



(11) **EP 2 071 125 B1**

(12) **FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:
13.04.2011 Bulletin 2011/15

(51) Int Cl.:
F01D 5/14 (2006.01) **F01D 9/04** (2006.01)
B22D 27/04 (2006.01) **B23P 15/02** (2006.01)
C30B 29/00 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **08171584.9**

(22) Date de dépôt: **12.12.2008**

(54) **Aube de turbine monocristalline**

Einkristall-turbinenschaufel

Single crystal turbine blade

(84) Etats contractants désignés:
DE FR GB

(30) Priorité: **14.12.2007 FR 0708751**

(43) Date de publication de la demande:
17.06.2009 Bulletin 2009/25

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

(72) Inventeurs:
• **Girard, Patrick, Joseph, Marie**
77310 Saint Fargeau Ponthierry (FR)
• **Hanny, Jean-Claude, Marcel, Auguste**
75018 Paris (FR)

- **Martet, Renaud**
91120 Palaiseau (FR)
- **Massy, Olivier, Charles, Henri**
75012 Paris (FR)
- **Pabion, Philippe, Jean-Pierre**
77000 Vaux Le Penil (FR)
- **Roger, Stéphanie, Dominique**
77720 Mormant (FR)

(74) Mandataire: **Bloch & Bonnetat**
23bis, rue de Turin
75008 Paris (FR)

(56) Documents cités:
EP-A- 0 441 097 EP-A- 0 833 060
EP-A- 1 688 586 US-A1- 2008 099 177

EP 2 071 125 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 les aubes de turbomachine. Elle porte sur les aubes de turbomachines ou de modules de turbomachine, tels que des modules de compresseur ou de turbine, réalisées de fonderie et en particulier sur l'engraisement de la zone de raccordement entre la pale et son talon ou la pale et la plate forme associée.

[0002] Les aubes obtenues par fonderie de superalliages à base de nickel ou de cobalt sont fabriquées selon la technique dite à la cire perdue. Ces aubages ont des structures métallurgiques colonnaires ou monocristallines obtenues par un procédé de solidification dirigée. Ce procédé est délicat à maîtriser, en particulier pour des pièces creuses et fortement tridimensionnelles.

[0003] La fabrication de tels aubages passe par la réalisation d'un modèle en cire, ou autre matériau équivalent, qui comprend une pièce interne formant un noyau de fonderie et figurant les cavités de l'aubage. On utilise, pour former le modèle, un moule d'injection pour cire dans lequel on place le noyau et on y injecte la cire. Le modèle en cire est ensuite trempé plusieurs fois dans des barbotines constituées d'une suspension de particules céramiques pour confectionner un moule carapace. On élimine la cire et on cuit le moule carapace. On obtient l'aubage en coulant un métal en fusion qui vient occuper les vides entre la paroi intérieure du moule carapace et le noyau. Grâce à un germe, ou un sélecteur approprié, et un refroidissement contrôlé, le métal se solidifie selon une structure cristalline voulue. Selon la nature de l'alliage et les propriétés attendues de la pièce résultant de la coulée, il peut s'agir de solidification dirigée à structure colonnaire, de solidification dirigée à structure monocristalline ou de solidification équiaxe (EX). Après la solidification de l'alliage, la carapace et le noyau sont décrochés, il en ressort l'aubage désiré.

[0004] La solidification est un moment durant lequel le métal subit des contraintes thermiques importantes, ces contraintes sont souvent à l'origine de la recristallisation du métal. En effet, sur des aubages pleins monocristallins bruts de fonderie, d'importantes zones de recristallisation bien définies sont constatées. Par exemple lorsque l'aube comprend un talon, des zones recristallisées se situent sur la pale, sous le talon, environ 10 mm sous le raccordement pale-talon, comme on l'a représenté sur la figure 1. La recristallisation sur ces aubes a pour origine des contraintes trop importantes imposées au métal au cours de la solidification.

[0005] Pour tenter de remédier à ce problème et supprimer le défaut de recristallisation plusieurs essais ont été conduits qui n'ont pas apporté de solutions concrètes. On a réduit la taille des amenées de coulée ou encore procédé à des allègements de la paroi du moule carapace. Une autre méthode testée, pour remédier à ce problème, a été d'ajouter différents types de surépaisseurs ou engraisements, localement, sur tout le pourtour de la pale immédiatement sous le talon. On obtient un tel

engraisement en modifiant le modèle en cire à partir duquel on réalise le moule. Des exemples de modifications sur les racines, sont représentés sur les figures 2a, 2b et 2c.

[0006] La racine, ou surépaisseur, est définie par une hauteur et une épaisseur en intrados et en extrados. La zone de raccordement s'étend sur tout le pourtour de la pale. Des essais réalisés ont permis de constater l'influence de la géométrie de la racine sur la recristallisation. La figure 2a montre une racine avec une épaisseur a de 2 mm et une hauteur h de 5 mm. La figure 2b montre une racine avec une épaisseur a de 2 mm et une hauteur 2h de 10 mm. La figure 2c montre une racine avec une épaisseur a' de 3 mm et une hauteur 2h de 10 mm. Il n'a été possible d'éliminer le phénomène de recristallisation qu'avec une racine de taille relativement importante facilitant l'écoulement du métal en fusion entre la pale et le talon.

[0007] Mais, en raison de cette taille, la racine n'est pas satisfaisante sur le plan aérodynamique : d'une part elle crée une marche nominale tangentielle dans la veine, générée par la troncature du rayon veine externe, d'autre part sa présence sur tout le profil perturbe de manière non négligeable les performances aérodynamiques sur la turbomachine.

