérieure 161a et la face intérieure 161c de la portion en saillie 161 sont parallèles entre elles.

[0066] De préférence, la face terminale 161b de la portion en saillie 161 est plane.

[0067] Sur les figures 8 et 9, la face terminale 161b de la portion en saillie 161 est horizontale : elle est dirigée de façon orthogonale à la direction longitudinale R-R' de l'aube à l'emplacement où les canaux de refroidissement 132 débouchent dans ladite face terminale 161b.

[0068] Dans le cas illustré, toute la face terminale 161b de la portion en saillie 161 est dirigée de façon orthogonale à la direction longitudinale R-R' de l'aube.

[0069] Selon une première variante visible sur la figure 10, on utilise un chanfrein au niveau de la face terminale 161b, de sorte que la face terminale 161b de la portion en saillie 161 est inclinée en formant un angle γ_1 obtus non nul avec la direction longitudinale R-R' de l'aube à l'emplacement où les canaux de refroidissement 132 débouchent dans ladite face terminale 161b. Dans cet agencement, c'est un angle γ_2 aigu qui est formé entre la face terminale 161b de la portion en saillie 161 et la direction horizontale parallèle à l'axe X-X' de rotation du rotor et orthogonale à la direction longitudinale R-R' de

l'aube. Cet angle γ_2 est de préférence compris entre 10° et 60° , de préférence entre 20° et 50° , et avantageusement entre 25° et 35° , à savoir proche de 30° .

[0070] De cette façon, l'axe des canaux de refroidissement 132 est orthogonal à la face terminale 161b de la portion en saillie 161, à l'emplacement où les canaux de refroidissement 132 débouchent dans ladite face terminale 161b. L'avantage de cette variante est que la forme de l'ouverture de sortie des canaux de refroidissement 132 sur la face terminale 161b est ronde contre une forme plus ovale lorsque la face terminale 161b est horizontale, ce qui permet de mieux contrôler la section de sortie des canaux de refroidissement 132 et donc le débit d'air de refroidissement.

[0071] Sur les figures 8 à 10, la paroi de fond 26 est dirigée de façon orthogonale à la direction longitudinale R-R' de l'aube, ce qui correspond à une configuration classique.

[0072] Par ailleurs, sur ces figures 8 à 10, la face terminale 161b de la portion en saillie 161 est disposée à la hauteur du rayon de débouchage R2 qui est inférieur au rayon R3 correspondant à la face extérieure 26b de la paroi de fond 26 (voir figures 8 et 9) qui est tournée vers la cavité 30. Ainsi, $R_2 < R_3$ permet de garantir un refroidissement efficace de la zone de fond de baignoire (si on avait $R_2 > R_3$, le fond de baignoire ne serait pas impacté par le refroidissement issu du canal de refroidissement 32.)

[0073] Egalement, sur ces figures 8 à 10, la face terminale 161b de la portion en saillie 161 est disposée à la hauteur du rayon de débouchage R2 qui est supérieur au rayon R4 correspondant à la face intérieure 26a de la paroi de fond 26 (voir figures 8 et 9) qui est tournée vers le passage de refroidissement interne 24. Cette situation, avec $R_2 > R_4$ permet de garantir que l'on viendra bien refroidir l'aube 110 au-dessus de la zone non couverte thermiquement par le refroidissement engendré par la cavité 30.

[0074] En conséquence, avoir $R_2 < R_3$ et $R_2 > R_4$ représente le meilleur compromis thermique que l'on peut trouver.

[0075] Sur la deuxième variante de la figure 11, on utilise un fond de baignoire incliné par le fait que ladite paroi de fond 126 est dirigée de façon inclinée en formant un angle δ_1 différent de l'angle droit et non nul avec la direction longitudinale de l'aube R-R'.

[0076] Plus précisément, la face supérieure de ladite paroi de fond 126 forme, à l'emplacement adjacent au rebord d'intrados 281', un angle δ_1 aigu, de préférence compris entre 45° et 89° , de préférence entre 50° et 65° , et avantageusement entre 55° et 65° , à savoir proche de 60° , ce qui correspond à un angle δ_2 aigu entre la face supérieure de ladite paroi de fond 126 et la direction horizontale parallèle à l'axe X-X' de rotation du rotor et orthogonale à la direction longitudinale R-R' de l'aube.

