

(19)



(11)

EP 4 004 345 B1

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:

11.06.2025 Bulletin 2025/24

(21) Numéro de dépôt: **20757636.4**

(22) Date de dépôt: **22.07.2020**

(51) Classification Internationale des Brevets (IPC):
F01D 5/18 (2006.01)

(52) Classification Coopérative des Brevets (CPC):
F01D 5/187; F01D 5/186; F05D 2240/304

(86) Numéro de dépôt international:
PCT/FR2020/051338

(87) Numéro de publication internationale:
WO 2021/019156 (04.02.2021 Gazette 2021/05)

(54) **AUBE MOBILE DE TURBOMACHINE A CIRCUIT DE REFROIDISSEMENT AYANT UNE DOUBLE
RANGEE DE FENTES D'EVACUATION**

LAUFSCHAUFEL EINER STRÖMUNGSMASCHINE MIT KÜHLKREISLAUF MIT EINER
DOPPELREIHE VON AUSLASSSCHLITZEN

TURBOMACHINE MOVING BLADE WITH COOLING CIRCUIT HAVING A DOUBLE ROW OF
DISCHARGE SLOTS

(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: **30.07.2019 FR 1908655**

(43) Date de publication de la demande:
01.06.2022 Bulletin 2022/22

(73) Titulaire: **SAFRAN AIRCRAFT ENGINES
75015 Paris (FR)**

(72) Inventeurs:

- **ENEAU, Patrice**
77550 MOISSY-CRAMAYEL (FR)
- **SLUSARZ, Michel**
77550 MOISSY-CRAMAYEL (FR)

(74) Mandataire: **Cabinet Beau de Loménie**
158, rue de l'Université
75340 Paris Cedex 07 (FR)

(56) Documents cités:

FR-A1- 2 678 318 JP-A- 2003 056 301
JP-A- 2014 111 901 US-A1- 2014 003 962

EP 4 004 345 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

Domaine Technique

[0001] La présente invention se rapporte au domaine général des aubes de turbomachine, et plus particulièrement à l'évacuation en bord de fuite de l'air de refroidissement d'aubes d'une turbine haute-pression de turbomachine.

Technique antérieure

[0002] Les aubes d'une turbine haute-pression de turbomachine sont soumises aux températures élevées des gaz issus de la chambre de combustion et qui traversent la turbine haute-pression. Ces températures atteignent des valeurs largement supérieure à celles que peuvent supporter les aubes qui sont en contact avec ces gaz, ce qui a pour conséquence de limiter leur durée de vie.

[0003] Afin de limiter les dommages causés par ces gaz chauds sur les aubes, il est connu de les munir de circuits de refroidissement internes visant à réduire la température de ces dernières. Grâce à de tels circuits, de l'air de refroidissement, qui est généralement introduit dans l'aube par son pied, traverse celle-ci en suivant un trajet formé par des cavités pratiquées dans l'aube avant d'être éjecté par des fentes s'ouvrant à la surface de l'aube, entre le pied et le sommet de celle-ci.

[0004] Les besoins grandissant en termes de performances, rendement, durée de vie et fiabilité poussent à concevoir des circuits de refroidissement de plus en plus efficaces. En effet, augmenter l'efficacité de ces circuits de refroidissement présente de nombreux avantages. En particulier, le niveau thermique admissible dans la veine sera plus élevé et le moteur plus performant à iso-débit de refroidissement. De plus, le débit de refroidissement nécessaire pour garantir l'intégrité des pièces refroidies par ces circuits de refroidissement sera moins important pour un point de fonctionnement donné. Enfin, la durée de vie de ces pièces sera plus élevée pour un même débit de ventilation et pour les mêmes conditions thermodynamiques.

[0005] Dans cette optique d'augmenter l'efficacité des circuits de refroidissement, on constate que le bord de fuite de l'aube mobile est une zone critique d'un point de vue thermique et mécanique du fait de la difficulté à le refroidir efficacement. Ceci est principalement dû au manque d'espace, notamment à cause des épaisseurs minimales de matière requises pour la fabrication de l'aube, et en particulier à la jonction des parois intrados et extrados au bord de fuite.