[0008] De plus, une telle racine induit un accroissement de masse non négligeable et une augmentation de la loi de la section de façon abrupte. Les principales conséquences sont, d'une part une augmentation des contraintes centrifuges sur la pale et donc une diminution forte des durées de vie, notamment en fluage, et d'autre part un mauvais positionnement du centre de gravité dans une coupe au niveau du talon, impliquant une augmentation des contraintes locales de la pale sous le talon ou sur le disque, amenant une diminution des durées de vie et de la marge en survitesse.

[0009] On connaît par ailleurs les demandes de brevets publiées sous les numéros EP0833060, EP0441097 et EP1688586 qui divulguent des aubes de compresseur ou de turbine présentant des épaississements ou des extensions latérales de la pale pour améliorer l'écoulement aérodynamique entre les aubes.

[0010] Pour remédier à ces inconvénients, le déposant s'est fixé comme objectif d'élaborer une racine satisfaisante à la fois vis-à-vis de la coulabilité du métal en fusion dans le moule carapace, des contraintes aérodynamiques à respecter et de la tenue mécanique de la pièce en utilisation sur la turbomachine.

[0011] L'invention a ainsi pour objet la construction d'une aube, avec la mise en place d'un épaississement local de la section de la pale, désigné racine, favorable pour ce qui concerne les critères rapportés ci-dessus. Afin de satisfaire ces critères, l'épaississement est appliqué sur une surface particulière de la pale, principalement en bord d'attaque, intrados et extrados, sur une hauteur définie.

[0012] Conformément à l'invention, une aube de turbine pour une roue de turbine de turbomachine

comprenant :

une pale avec une bord d'attaque BA, une face intrados FI, une face extrados FE, un bord de fuite BF, un squelette S et d'axe longitudinal ZZ, les faces FI et FE présentant une ligne de col, respectivement col d'intrados CI et col d'extrados CE par rapport à l'aube adjacente dans la roue de turbomachine dont elle constitue un élément, une pièce d'extrémité de la pale, telle qu'un talon ou une plateforme, présentant une face d'extrémité de pale, côté veine, formant un angle avec l'axe ZZ et une zone de raccordement entre la pale et ladite face d'extrémité de pale, ladite zone de raccordement formant un engraissement de la pale, ladite zone de raccordement s'étend autour du bord d'attaque BA entre un point P1 situé sur l'extrados FE de la pale et sur la face d'extrémité du talon en amont du col d'extrados CE en référence au sens d'écoulement du fluide et un point P3 situé sur l'intrados FI de la pale et sur la face d'extrémité du talon en amont du col d'intrados CI, est caractérisée par le fait que cette aube est monocristalline.

[0013] Ainsi l'invention permet-elle de résoudre le problème de la coulabilité du métal en fusion tout en assurant à la fois les performances aérodynamiques et la tenue mécanique. Elle a consisté à définir un engraissement de matière, sur une surface particulière de la pale, principalement en bord d'attaque, intrados et extrados et sur une hauteur définie, permettant de respecter les critères multi-disciplines.

[0014] L'invention a pour avantage de supprimer la recristallisation, tout en respectant les critères aérodynamiques, et permet d'améliorer la durée de vie de la pale.

[0015] L'invention s'applique à toutes les aubes de turbomachines brut de fonderie, qu'elles soient fixes ou mobiles, placées dans une veine non cylindrique. L'invention est expliquée pour des engraissements en bord d'attaque entre la pale et la veine supérieure, mais peut aussi s'appliquer à des engraissements en bord d'attaque entre la pale et la veine inférieure si la conicité de la veine implique le besoin.

[0016] Avantagusement la section de ladite pale dans la zone de raccordement, mesurée perpendiculairement au bord d'attaque du profil théorique, augmente en se dirigeant vers ledit talon, en restant inférieure à celle que présente l'aube au niveau de sa plateforme.

[0017] On obtient ainsi une limitation de l'augmentation de la masse en extrémité de pale et on ne dégrade que modérément sa résistance en tenue mécanique.

[0018] Conformément à une autre caractéristique de l'invention, la ligne des points P2 situés les plus en amont par rapport au sens d'écoulement du fluide dans la zone de raccordement est située dans le prolongement du bord d'attaque BA de la pale sur le squelette S.

[0019] Conformément à une autre caractéristique, la face d'extrémité de pale hors les congés de raccorde-

ment à la face d'extrémité de pale et au bord d'attaque BA de l'aube, est rectiligne et forme un angle α avec la ligne des points P2 au moins égal à 75° et inférieur à 90° .

[0020] Conformément à une autre caractéristique de l'invention également, la courbure de la zone de raccordement dans au moins un plan de coupe perpendiculaire au bord d'attaque du profil théorique, au point correspondant de la ligne des points P2 est fonction de la courbure du bord d'attaque et de la distance séparant, dans ledit plan de coupe le point de la ligne des points P2 du bord d'attaque de la pale. Pour mémoire : la courbure en un point est égale au rayon du cercle inscrit dans le profil au niveau du point.

[0021] De préférence le rayon de courbure audit point de la ligne des points P2 est égal au rayon de courbure correspondant sur le profil théorique BAv, plus un tiers de la longueur l1 telle que définie plus bas.

[0022] Conformément à une autre caractéristique, la surface de la zone de raccordement en P1 située sur l'extrados FE d'une part et la surface de la zone de raccordement en P3 située sur l'intrados FI d'autre part, est tangente à la pale.