Revendications

1. Aube (110) creuse pour turbine à gaz comportant une pale (13) s'étendant selon une direction longitudinale (R-R'), un pied (12) et une tête (14), un passage de refroidissement interne (24) dans la pale, une cavité (30) située dans la tête, ouverte en direction de l'extrémité libre (14) de l'aube (110) et délimitée par une paroi de fond (26, 126) et un rebord (28'), ledit rebord (28') s'étendant entre le bord d'attaque (20) et le bord de fuite (22) et comprenant un rebord d'extrados (282') le long de l'extrados (18a) et un rebord d'intrados (281') le long de l'intrados (16a), et des canaux de refroidissement (132) reliant ledit passage de refroidissement interne (24) et l'intrados (16), lesdits canaux de refroidissement (32) étant inclinés par rapport à l'intrados (16a), l'empilement des sections de pale (S, S2, S3, S4) de l'aube au niveau du rebord (28') de la tête de l'aube présentant un décalage en direction de l'intrados (16a), ce décalage étant de plus en plus important en se rapprochant de l'extrémité libre de la tête (14) de l'aube (110), **caractérisée en ce que** la paroi d'intrados (16) de la pale présente une portion en saillie (161) dont plus de la moitié de la longueur s'étend le long d'une portion longitudinale du passage de refroidissement interne (24), et dont la face extérieure (161a) est inclinée par rapport au reste de l'intrados (16a) de la pale et présente à son extrémité tournée vers la cavité (30) une face terminale (161b), la paroi de fond (26) étant reliée à la paroi d'intrados (16) à l'emplacement de ladite extrémité de ladite portion en saillie (161) et lesdits canaux de refroidissement (132) étant disposés dans ladite portion en saillie (161) de sorte qu'ils débouchent sur la face terminale (161b) de ladite portion en saillie (161) ce par quoi la distance d entre l'axe des canaux de refroidissement (132) et la limite extérieure A de l'extrémité libre du rebord d'intrados (281') est supérieure ou égale à une valeur minimale d1 non nulle.
2. Aube selon la revendication précédente, **caractérisée en ce que** ladite valeur minimale d1 est supérieure ou égale à 1 mm.
3. Aube (110) selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** la distance (Δ) entre l'extrémité (B) de la face terminale (161b) de la portion en saillie (161) et le reste de la paroi d'intrados (16) est au minimum égale à la différence entre l'écart (E), mesuré entre l'extrémité (A) du rebord d'intrados (281') et le reste de la paroi d'intrados (16), et ladite distance (d) entre l'axe des canaux de refroidissement (132) et l'extrémité (A) du rebord d'intrados (281').
4. Aube (110) selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** l'épaisseur (e) de la paroi d'intrados (16) de la pale est sensiblement constante entre la portion en saillie (161) et le reste de la paroi d'intrados (16).
5. Aube (110) selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** la face extérieure (161a) et la face intérieure (161c) de la portion en saillie (161) sont parallèles entre elles.
6. Aube (110) selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** la face terminale (161b) de la portion en saillie (161) est plane.
7. Aube (110) selon la revendication 6, **caractérisée en ce que** la face terminale (161b) de la portion en saillie (161) est inclinée en formant un angle gamma γ_1 obtus non nul avec la direction longitudinale (R-R') de l'aube à l'emplacement où les canaux de refroidissement (132) débouchent dans ladite face terminale (161b).
8. Aube (110) selon la revendication précédente, **caractérisée en ce que** l'axe des canaux de refroidissement (132) est orthogonal à la face terminale (161b) de la portion en saillie (161), à l'emplacement où les canaux de refroidissement (132) débouchent dans ladite face terminale (161b).
9. Aube (110) selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** ladite paroi de fond (26) est dirigée de façon orthogonale à la direction longitudinale de l'aube.
10. Aube (110) selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, **caractérisée en ce que** ladite paroi de fond (126) est dirigée de façon inclinée en formant un angle (δ_1) différent de l'angle droit et non nul avec la direction longitudinale (R-R') de l'aube (110).
11. Aube (110) selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** les canaux de refroidissement (132) débouchent au voisinage du bord extérieur (B) de la portion en saillie (161).
12. Aube (110) selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** l'angle d'inclinaison (α) des canaux de refroidissement (132) par rapport à la direction longitudinale (R-R') est strictement supérieur à l'angle d'inclinaison (β) formé entre la face intrados (161a) de la portion en saillie (161) et la direction longitudinale (R-R').
13. Rotor de turbomachine comprenant au moins une aube (110) selon l'une quelconque des revendications 1 à 12.

14. Turbine de turbomachine comprenant au moins une aube (110) selon l'une quelconque des revendications 1 à 12.
15. Turbomachine comprenant au moins une aube (110) selon l'une quelconque des revendications 1 à 12.