[0006] Pour refroidir efficacement le bord de fuite, il est connu de réaliser par fonderie des fentes d'évacuation des circuits de refroidissement du côté intrados de l'aube. Ces fentes permettent un refroidissement de la matière au bord de fuite par pompage, et par film (« film cooling » en anglais) avec une éjection quasi-tangente au profil de l'aube, ce qui augmente fortement son effi-

cacité.

[0007] En revanche, la zone de l'aube en amont des fentes d'évacuation est une zone difficile à refroidir qui affiche régulièrement un niveau thermique important.

Ceci est dû notamment au manque d'espace pour mettre des promoteurs de turbulences pour le refroidissement et pour avoir deux cavités de refroidissement dans l'épaisseur de l'aube.

[0008] Le document JP 2014 111901 décrit une aube comprenant deux rangées d'orifices de refroidissement. Le document JP 2003 056301 divulgue une aube comprenant deux rangées des fentes de refroidissement.

Exposé de l'invention

[0009] La présente invention a donc pour but de proposer une aube mobile de turbomachine qui ne présente pas les inconvénients précités.

[0010] Conformément à l'invention, ce but est atteint grâce à une aube mobile de turbomachine, comprenant une pale s'étendant radialement entre un pied d'aube et un sommet d'aube et axialement entre un bord d'attaque et un bord de fuite, et au moins un circuit de refroidissement comprenant au moins une cavité s'étendant radialement entre le pied et le sommet, au moins une ouverture d'admission d'air à une extrémité radiale de la cavité, une pluralité de premières fentes d'évacuation aménagées le long du bord de fuite entre le pied et le sommet, et une pluralité de secondes fentes d'évacuation distinctes des premières fentes et aménagées le long du bord de fuite entre le pied et le sommet, les secondes fentes d'évacuation étant décalées axialement vers l'amont par rapport aux premières fentes d'évacuation et chacune des premières fentes d'évacuation étant radialement décalée par rapport à chacune des secondes fentes d'évacuation, sans chevauchement radial entre les premières et secondes fentes d'évacuation.

[0011] L'invention est remarquable en ce qu'elle prévoit une rangée supplémentaire de fentes d'évacuation en amont et radialement décalée sans chevauchement vis-à-vis de la rangée de fentes d'évacuation habituelle. Ainsi, cette rangée supplémentaire permet de bénéficier d'un refroidissement en amont des fentes habituelles. La face intrados de l'aube est alors refroidie sur une abscisse curviligne plus importante au niveau du bord de fuite de l'aube. Par ailleurs, en amont de cette rangée supplémentaire de fentes d'évacuation, l'épaisseur du profil de l'aube est plus importante, ce qui permet de disposer d'une cavité munie de promoteurs de refroidissement ou de disposer de deux cavités distinctes. Enfin, cette disposition radialement décalée des fentes des deux rangées sans chevauchement entre elles permet d'augmenter l'efficacité du refroidissement, notamment pour le refroidissement des nervures de fentes situées en aval.

[0012] Les premières fentes d'évacuation et les secondes fentes d'évacuation peuvent déboucher dans la

même cavité du circuit de refroidissement.

[0013] Alternativement, les premières fentes d'évacuation et les secondes fentes d'évacuation peuvent déboucher dans deux cavités distinctes du circuit de refroidissement.

[0014] Dans ce cas, la cavité dans laquelle débouchent les secondes fentes d'évacuation est de préférence décalée axialement vers l'amont par rapport à la cavité dans laquelle débouchent les premières fentes d'évacuation.

[0015] Les premières fentes d'évacuation débouchent au niveau du bord de fuite et les secondes fentes d'évacuation peuvent déboucher au niveau d'une face intrados de l'aube.

[0016] Alternativement, les premières fentes d'évacuation et les secondes fentes d'évacuation peuvent s'ouvrir au niveau d'une face intrados de l'aube.

[0017] Les premières fentes d'évacuation et les secondes fentes d'évacuation peuvent être agencées en colonnes. De même, les secondes fentes d'évacuation peuvent occuper exactement chacun des espaces radiaux laissés entre les premières fentes d'évacuation. L'invention a également objet un procédé de fabrication par fonderie d'une aube telle que définie précédemment, comprenant la réalisation d'un noyau en céramique par fabrication additive, le noyau permettant de réaliser les premières fentes d'évacuation et les secondes fentes d'évacuation. Cette solution de fabrication permet de réaliser les noyaux de fonderie nécessaires pour réserver les emplacements pour les cavités du circuit de refroidissement. L'invention a encore pour objet une turbine haute-pression de turbomachine, comprenant un disque qui présente une pluralité d'alvéoles qui débouchent à la périphérie du disque et une pluralité d'aubes telles que définies précédemment.