[0023] Conformément à une autre caractéristique, la surface de la zone de raccordement présente un profil C1 entre la ligne des points P2 et le point P1 situé sur l'extrados FE qui se déduit, de celui de la surface extrados FEv de la pale théorique par une combinaison de transformations géométriques du type translation, homothétie et/ou affinité, avec des parties de liaison assurant la continuité avec le reste du profil de la pale.

[0024] Conformément à une autre caractéristique, la surface de la zone de raccordement présente un profil C3 entre la ligne des points P2 et le point P3 situé sur l'intrados FI qui se déduit, de celui de la surface intrados FIv de la pale théorique par une combinaison de transformations géométriques du type translation, homothétie et/ou affinité, avec des parties de liaison assurant la continuité avec le reste du profil de la pale.

[0025] Conformément à une autre caractéristique, la position du point P3 situé sur l'intrados est déterminée de façon à optimiser la position du centre de gravité de la zone de raccordement. Dans au moins un plan de coupe perpendiculaire au bord d'attaque du profil théorique, le centre de gravité de la zone de raccordement définie par la surface située en amont des points P1 et P3 par rapport au sens d'écoulement du fluide, se trouve sur l'axe de plus petite inertie de la surface du profil théoriques, de préférence au plus près du centre de gravité de ladite coupe.

[0026] D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention ressortiront de la description faite ci-dessous, en référence aux dessins annexés qui en illustrent un exemple de réalisation dépourvu de tout caractère limitatif.

La figure 1 illustre la position d'une zone de recristallisation en intrados et extrados sur des aubes pleines monocristallines brutes de fonderie.

Les figures 2a, 2b et 2c illustrent des essais de différents engraissements de la racine, sur tout le pourtour du profil.

La figure 3 représente, vue de profil et schématiquement, l'extrémité d'une aube avec talon dont la zone de raccordement est engraisée conformément à l'invention.

La figure 4 représente l'aube de la figure 3 vue en coupe selon une direction 4-4 placée parallèlement et immédiatement en-dessous du talon.

La figure 5 est un graphique de la loi des aires des sections de l'aube selon l'invention le long de l'axe ZZ, comparée à celle d'une racine non optimisée s'étendant sur tout le pourtour du profil.

[0027] En référence aux figures 3 et 4, on voit une aube 10 comprenant une pale 11 et une pièce d'extrémité 20 (ici un talon), représentée schématiquement. Il peut s'agir d'une plateforme dans le cas de l'extrémité radialement interne ; pour la suite on considérera le cas d'un talon en extrémité radialement externe de la pale. Le talon en extrémité de la pale 11a pour fonction d'assurer l'étanchéité de la veine et comprend sur sa surface extérieure des lèchettes d'un joint d'étanchéité, non représentées. La pièce d'extrémité 20 présente une face d'extrémité de pale 21, tournée vers la pale. Cette face forme un angle θ non nul avec l'axe ZZ de la pale. Sur l'exemple représenté l'angle θ est d'environ 50° . La pale 11 de la turbomachine comporte une face intrados FI et une face extrados FE s'étendant entre un bord d'attaque BA et un bord de fuite BF.

[0028] L'aube 10 comprend une zone de raccordement entre la pale et le talon formant une surépaisseur ou un engraissement 11 E à partir d'un point P1 sur la face extrados FE, et d'un point P3 sur la face intrados FI. Cet engraissement est l'excès de matière par rapport au profil théorique de la pale, c'est-à-dire celui qu'elle aurait sans prise en compte du problème technique résolu par l'invention, directement sous la surface d'extrémité 21 et qui est représenté par les traits en pointillés BAv, Flv et FEv sur les figures 3 et 4.

[0029] L'engraisement est défini par les règles décrites ci-après. Le point P1 est situé en amont de la ligne de col extrados CE, le col étant la distance minimale séparant deux aubes voisines. La zone de raccordement, en P1, est tangente à la pale 11. Vu en coupe selon des directions parallèles à la surface 21, le profil C1 de l'extrados de la zone de raccordement 11E est sensiblement le même, au moins en partie, que celui de la zone extrados FEv de la pale théorique, avec des parties de liaison assurant la continuité avec le reste du profil de la pale. Cette similarité se définit par le fait que le profil C1 se déduit de celui de la zone FEv par une combinaison de transformations géométriques du type translation, homothétie et/ou affinité. L'épaisseur de la zone de raccordement 11E sur l'extrados doit être minimale. Cette épaisseur est définie par l'expérience de fonderie, elle est imposée pour minimiser les pertes de performances aéro-

dynamiques.

[0030] Le rajout de matière intrados est défini par les règles décrites ci-après. Le point P3 est situé en amont de la ligne de col intrados CI. La zone de raccordement, en P3, est tangente à la pale 11. Le profil C3 de la surface intrados de la zone de raccordement 11E est lui aussi similaire à celui de la zone intrados Flv de la pale théorique et s'en déduit par une combinaison de transformations géométriques du même type que pour l'extrados.

[0031] Le positionnement du point P3 est déterminé avec une certaine marge dans le but d'optimiser la position du centre de gravité de la zone de raccordement 11E. Le déplacement du point P3 vers le point CI permet de déplacer le centre de gravité de la zone de raccordement vers le point CI et inversement. L'optimisation de la position du centre de gravité de la zone de raccordement permet à la pale de garder sa tenue mécanique. Le centre de gravité de la zone de raccordement est avantageusement sur l'axe de plus petite inertie de la surface du profil théorique, de préférence au plus près du centre de gravité de la surface du profil théorique.