Patentansprüche

1. Hohle Schaufel (110) für eine Gasturbine, umfassend ein Blatt (13), das sich in einer Längsrichtung (R-R') erstreckt, einen Fuß (12) und einen Kopf (14), einen inneren Kühldurchgang (24) in dem Blatt, einen im Kopf befindlichen Hohlraum (30), der in Richtung des freien Endes (14) der Schaufel (110) offen und durch eine Bodenwand (26, 126) und einen Rand (28') begrenzt ist, wobei der Rand (28') zwischen der Eintrittskante (20) und der Austrittskante (22) verläuft und einen Rückseitenrand (282') entlang der Rückseite (18a) und einen Vorderseitenrand (281') entlang der Vorderseite (16a) umfasst, sowie Kühlkanäle (132), welche den inneren Kühldurchgang (24) und die Vorderseite (16) verbinden, wobei die Kühlkanäle (32) gegenüber der Vorderseite (16a) geneigt sind, wobei der Stapel der Blattabschnitte (S, S2, S3, S4) der Schaufel im Bereich des Randes (28') des Kopfes der Schaufel einen Versatz in Richtung der Vorderseite (16a) aufweist, wobei dieser Versatz bei Annähern an das freie Ende des Kopfes (14) der Schaufel (110) immer größer wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vorderseitenwand (16) des Blattes einen vorspringenden Abschnitt (161) aufweist, von dem mehr als die Hälfte der Länge sich entlang eines Längsabschnittes des inneren Kühldurchgangs (24) erstreckt und dessen Außenseite (161 a) gegenüber dem Rest der Vorderseite (16a) des Blattes geneigt ist und an ihrem dem Hohlraum (30) zugewandten Ende eine Abschlussseite (161 b) aufweist, wobei die Bodenwand (26) an der Stelle des Endes des vorspringenden Abschnitts (161) mit der Vorderseitenwand (16) verbunden ist und wobei die Kühlkanäle (132) in dem vorspringenden Abschnitt (161) angeordnet sind, so dass sie an der Abschlussseite (161 b) des vorspringenden Abschnitts (161) ausmünden, wodurch der Abstand d zwischen der Achse der Kühlkanäle (132) und der äußeren Grenze A des freien Endes des Vorderseitenrandes (281') größer als ein oder gleich einem Mindestwert d1 ungleich null ist.
2. Schaufel nach dem vorhergehenden Anspruch, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Mindestwert d1 größer als oder gleich 1 mm ist.
3. Schaufel (110) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Ab-

stand (Δ) zwischen dem Ende (B) der Abschlussseite (161 b) des vorspringenden Abschnitts (161) und dem Rest der Vorderseitenwand (16) mindestens gleich der Differenz zwischen dem Abstand (E), gemessen zwischen dem Ende (A) des Vorderseitenrandes (281') und dem Rest der Vorderseitenwand (16), und dem Abstand (d) zwischen der Achse der Kühlkanäle (132) und dem Ende (A) des Vorderseitenrandes (281') ist.

4. Schaufel (110) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Dicke (e) der Vorderseitenwand (16) des Blattes zwischen dem vorspringenden Abschnitt (161) und dem Rest der Vorderseitenwand (16) im Wesentlichen konstant ist.
5. Schaufel (110) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Außenseite (161 a) und die Innenseite (161 c) des vorspringenden Abschnitts (161) parallel zueinander sind.
6. Schaufel (110) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Abschlussseite (161 b) des vorspringenden Abschnitts (161) eben ist.
7. Schaufel (110) nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Abschlussseite (161 b) des vorspringenden Abschnitts (161) unter Bildung eines stumpfen Winkels γ_1 ungleich null mit der Längsrichtung (R-R') der Schaufel an der Stelle, an der die Kühlkanäle (132) in die Abschlussseite (161 b) münden, geneigt ist.
8. Schaufel (110) nach dem vorhergehenden Anspruch, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Achse der Kühlkanäle (132) zu der Abschlussseite (161 b) des vorspringenden Abschnitts (161), an der Stelle, an der die Kühlkanäle (132) in die Abschlussseite (161 b) münden, orthogonal ist.
9. Schaufel (110) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Bodenwand (26) zu der Längsrichtung der Schaufel orthogonal gerichtet ist.
10. Schaufel (110) nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Bodenwand (126) unter Bildung eines Winkels (δ_1) mit der Längsrichtung (R-R') der Schaufel (110), der von dem rechten Winkel verschieden und ungleich null ist, geneigt gerichtet ist.
11. Schaufel (110) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kühlkanäle (132) in der Nähe des Außenrandes (B) des

vorspringenden Abschnitts (161) ausmünden.