Brève description des dessins

[0018]

[Fig. 1] La figure 1 est une vue en perspective d'un exemple d'aube à laquelle s'applique l'invention.

[Fig. 2] La figure 2 est une vue en coupe transversale d'une aube selon un mode de réalisation de l'invention montrant le circuit de refroidissement du bord de fuite de l'aube.

[Fig. 3] La figure 3 est une vue partielle et en perspective côté intrados d'une aube selon un autre mode de réalisation de l'invention montrant les fentes d'évacuation du circuit de refroidissement du bord de fuite de l'aube.

[Fig. 4] La figure 4 est une vue partielle et en perspective côté intrados d'une aube selon encore un autre mode de réalisation de l'invention.

Description des modes de réalisation

[0019] La figure 1 représente en perspective une aube 2 de turbine, par exemple une aube mobile de turbine haute-pression d'une turbomachine. L'aube 2 est fixée sur un rotor de turbine (non représenté) par l'intermédiaire d'un emmanchement 4 généralement en forme de sapin.

[0020] De façon connue, l'aube 2 comprend une pale 6 qui s'étend radialement entre un pied 8 d'aube et un sommet 10 d'aube, et axialement entre un bord d'attaque 12 et un bord de fuite 14. La pale 6 de l'aube définit ainsi l'intrados 6a et l'extrados 6b de l'aube.

[0021] L'aube 2, qui est soumise aux températures élevées des gaz de combustion traversant la turbine nécessite d'être refroidie. A cet effet, et toujours de façon connue, l'aube 2 comporte un ou plusieurs circuits internes de refroidissement, et notamment un circuit interne de refroidissement du bord de fuite.

[0022] Comme représenté sur la figure 2, le circuit interne de refroidissement du bord de fuite de l'aube comprend au moins une cavité 16 s'étendant radialement entre le pied 8 et le sommet 10. La cavité 16 est alimentée en air de refroidissement à l'une de ses extrémités radiales par une ouverture d'admission d'air (non représentée) qui est généralement prévue au niveau du pied 4 de l'aube.

[0023] Dans l'exemple de réalisation représenté sur la figure 2, le circuit interne de refroidissement du bord de fuite de l'aube comprend deux cavités distinctes 16a, 16b qui sont décalées axialement l'une par rapport à l'autre.

[0024] Selon l'invention, le circuit de refroidissement du bord de fuite comprend également une pluralité de premières fentes d'évacuation 18 qui sont aménagées le long du bord de fuite 14 de l'aube entre le pied 8 et le sommet 10, et une pluralité de secondes fentes d'évacuation 20 qui sont distinctes des premières fentes d'évacuation 18 et qui sont également aménagées le long du bord de fuite entre le pied et le sommet d'aube.

[0025] Dans l'exemple de réalisation représenté sur la figure 2, les premières fentes d'évacuation 18 débouchent dans la cavité 16b du circuit de refroidissement et s'ouvrent sur la face intrados 6a de l'aube à proximité de son bord de fuite 14. Quant aux secondes fentes d'évacuation 20, elles débouchent dans la cavité 16a du circuit de refroidissement et s'ouvrent également sur la face intrados 6a de l'aube à proximité de son bord de fuite 14.

[0026] Par ailleurs, comme représenté plus précisément sur la figure 3, les secondes fentes d'évacuation 20 sont décalées axialement vers l'amont par rapport aux premières fentes d'évacuation 18 et disposées pour être radialement décalées par rapport aux premières fentes d'évacuation sans chevauchement entre elles, c'est-à-dire que la paroi inférieure d'une fente donnée ne chevauche pas la paroi supérieure de la fente adjacente radialement décalé et inversement.

[0027] Ainsi, les premières et secondes fentes d'évacuation 18, 20 sont agencées de sorte à former deux

rangées distinctes de fentes qui sont décalées axialement et radialement l'une par rapport à l'autre.