[0032] L'engraisement de la zone de raccordement en intrados est déterminé, d'une part, par une épaisseur minimale, spécifiée par l'expérience fonderie, afin de respecter des critères de coulabilité, et d'autre part, par une épaisseur maximale résultant de l'objectif section/masse afin de respecter les contraintes de tenue mécanique.

[0033] Comme noté précédemment, l'engraisement est situé principalement au niveau du bord d'attaque BA de la pale. Le bord d'attaque BA est la ligne formée des points le plus en amont sur le profil de la pale et le bord de fuite BF est la ligne des points le plus en aval. L'amont et l'aval sont définis par rapport à l'écoulement du gaz autour de la pale. La ligne des points P2 de la zone de raccordement, qui sont situés également le plus en amont sur la pale, est située dans le prolongement de la ligne du bord d'attaque BA et du squelette S de la pale. Le squelette de la pale, appelé aussi ossature ou ligne moyenne, est l'ensemble des points équidistants de l'extrados FE et de l'intrados FI.

[0034] La zone de raccordement, sur laquelle est positionné la ligne des points P2 qui est de préférence rectiligne, aux congés de raccordement près avec la face d'extrémité 21 de la pale et avec le bord d'attaque, est définie par des angles α et β . L'angle α correspond à l'angle entre la face d'extrémité de la pale et la ligne des points P2. L'angle β est l'angle entre la ligne des points P2 et le bord d'attaque BA. Ces deux angles, sont définis par l'expérience de fonderie afin de respecter le critère de coulabilité. L'angle α se situe dans un intervalle compris entre 75° à 90° . Quant à l'angle β , il est lié à l'angle α . Le raccordement entre la zone 11E et la surface 21 n'est pas sécant mais est progressif avec un arrondi.

[0035] Le point de la ligne des points P2 sur la face 21 est à une distance I1 du bord d'attaque BAv théorique. La longueur I1 est déterminée de manière à conserver les critères aérodynamiques de la pale. Sa longueur est suffisante afin de préserver la tenue mécanique du talon.

[0036] La hauteur I2 représente la hauteur de la zone de raccordement à proximité du bord d'attaque. Cette hauteur est comprise entre une valeur minimale et une valeur maximale. La valeur minimale doit satisfaire le critère de coulabilité, la valeur minimale est déterminée par l'expérience de fonderie. Par ailleurs, la valeur maximale vise à respecter l'objectif de loi de section/masse pour préserver la tenue mécanique.

[0037] La figure 5 est un graphique, avec, pour axe des abscisses, l'aire d'une coupe de la pale selon un plan perpendiculaire au bord d'attaque du profil théorique, et pour axe des ordonnées, le rayon au point correspondant du bord d'attaque, représentant la loi d'évolution de la section/masse le long de la veine. On constate que la géométrie de la racine de l'invention permet de réduire considérablement la section et les problèmes qui y sont associés. Le gain de masse GM est illustré par la surface entre la portion de courbe représentant l'aire des coupes à travers la racine initiale RI telle qu'elle aurait été réalisée sans l'invention, c'est à dire avec un épaississement sur tout le pourtour de la pale et la racine RO selon l'invention. On constate que la section de la pale, qui diminue en se rapprochant du talon, augmente dans la zone de raccordement, mais reste inférieure à la valeur qu'elle a dans la partie inférieure de la pale.

Revendications

1. Aube de turbine pour une roue de turbine de turbomachine comprenant une pale (11) avec un bord d'attaque (BA), une face intrados (FI), une face extrados (FE), un bord de fuite (BF), un squelette (S) et d'axe longitudinal (ZZ), les faces (FI) et (FE) présentant une ligne de col, respectivement col d'intrados (CI) et col d'extrados (CE) par rapport à l'aube adjacente dans la roue de turbomachine dont elle constitue un élément, une pièce d'extrémité (20) de la pale, telle qu'un talon ou une plateforme, présentant une face d'extrémité de pale (21), côté veine, formant un angle avec l'axe ZZ et une zone de raccordement (11E) entre la pale (11) et ladite face d'extrémité de pale, ladite zone de raccordement formant un engraissement de la pale, ladite zone de raccordement (11E) s'étend autour du bord d'attaque (BA) entre un point P1 situé sur l'extrados (FE) de la pale et sur la face d'extrémité du talon en amont du col d'extrados (CE) en référence au sens de l'écoulement du fluide et un point P3 situé sur l'intrados (FI) de la pale et sur la face d'extrémité du talon en amont du col d'intrados (CI), **caractérisée par le fait que** cette aube est monocristalline
2. Aube selon la revendication 1, dont la section de ladite pale dans la zone de raccordement (11E), mesurée perpendiculairement au bord d'attaque du pro-

fil théorique (BAv), augmente en se dirigeant vers ledit talon (20), en restant inférieure à celle que présente l'aube au niveau de sa plateforme.