12. Schaufel (110) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Neigungswinkel (α) der Kühlkanäle (132) gegenüber der Längsrichtung (R-R') streng größer ist als der zwischen der Vorderseite (161 a) des vorspringenden Abschnitts (161) und der Längsrichtung (R-R') gebildete Neigungswinkel (β).
13. Rotor einer Turbomaschine, der wenigstens eine Schaufel (110) nach einem der Ansprüche 1 bis 12 umfasst.
14. Turbine einer Turbomaschine, die wenigstens eine Schaufel (110) nach einem der Ansprüche 1 bis 12 umfasst.
15. Turbomaschine, die wenigstens eine Schaufel (110) nach einem der Ansprüche 1 bis 12 umfasst.

Claims

1. A hollow blade (110) for a gas turbine, the hollow blade having an airfoil (13) extending along a longitudinal direction (R-R'), a root (12), and a tip (14), an internal cooling passage (24) inside the airfoil, a cavity (30) situated in the tip, being open towards the free end (14) of the blade (110) and defined by an end wall (26, 126) and a rim (28'), said rim (28') extending between the leading edge (20) and the trailing edge (22) and comprising a suction side rim (282') along the suction side (18a) and a pressure side rim (281') along the pressure side (16a), and cooling channels (132) connecting said internal cooling passage (24) with the pressure side (16), said cooling channels (32) sloping relative to the pressure side (16a), the stack of airfoil sections (S, S2, S3, S4) of the blade at the level of the rim (28') of the blade tip presenting an offset towards the pressure side (16a), this offset increasing on approaching the free end of the tip (14) of the blade (110), the blade being **characterized in that** the pressure side wall (16) of the airfoil presents a projecting portion (161) with more than half of its length extending along a longitudinal portion of the internal cooling passage (24), and with the outside face (161a) that slopes relative to the remainder of the pressure side (16a) of the airfoil, and presenting a terminal face (161b) at its end facing towards the cavity (30), the end wall (26) being connected to the pressure side wall (16) at the location of said end of said projecting portion (161) and said cooling channels (132) being arranged in said projecting portion (161) in such a manner as to open out in the terminal face (161b) of said projecting portion (161), whereby the distance d between the axes of the cooling channels (132) and

the outer limit A of the free end of the pressure side rim (281') is greater than or equal to a non-zero minimum value d_1 .

2. A blade according to claim 1, **characterized in that** said minimum value d_1 is greater than or equal to 1 mm.
3. A blade (110) according to either preceding claim, **characterized in that** the distance (Δ) between the end (B) of the terminal face (161b) of the projecting portion (161) and the remainder of the pressure side wall (16) is not less than the difference between the offset (E) measured between the end (A) of the pressure side rim (281') and the remainder of the pressure side wall (16) and said distance (d) between the axes of the cooling channels (132) and the end (A) of the pressure side rim (281').
4. A blade (110) according to any preceding claim, **characterized in that** the thickness (e) of the pressure side wall (16) of the airfoil is substantially constant in the projecting portion (161) and in the remainder of the pressure side wall (16).
5. A blade (110) according to any preceding claim, **characterized in that** the outside face (161a) and the inside face (161c) of the projecting portion (161) are mutually parallel.
6. A blade (110) according to any preceding claim, **characterized in that** the terminal face (161b) of the projecting portion (161) is plane.
7. A blade (110) according to claim 6, **characterized in that** the terminal face (161b) of the projecting portion (161) slopes to form a non-zero obtuse angle γ_1 relative to the longitudinal direction (R-R') of the blade at the location where the cooling channels (132) open out into said terminal face (161b).
8. A blade (110) according to the preceding claim, **characterized in that** the axes of the cooling channels (132) are orthogonal to the terminal face (161b) of the projecting portion (161) at the location where the cooling channels (132) open out into said terminal face (161b).
9. A blade (110) according to any preceding claim, **characterized in that** said end wall (26) is arranged orthogonally relative to the longitudinal direction of the blade.
10. A blade (110) according to any one of claims 1 to 8, **characterized in that** said end wall (126) extends along a slope so as to form a non-zero angle (δ_1) other than a right angle relative to the longitudinal direction (R-R') of the blade (110).

11. A blade (110) according to any preceding claim,
characterized in that the cooling channels (132)
open out in a vicinity of the outer edge (B) of the
projecting portion (161). 5
12. A blade (110) according to any preceding claim,
characterized in that an angle of inclination (α) of
the cooling channels (132) relative to the longitudinal
direction (R-R') is strictly greater than an angle of
inclination (β) formed between the pressure side face 10
(161a) of the projecting portion and the longitudinal
direction (R-R').
13. A turbine engine rotor including at least one blade
(110) according to any one of claims 1 to 12. 15
14. A turbine engine turbine including at least one blade
(110) according to any one of claims 1 to 12.
15. A turbine engine including at least one blade (110) 20
according to any one of claims 1 to 12.