[0028] La figure 3 représente un deuxième mode de réalisation de l'invention dans laquelle les premières fentes d'évacuation 18 et les secondes fentes d'évacuation 20 débouchent dans la même cavité 16 du circuit de refroidissement du bord de fuite de l'aube. Plus précisément, dans cet exemple qui ne saurait être limité à cette alimentation par une unique cavité, les parois inférieures des premières fentes 18 coïncident avec les parois supérieures des secondes fentes adjacentes 20 et les parois supérieures des premières fentes 18 coïncident avec les parois inférieures des secondes fentes adjacentes 20, de sorte que les secondes fentes occupent exactement chacun des espaces radiaux laissés entre les premières fentes.

[0029] La figure 4 représente un troisième mode de réalisation de l'invention dans laquelle les premières fentes d'évacuation 18 du circuit de refroidissement du bord de fuite débouchent au niveau du bord de fuite 14 de l'aube, tandis que les secondes fentes d'évacuation 20 débouchent au niveau de la face intrados 6a de l'aube 2.

[0030] L'aube 2 selon l'invention est obtenue directement par moulage. A cet effet, l'aube est réalisée en coulant un métal dans un moule contenant un noyau céramique qui a notamment pour fonction de réserver un emplacement pour le circuit de refroidissement de l'aube, et notamment pour la cavité 16 et les premières et secondes fentes d'évacuation 18, 20 du circuit de refroidissement du bord de fuite de l'aube.

[0031] Afin d'obtenir directement en sortie de fonderie la double rangée de fentes d'évacuation, le noyau en céramique est avantageusement réalisée par fabrication additive.

Revendications

1. Aube mobile (2) de turbomachine, comprenant :

une pale (6) s'étendant radialement entre un pied (8) d'aube et un sommet (10) d'aube et axialement entre un bord d'attaque (12) et un bord de fuite (14) ; et

au moins un circuit de refroidissement comprenant au moins une cavité (16 ; 16a, 16b) s'étendant radialement entre le pied (8) et le sommet (10), au moins une ouverture d'admission d'air à une extrémité radiale de la cavité (16 ; 16a, 16b), une pluralité de premières fentes d'évacuation (18) aménagées pour déboucher le long du bord de fuite entre le pied (8) et le sommet (10), et une pluralité de secondes fentes d'évacuation (20) distinctes des premières fentes d'évacuation et aménagées le long du bord de fuite (14) entre le pied (8) et le sommet (10), les secondes fentes d'évacuation (20) étant décalées axialement vers l'amont par rapport aux premières fentes

d'évacuation (18) et chacune des premières fentes d'évacuation (18) étant radialement décalée par rapport à chacune des secondes fentes d'évacuation (20), sans chevauchement radial entre les premières et secondes fentes d'évacuation.

2. Aube (2) selon la revendication 1, dans laquelle les premières fentes d'évacuation (18) et les secondes fentes d'évacuation (20) débouchent dans la même cavité (16) du circuit de refroidissement.

3. Aube (2) selon la revendication 1, dans laquelle les premières fentes d'évacuation (18) et les secondes fentes d'évacuation (20) débouchent dans deux cavités (16a, 16b) distinctes du circuit de refroidissement.

4. Aube (2) selon la revendication 3, dans laquelle la cavité (16a) dans laquelle débouchent les secondes fentes d'évacuation (20) est décalée axialement vers l'amont par rapport à la cavité (16b) dans laquelle débouchent les premières fentes d'évacuation (18).

5. Aube (2) selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans laquelle les premières fentes d'évacuation (18) débouchent au niveau du bord de fuite (14) et les secondes fentes d'évacuation (20) débouchent au niveau d'une face intrados (6a) de l'aube.

6. Aube (2) selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans laquelle les premières fentes d'évacuation (18) et les secondes fentes d'évacuation (20) débouchent au niveau d'une face intrados (6a) de l'aube.

7. Aube (2) selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, dans laquelle les premières fentes d'évacuation (18) et les secondes fentes d'évacuation (20) sont agencées en colonnes.

8. Aube (2) selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, dans laquelle les secondes fentes d'évacuation (20) occupent exactement chacun des espaces radiaux laissés entre les premières fentes d'évacuation (18).