3. Aube selon la revendication 1 ou 2, dont la ligne des points P2 situés les plus en amont par rapport au sens d'écoulement du fluide dans la zone de raccordement (11 E), est située dans le prolongement du bord d'attaque (BA) de la pale, sur le squelette.
4. Aube selon la revendication 3 dont la ligne des points P2, hors les congés de raccordement à la face d'extrémité de pale (21) et au bord d'attaque (BA) de l'aube, est rectiligne et forme avec la face d'extrémité de pale (21) un angle α au moins égal à 75°.
5. Aube selon la revendication 4 dont l'angle α est inférieur à 90°.
6. Aube selon l'une des revendications 1 à 5 dont la courbure de la zone de raccordement, dans au moins un plan de coupe perpendiculaire au bord d'attaque du profil théorique, au point correspondant de la ligne des points P2 est fonction de la courbure du bord d'attaque théorique BAv et de la distance séparant, dans ledit plan de coupe, le point de la ligne des points P2 du bord d'attaque théorique de la pale.
7. Aube selon la revendication 6 dont le rayon de courbure audit point de la ligne des points P2 est égal au rayon de courbure correspondant sur le profil théorique BAv, plus un tiers de ladite distance.
8. Aube selon l'une des revendications précédentes dont la surface de la zone de raccordement (11E) au point P1 est tangente le long de son extrémité à l'extrados (FE) de l'aube.
9. Aube selon l'une des revendications précédentes dont la surface de la zone de raccordement (11E) en P3 est tangente le long de son extrémité à l'intrados (FI) de l'aube.
10. Aube selon l'une des revendications précédentes dont la surface de la zone de raccordement (11E) présente un profil C1 entre la ligne des points P2 et le point P1 qui se déduit de celui de la surface extrados FEv de la pale théorique (11) par une combinaison de transformations géométriques du type translation, homothétie et/ou affinité.
11. Aube selon l'une des revendications précédentes dont la surface de la zone de raccordement (11E) présente un profil C3 entre la ligne des points P2 et le point P3 qui se déduit de celui de la surface intrados FI de la pale théorique (11) par une combinaison de transformations géométriques du type translation, homothétie et/ou affinité.

12. Aube selon l'une des revendications 1 à 11 dans laquelle, dans au moins un plan de coupe perpendiculaire au bord d'attaque du profil théorique, le centre de gravité de la zone de raccordement (11E) définie par la surface située en amont des points P1 et P3 par rapport au sens d'écoulement du fluide, est sur l'axe de plus petite inertie de la surface du profil théorique, de préférence au plus près du centre de gravité de ladite surface du profil théorique.
13. Module de turbomachine comportant au moins une aube selon l'une quelconque des revendications précédentes.
14. Turbomachine comportant au moins une aube selon l'une quelconque des revendications 1 à 12.

Claims

1. A turbine blade for a turbomachine turbine rotor, comprising
an airfoil (11) with a leading edge (BA), a pressure face (FI), a suction face (FE), a trailing edge (BF), a skeleton (S) and having a longitudinal axis (ZZ), the faces (FI) and (FE) having a neck line, respectively a pressure face neck (CI) and a suction face neck (CE) relative to the adjacent blade in the turbomachine rotor of which it forms an element, an endpiece (20) of the airfoil, such as a heel or a platform, having an airfoil end face (21), on the stream side, forming an angle with the axis ZZ and a connection zone (11E) between the airfoil (11) and said airfoil end face, said connection zone forming a fattening of the airfoil, wherein said connection zone (11E) extends about the leading edge (BA) between a point P1 situated on the suction face (FE) of the airfoil and on the end face of the heel upstream of the suction face neck (CE) with reference to the direction of flow of the fluid and a point P3 situated on the pressure face (FI) of the airfoil and on the end face of the heel upstream of the pressure face neck (CI), wherein the blade is monocrystalline.
2. The blade as claimed in claim 1, wherein the section of said airfoil in the connection zone (11E), measured perpendicularly to the leading edge of the theoretical profile (BAV), increases as it goes toward said heel (20), while remaining less than the section of the blade in its lower portion.
3. The blade as claimed in claim 1 or 2, wherein the line of the points P2 situated furthest upstream relative to the direction of flow of the fluid in the connection zone (11E) is situated in line with the leading edge (BA) of the airfoil on the skeleton.
4. The blade as claimed in claim 3, wherein the line of the points P2, excluding the fillets for connection to the airfoil end face (21) and to the leading edge (BA) of the blade, is rectilinear and forms with the airfoil end face (21) an angle α at least equal to 75° .
5. The blade as claimed in claim 4, wherein the angle α is less than 90° .
6. The blade as claimed in one of claims 1 to 5, wherein the curvature of the connection zone, in at least one sectional plane perpendicular to the leading edge of the theoretical profile, at the corresponding point of the line of the points P2 is a function of the curvature of the theoretical leading edge BAV and of the distance separating, in said sectional plane, the point of the line of the points P2 from the theoretical leading edge of the airfoil.
7. The blade as claimed in claim 6, wherein the radius of curvature at said point of the line of the points P2 is equal to the corresponding radius of curvature on the theoretical profile BAV, plus a third of said distance.
8. The blade as claimed in one of the preceding claims, wherein the surface of the zone of connection (11E) to the point P1 is tangential along its end to the suction face (FE) of the blade.
9. The blade as claimed in one of the preceding claims, wherein the surface of the connection zone (11E) at P3 is tangential along its end to the pressure face (FI) of the blade.
10. The blade as claimed in one of the preceding claims, wherein the surface of the connection zone (11E) has a profile C1 between the line of the points P2 and the point P1 which is deduced, at least partially, from that of the suction face surface F_{ev} of the theoretical airfoil (11) by a combination of geometric transformations of the translation, change of scale and/or affinity type.
11. The blade as claimed in one of the preceding claims, wherein the surface of the connection zone (11E) has a profile C3 between the line of the points P2 and the point P3 which is deduced, at least partially, from that of the pressure face surface FI of the theoretical airfoil (11) by a combination of geometrical transformations of the translation, change of scale and/or affinity type.
12. The blade as claimed in one of claims 1 to 11, wherein, in at least one sectional plane perpendicular to the leading edge of the theoretical profile, the center of gravity of the connection zone (11E) defined by the surface situated upstream of the points P1 and

P3 relative to the direction of flow of the fluid is on the axis of smallest inertia of the surface of the theoretical profile, preferably as close as possible to the center of gravity of said surface of the theoretical profile.