25

30

35

40

45

50

55

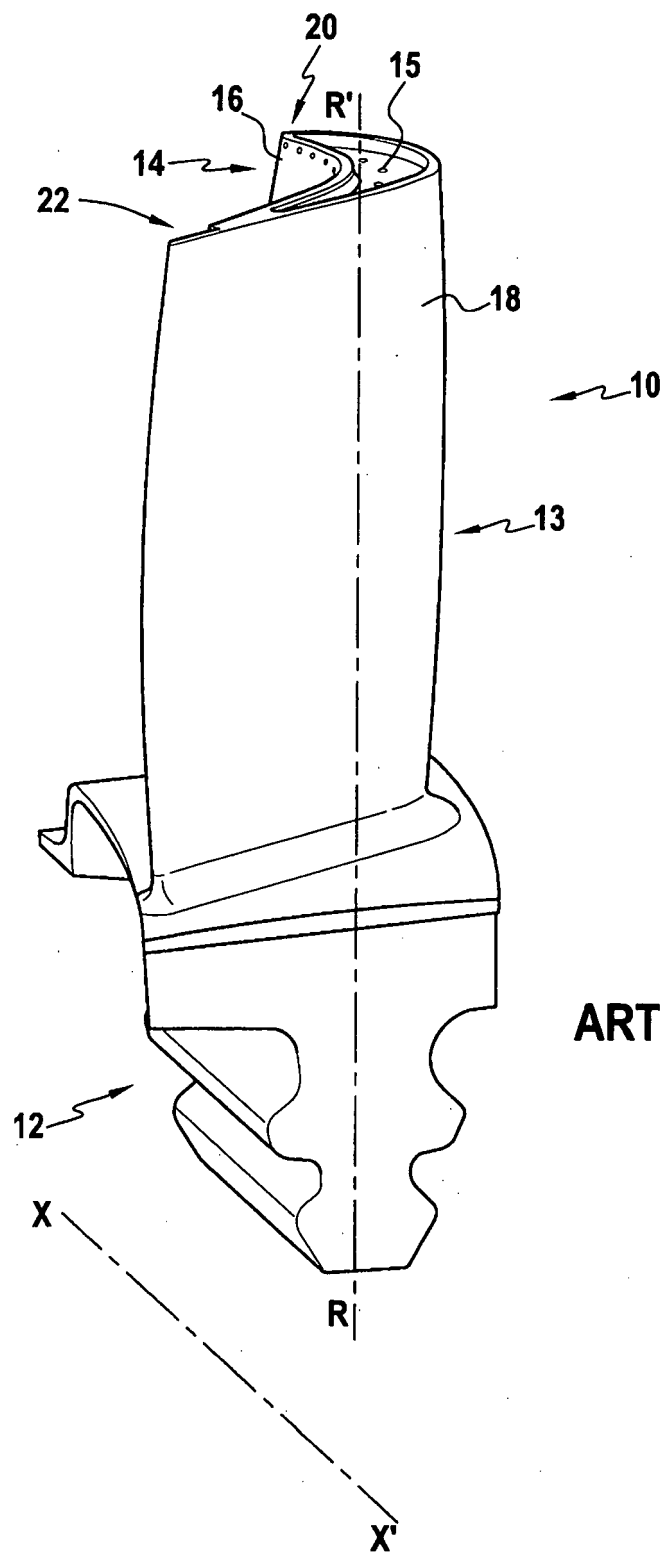


FIG.1
ART ANTERIEUR

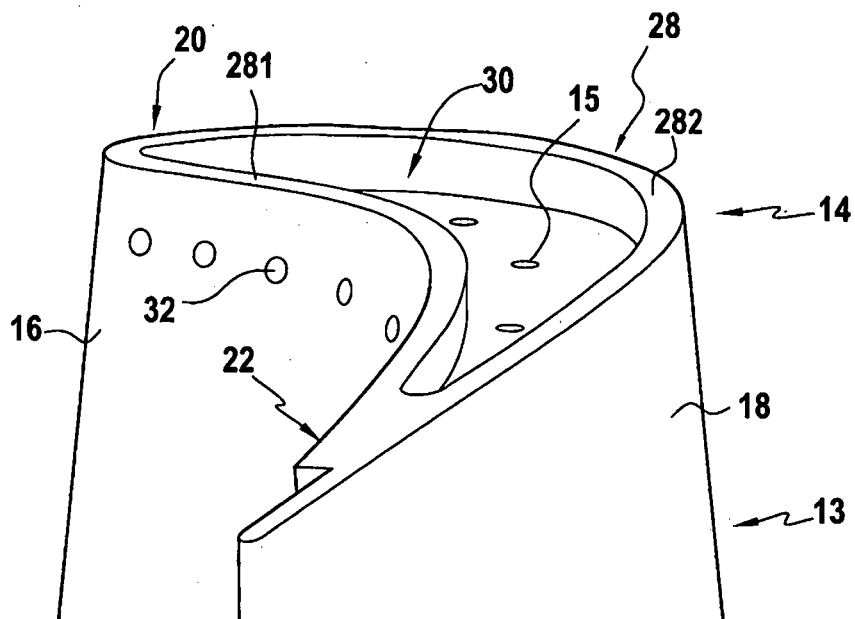


FIG.2
ART ANTERIEUR

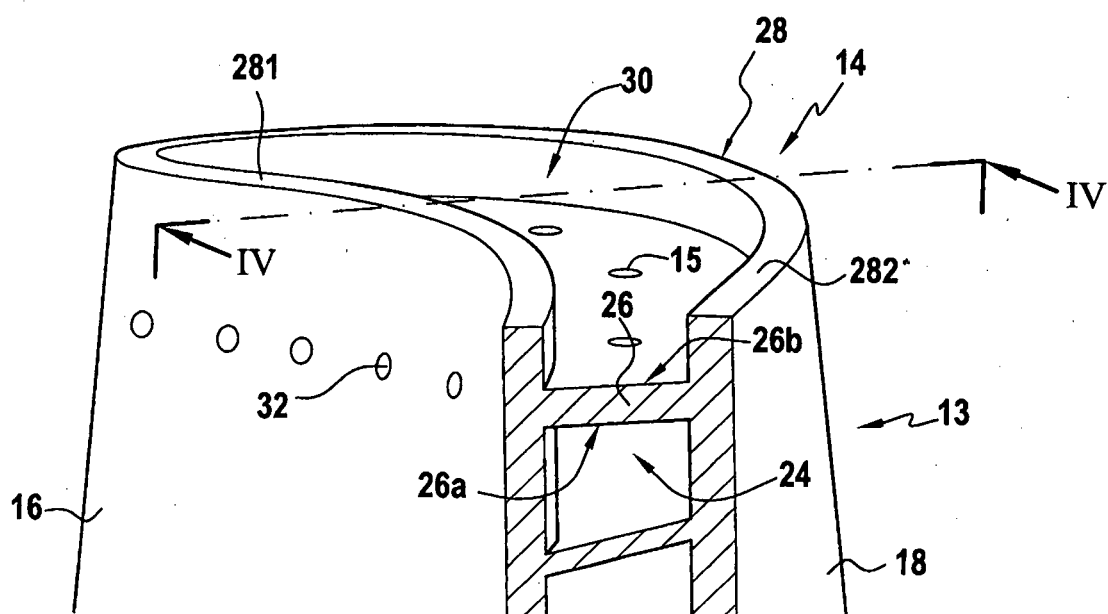