9. Procédé de fabrication par fonderie d'une aube selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, comprenant la réalisation d'un noyau en céramique par fabrication additive, le noyau permettant de réaliser les premières fentes d'évacuation (18) et les secondes fentes d'évacuation (20).

10. Turbine haute-pression de turbomachine, comprenant un disque qui présente une pluralité d'alvéoles qui débouchent à la périphérie du disque et une

pluralité d'aubes (2) selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, le pied de chaque aube (2) étant monté dans une alvéole respective du disque.

Patentansprüche

1. Laufschaufel (2) einer Strömungsmaschine, umfassend:

ein Blatt (6), das sich radial zwischen einem Laufschaufelfuß (8) und einer Laufschaufelspitze (10) und axial zwischen einer Anströmkante (12) und einer Abströmkante (14) erstreckt; und mindestens einen Kühlkreislauf, umfassend mindestens einen Hohlraum (16; 16a, 16b), der sich radial zwischen dem Fuß (8) und der Spitze (10) erstreckt, mindestens eine Lufteinlassöffnung an einem radialen Ende des Hohlraums (16; 16a, 16b), eine Vielzahl von ersten Auslassschlitzen (18), die angeordnet sind, um entlang der Abströmkante zwischen dem Fuß (8) und dem Scheitel (10) zu münden, und eine Vielzahl von zweiten Auslassschlitzen (20), die sich von den ersten Auslassschlitzen unterscheiden und entlang der Abströmkante (14) zwischen dem Fuß (8) und der Spitze (10) ausgebildet sind, wobei die zweiten Auslassschlitze (20) gegenüber den ersten Auslassschlitzen (18) axial stromaufwärts versetzt sind und jeder der ersten Auslassschlitze (18) gegenüber jedem der zweiten Auslassschlitze (20) radial versetzt ist, ohne dass es zu einer radialen Überlappung zwischen den ersten und zweiten Auslassschlitzen kommt.

2. Laufschaufel (2) nach Anspruch 1, wobei die ersten Auslassschlitze (18) und die zweiten Auslassschlitze (20) in denselben Hohlraum (16) des Kühlkreislaufs münden.
3. Laufschaufel (2) nach Anspruch 1, wobei die ersten Auslassschlitze (18) und die zweiten Auslassschlitze (20) in zwei verschiedene Hohlräume (16a, 16b) des Kühlkreislaufs münden.
4. Laufschaufel (2) nach Anspruch 3, wobei der Hohlraum (16a), in den die zweiten Auslassschlitze (20) münden, in Bezug auf den Hohlraum (16b), in den die ersten Auslassschlitze (18) münden, axial stromaufwärts versetzt ist.
5. Laufschaufel (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die ersten Auslassschlitze (18) an der Abströmkante (14) münden und die zweiten Auslassschlitze (20) an einer Unterseitenfläche (6a) der Laufschaufel münden.

6. Laufschaufel (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die ersten Auslassschlitze (18) und die zweiten Auslassschlitze (20) an einer Unterseitenfläche (6a) der Laufschaufel münden.

5

7. Laufschaufel (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei die ersten Auslassschlitze (18) und die zweiten Auslassschlitze (20) in Spalten angeordnet sind.

10

8. Laufschaufel (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei die zweiten Auslassschlitze (20) genau jeden der Räume einnehmen, die zwischen den ersten Auslassschlitzen (18) belassen sind.

15

9. Verfahren zur Herstellung einer Laufschaufel nach einem der Ansprüche 1 bis 6 durch Gießen, umfassend die Herstellung eines Keramikkers durch additive Fertigung, wobei der Kern eine Herstellung der ersten Auslassschlitze (18) und der zweiten Auslassschlitze (20) ermöglicht.

20

10. Hochdruckturbine einer Strömungsmaschine, umfassend eine Scheibe, die eine Vielzahl von Kammern aufweist, die an dem Umfang der Scheibe münden, und eine Vielzahl von Laufschaufeln (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei der Fuß jeder Laufschaufel (2) in einer jeweiligen Kammer der Scheibe montiert ist.