13. A turbomachine module comprising at least one blade as claimed in any one of the preceding claims.
14. A turbomachine comprising at least one blade as claimed in any one of claims 1 to 12.

Patentansprüche

1. Turbinenschaufel für ein Turbinenrad einer Turbomaschine, umfassend

- ein Schaufelblatt (11) mit einer Leitkante (BA), einer Druckseite (FI), einer Saugseite (FE), einer Austrittskante (BF), einer Skelettlinie (S) und einer Längsachse (ZZ), wobei die Seiten (FI) und (FE) eine Halslinie aufweisen, jeweils einen druckseitigen Hals (CI) und einen saugseitigen Hals (CE) im Verhältnis zu der angrenzenden Schaufel des Turbomaschinenrads, von dem es ein Element bildet,
- ein Endstück (20) des Blattes, wie etwa einen Ansatz oder eine Plattform, das eine Schaufelblattendseite (21) auf der Luftstromseite aufweist, die mit der Achse ZZ einen Winkel bildet, und
- eine Anschlusszone (11E) zwischen dem Schaufelblatt (11) und der Schaufelblattendseite, wobei die Anschlusszone eine Verdickung des Schaufelblattes bildet, wobei sich die Anschlusszone (11E) um die Leitkante (BA) herum erstreckt zwischen einem Punkt P1, der sich auf der Saugseite (FE) des Schaufelblattes und auf der Endseite des Ansatzes oberhalb des saugseitigen Halses (CE) mit Bezug auf die Fluidströmungsrichtung befindet, und einem Punkt P3, der sich auf der Druckseite (FI) des Schaufelblattes und auf der Endseite des Ansatzes oberhalb des druckseitigen Halses (CI) befindet, **dadurch gekennzeichnet, dass** diese Schaufel monokristallin ist.

2. Schaufel nach Anspruch 1, wobei der Abschnitt des Schaufelblattes in der Anschlusszone (11E), rechtwinklig zur Leitkante des theoretischen Profils (BAV) gemessen, in Richtung auf den Ansatz (20) zunimmt und dabei kleiner als derjenige bleibt, den die Schaufel an ihrer Plattform aufweist.
3. Schaufel nach Anspruch 1 oder 2, wobei sich die

Linie der Punkte P2, die sich mit Bezug auf die Fluidströmungsrichtung in der Anschlusszone (11E) am weitesten vorgeschaltet befinden, in der Verlängerung der Leitkante (BA) des Schaufelblattes auf der Skelettlinie befindet.

4. Schaufel nach Anspruch 3, wobei die Linie der Punkte P2, außerhalb der Ausrundungen zum Anschluss an die Schaufelblattendseite (21) und an die Leitkante (BA) der Schaufel, geradlinig ist und mit der Schaufelblattendseite (21) einen Winkel α bildet, der mindestens 75° beträgt.

5. Schaufel nach Anspruch 4, wobei der Winkel α kleiner als 90° ist.

6. Schaufel nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei die Krümmung der Anschlusszone in mindestens einer Schnittebene, die zu der Leitkante des theoretischen Profils rechtwinklig ist, an dem entsprechenden Punkt der Linie mit den Punkten P2 eine Funktion der Krümmung der theoretischen Leitkante BAV und des Abstands ist, der in der Schnittebene den Punkt der Linie mit den Punkten P2 von der theoretischen Leitkante des Schaufelblattes trennt.

7. Schaufel nach Anspruch 6, wobei der Krümmungsradius an dem Punkt der Linie mit den Punkten P2 gleich dem entsprechenden Krümmungsradius auf dem theoretischen Profil BAV plus einem Drittel des Abstandes ist.

8. Schaufel nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Oberfläche der Anschlusszone (11E) an dem Punkt P1 an ihrem Ende entlang tangierend zu der Saugseite (FE) der Schaufel ist.

9. Schaufel nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Oberfläche der Anschlusszone (11E) bei P3 an ihrem Ende entlang tangierend zu der Druckseite (FI) der Schaufel ist.

10. Schaufel nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Oberfläche der Anschlusszone (11E) ein Profil C1 zwischen der Linie mit den Punkten P2 und dem Punkt P1 aufweist, das von dem der saugseitigen Oberfläche FEv des theoretischen Schaufelblattes (11) durch eine Kombination von geometrischen Umwandlungen nach Art einer Translation, Homothetie und/oder Affinität abgezogen wird.

11. Schaufel nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Oberfläche der Anschlusszone (11E) ein Profil C3 zwischen der Linie der Punkte P2 und dem Punkt P3 aufweist, das von dem der druckseitigen Oberfläche FI des theoretischen Schaufelblattes (11) durch eine Kombination von geometrischen Umwandlungen nach Art einer Translation, Homo-

thetie und/oder Affinität abgezogen wird.