FIG.3
ART ANTERIEUR

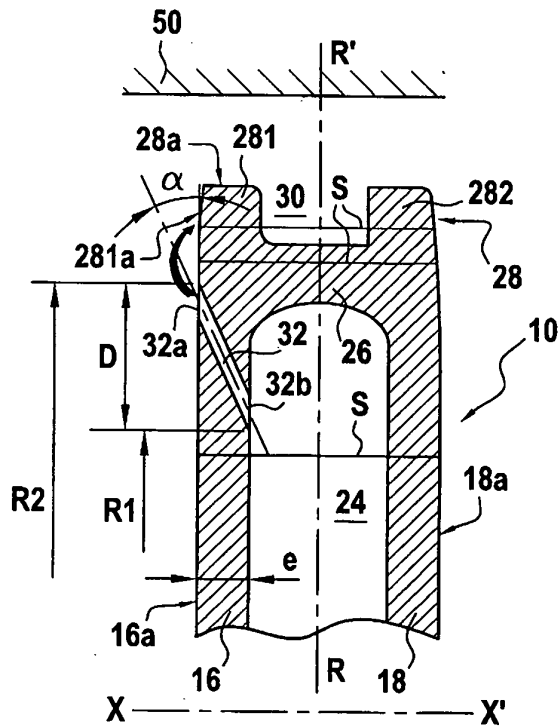


FIG.4
ART ANTERIEUR

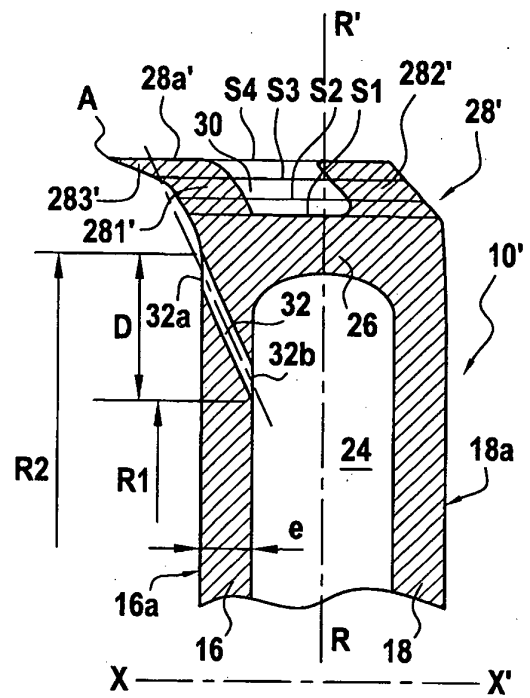


FIG.5

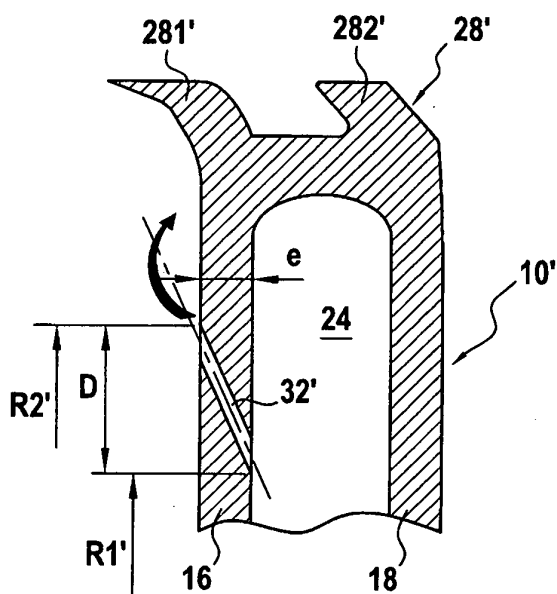


FIG.6