25

30

Claims

1. A movable turbomachine blade (2) comprising:

35

a vane (6) extending radially between a blade root (8) and a blade tip (10) and axially between a leading edge (12) and a trailing edge (14); and at least one cooling circuit comprising at least one cavity (16; 16a, 16b) extending radially between the root (8) and the tip (10), at least one air intake opening at a radial end of the cavity (16; 16a, 16b), a plurality of first discharge slots (18) arranged to open out along the trailing edge between the root (8) and the tip (10), and a plurality of second discharge slots (20) separate from the first discharge slots and arranged along the trailing edge (14) between the root (8) and the tip (10), the second discharge slots (20) being offset axially upstream relative to the first discharge slots (18) and each of the first discharge slots (18) being radially offset relative to each of the second discharge slots (20), with no overlap between the first and second discharge slots.

40

45

50

55

2. The blade (2) according to claim 1, wherein the first discharge slots (18) and the second discharge slots (20) open out into the same cavity (16) of the cooling

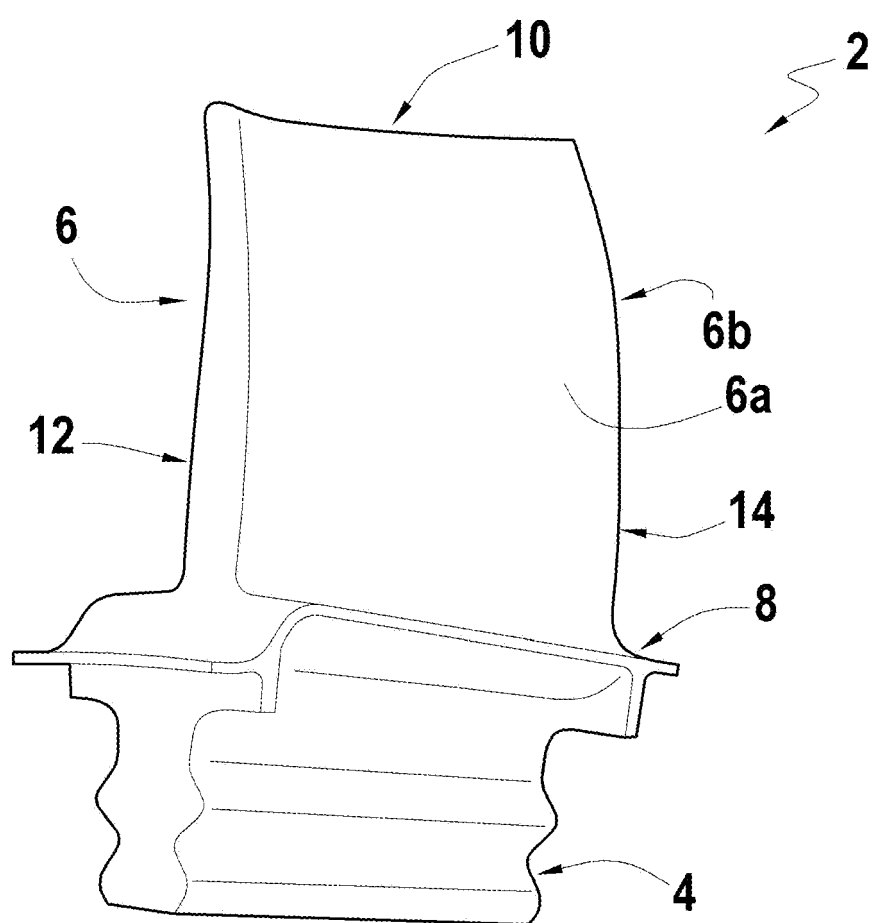
circuit.

3. The blade (2) according to claim 1, wherein the first discharge slots (18) and the second discharge slots (20) open out into two separate cavities (16a, 16b) of the cooling circuit. 5
4. The blade (2) according to claim 3, wherein the cavity (16a) into which the second discharge slots (20) open out is offset axially upstream relative to the cavity (16b) into which the first discharge slots (18) open out. 10
5. The blade (2) according to any one of claims 1 to 4, wherein the first discharge slots (18) open out at the trailing edge (14) and the second discharge slots (20) open out at an intrados face (6a) of the blade. 15
6. The blade (2) according to any one of claims 1 to 4, wherein the first discharge slots (18) and the second discharge slots (20) open out at an intrados face (6a) of the blade. 20
7. The blade (2) according to any one of claims 1 to 6, wherein the first discharge slots (18) and the second discharge slots (20) are arranged in columns. 25
8. The blade (2) according to any one of claims 1 to 6, wherein the second discharge slots (20) occupy exactly each of the radial spaces left between the first discharge slots (18). 30
9. A method for manufacturing, by foundry, a blade according to any one of claims 1 to 6, comprising the production of a ceramic core by additive manufacturing, the core making it possible to produce the first discharge slots (18) and the second discharge slots (20). 35
10. A high-pressure turbomachine turbine comprising a disk which has a plurality of cells which open out at the periphery of the disk and a plurality of blades (2) according to any one of claims 1 to 7, the root of each blade (2) being mounted in a respective cell of the disk. 40
45