12. Schaufel nach einem der Ansprüche 1 bis 11, wobei
in mindestens einer Schnittebene, die zu der Leit-
kante des theoretischen Profils rechtwinklig ist, der
Schwerpunkt der Anschlusszone (11E), die durch
die Oberfläche definiert wird, die sich oberhalb der
Punkte P1 und P3 im Verhältnis zur Fluidströmungs-
richtung befindet, auf der Achse der geringeren
Trägheit der Oberfläche des theoretischen Profils
liegt, bevorzugt möglichst nahe an dem Schwer-
punkt der Oberfläche des theoretischen Profils. 5 10
13. Turbomaschinenmodul, umfassend mindestens ei-
ne Schaufel nach einem der vorhergehenden An-
sprüche. 15
14. Turbomaschine, umfassend mindestens eine
Schaufel nach einem der Ansprüche 1 bis 12. 20

25

30

35

40

45

50

55

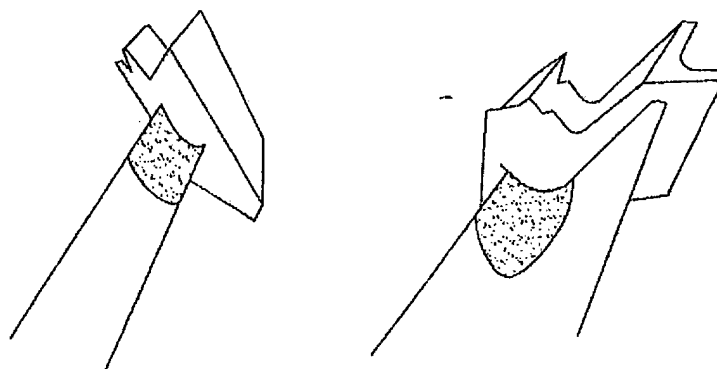


Fig. 1

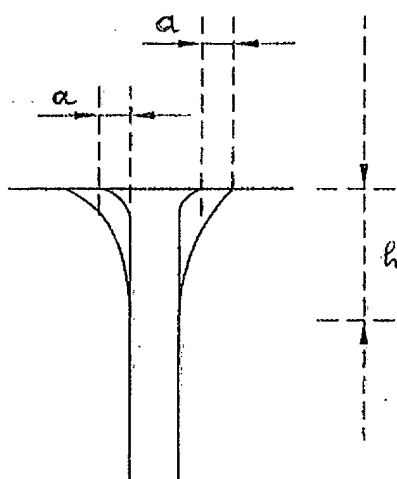


Fig. 2a

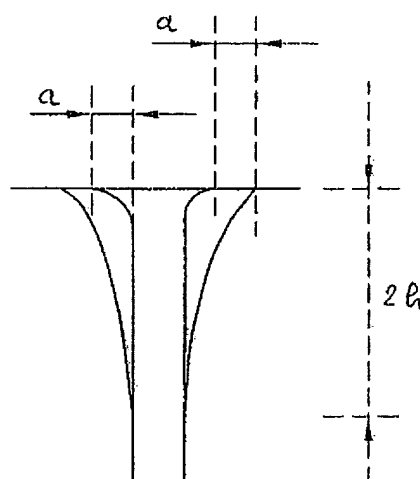


Fig. 2b

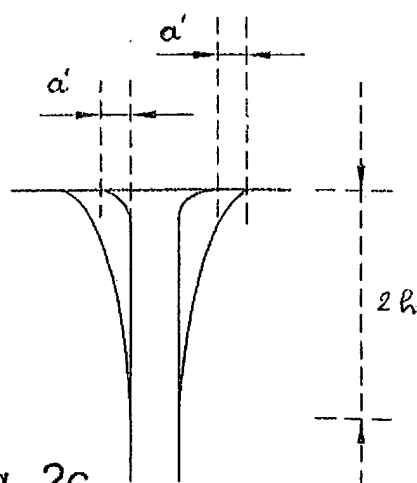


Fig. 2c

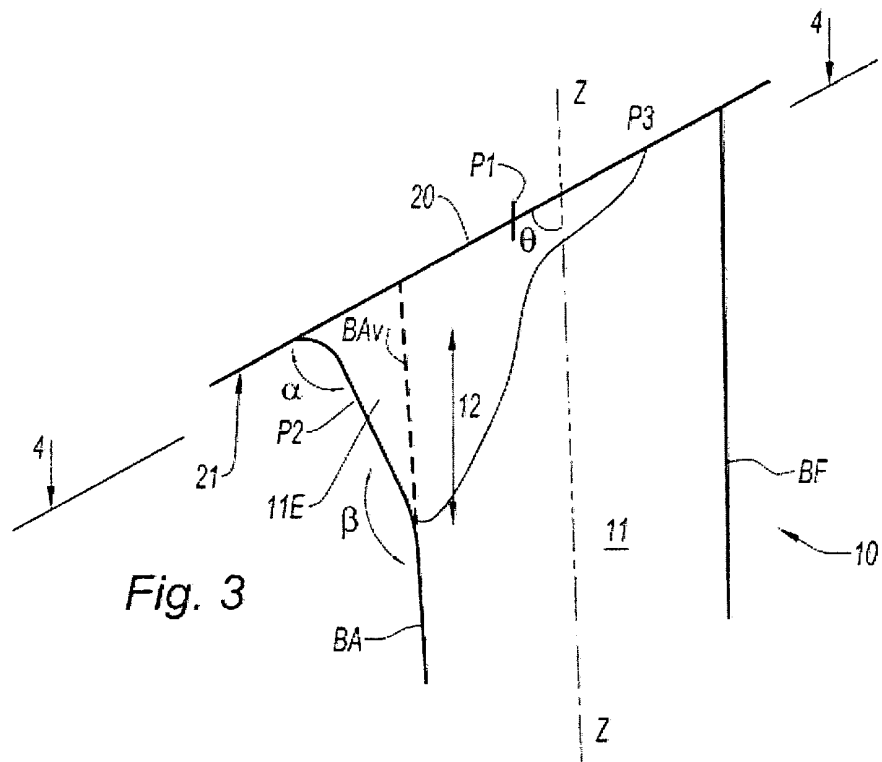


Fig. 3

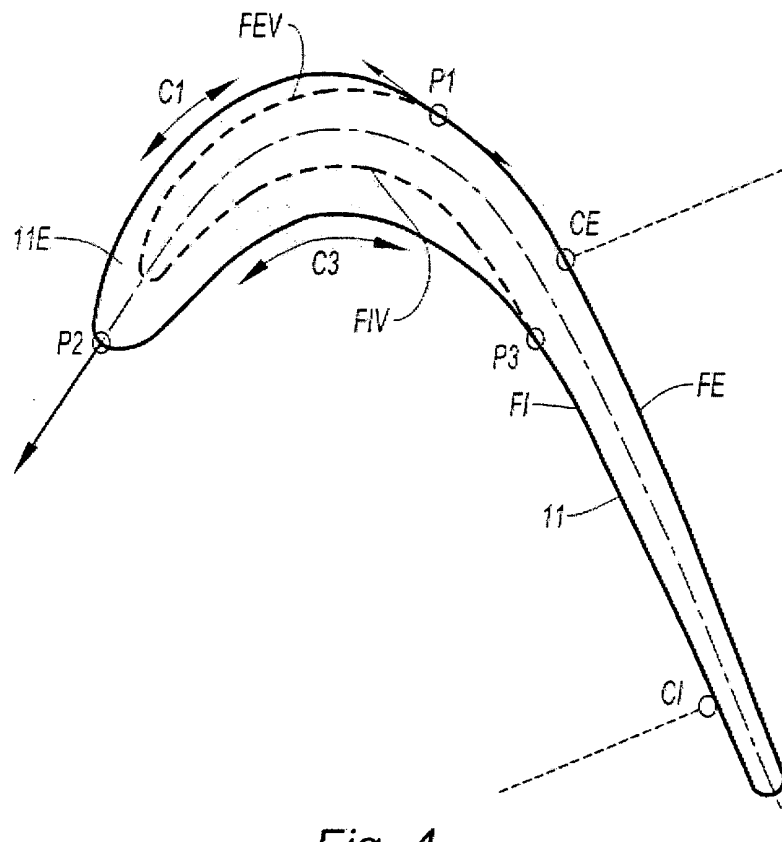


Fig. 4

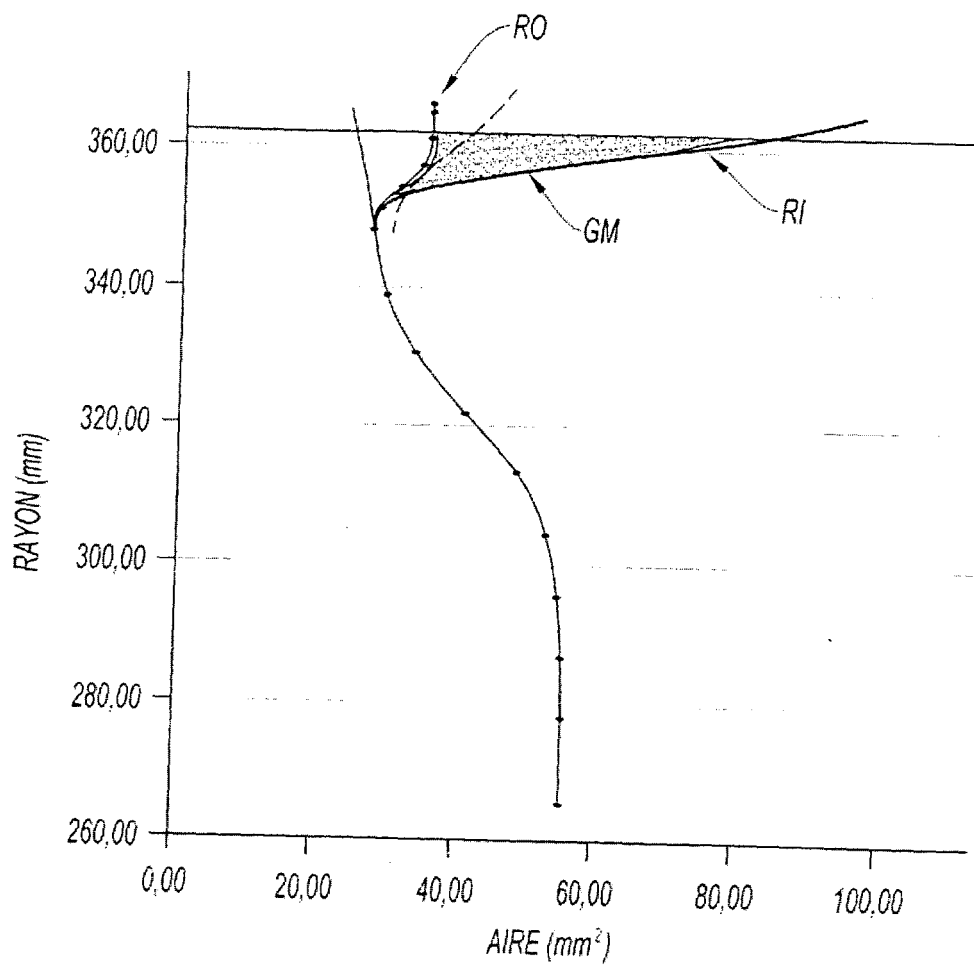


Fig. 5

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 0833060 A [0009]
- EP 0441097 A [0009]
- EP 1688586 A [0009]