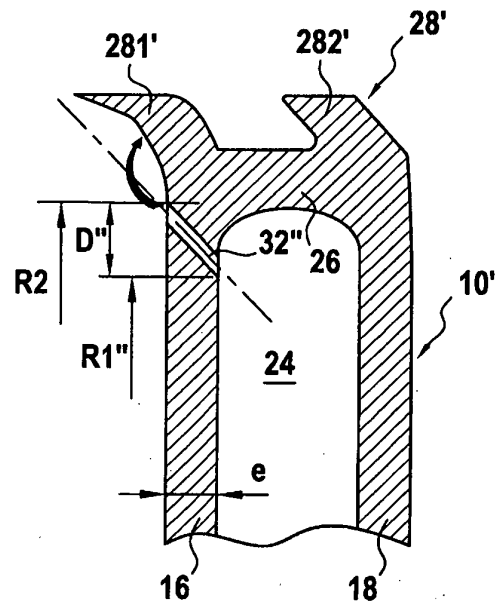


FIG.7

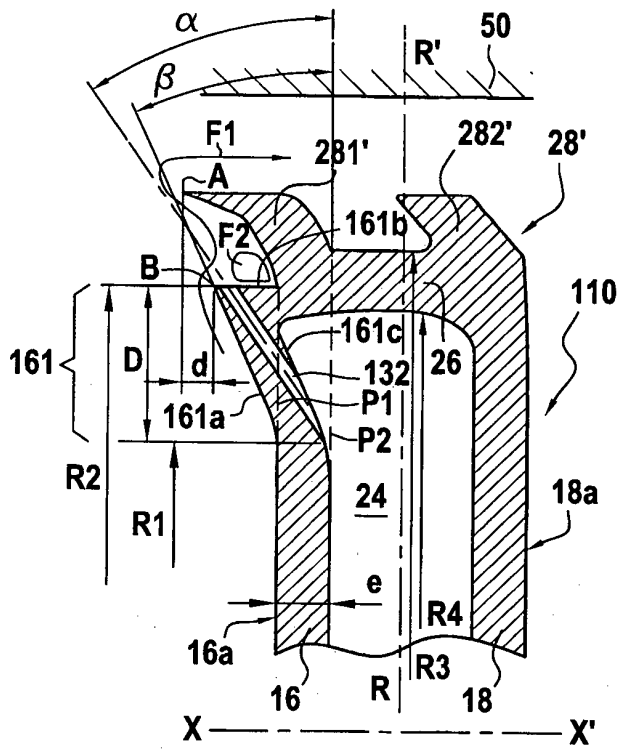


FIG.8

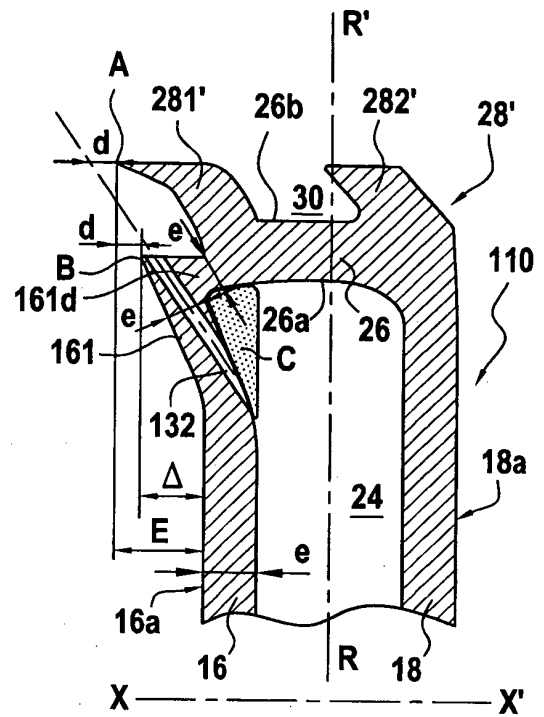


FIG.9

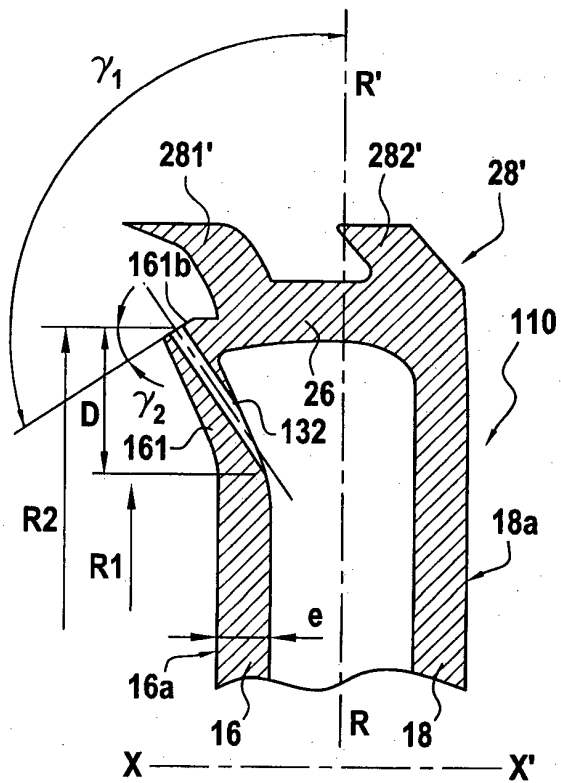


FIG.10