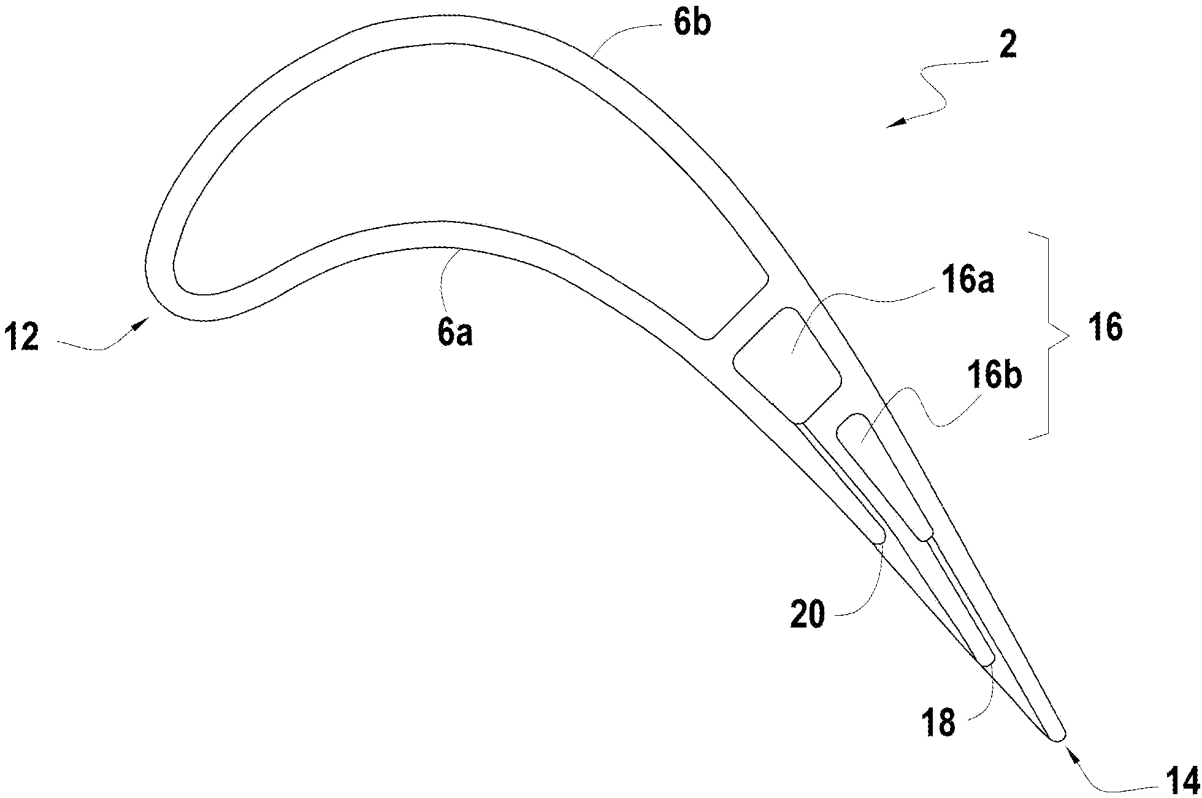
50

55

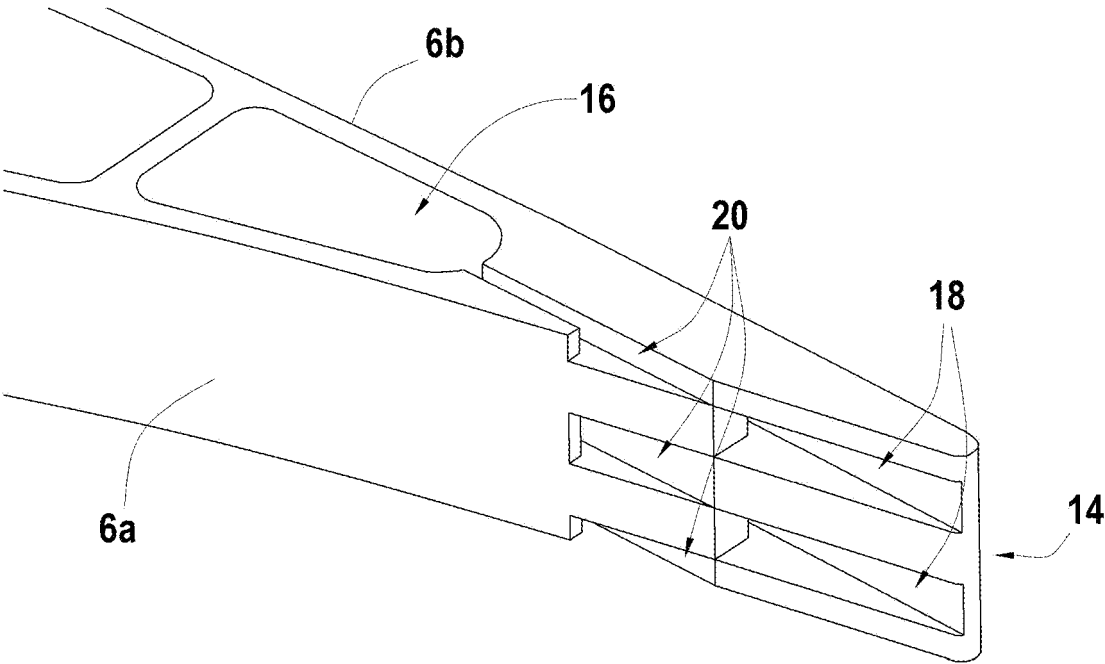
[Fig. 1]



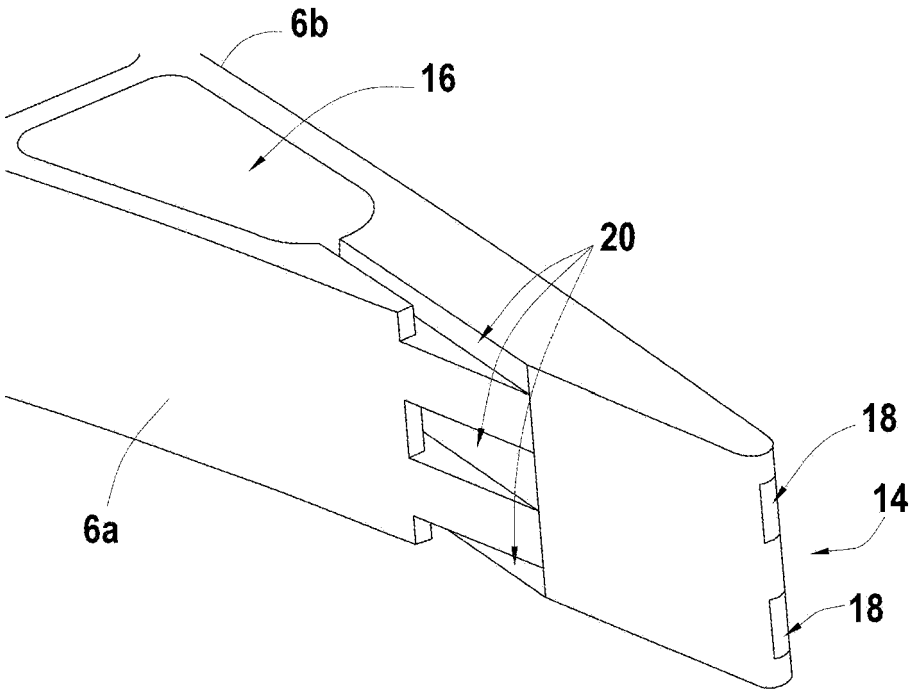
[Fig. 2]



[Fig. 3]



[Fig. 4]



RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

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

Documents brevets cités dans la description

- JP 2014111901 A [0008]
- JP 2003056301 A [0008]