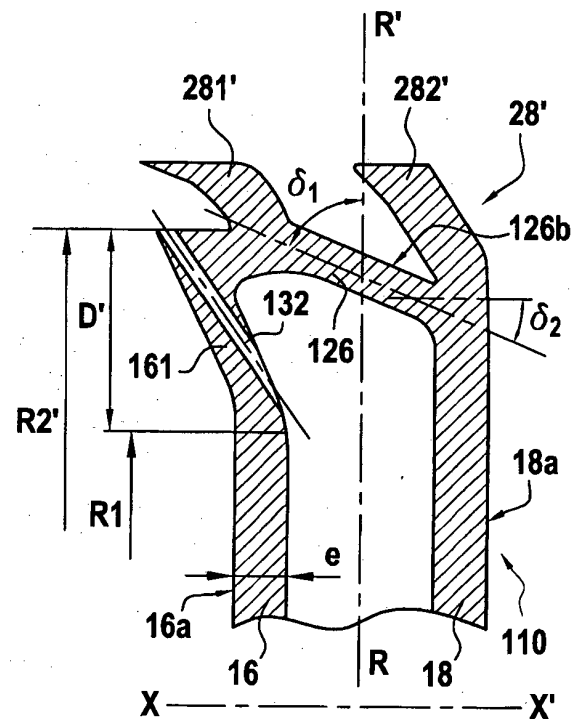


FIG.11

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

- EP 1505258 A [0010]
- FR 2891003 [0010]
- EP 1726783 A [0010]
- US 20100135813 A [0010]