



(11)

EP 4 308 322 B1

(12)

**FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention de la délivrance du brevet:  
**12.02.2025 Bulletin 2025/07**

(21) Numéro de dépôt: **22713704.9**(22) Date de dépôt: **08.03.2022**

(51) Classification Internationale des Brevets (IPC):  
**B22C 7/02 (2006.01)**      **B22C 9/04 (2006.01)**  
**B22C 9/10 (2006.01)**      **B22C 21/14 (2006.01)**

(52) Classification Coopérative des Brevets (CPC):  
**B22C 7/02; B22C 9/04; B22C 9/103; B22C 21/14**

(86) Numéro de dépôt international:  
**PCT/FR2022/050416**

(87) Numéro de publication internationale:  
**WO 2022/195196 (22.09.2022 Gazette 2022/38)**

**(54) PROCÉDÉ DE FABRICATION PAR MOULAGE DE CIRE PERDUE**

VERLORENES WACHSFORMHERSTELLUNGSVERFAHREN

LOST WAX MOULDING MANUFACTURING PROCESS

(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: **16.03.2021 FR 2102604**

(43) Date de publication de la demande:  
**24.01.2024 Bulletin 2024/04**

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

(72) Inventeurs:  
• **GUERCHE, Didier, Maurice, Marceau  
77550 MOISSY-CRAMAYEL (FR)**

- TAMI LIZUZU, Joseph, Toussaint  
77550 MOISSY-CRAMAYEL (FR)**

(74) Mandataire: **Ernest Gutmann - Yves Plasseraud S.A.S.  
C/o Plasseraud IP  
104 Rue de Richelieu  
CS 92104  
75080 Paris Cedex 02 (FR)**

(56) Documents cités:  
**EP-A1- 3 036 055**      **WO-A1-2021/038174**  
**WO-A2-2004/033128**      **FR-A1- 2 889 088**

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 de l'invention

**[0001]** Le présent exposé concerne le domaine des turbines, en particulier celui des turbines de turbomachine, et vise un procédé de fabrication par moulage à cire perdue de pièces, notamment d'aubes, lesdites pièces comprenant des cavités destinées à la circulation de fluides de refroidissement.

Etat de la technique antérieure

**[0002]** Les aubes de turbine sont soumises à des contraintes thermiques élevées et comprennent des moyens de refroidissement par circulation d'un fluide caloporteur, généralement de l'air dans le cas d'un moteur à turbine à gaz, à l'intérieur de cavités ménagées dans l'aube.

**[0003]** Les aubes de turbines sont généralement fabriquées par moulage, en particulier par fonderie à cire perdue. Cette technique consiste à réaliser un modèle en cire de la pièce à fabriquer. Le modèle en cire est enveloppé dans un moule carapace en céramique. Celui-ci est fabriqué par des trempages successifs du modèle en cire dans des barbotines contenant une matière céramique et par stucage de la couche formée entre chaque trempage. Le modèle en cire est éliminé lors d'une première cuisson à une température adaptée. Le moule carapace est ensuite cuit à une température élevée pour lui conférer la résistance nécessaire à la coulée du métal.

**[0004]** Le moule carapace comporte alors une cavité formant l'image du modèle en creux, du métal en fusion étant coulé dans ladite cavité. Après refroidissement, le moule carapace est cassé pour dégager la pièce. Celle-ci subit ensuite un traitement de finition.

**[0005]** Lorsque l'aube comprend des cavités pour la circulation du fluide de refroidissement, il faut incorporer dans le modèle un ou plusieurs éléments de noyaux. Cette phase du procédé comprend d'abord la fabrication séparée du ou des éléments de noyaux par moulage d'une matière céramique consolidée par un liant, leur assemblage le cas échéant, et la mise en place du ou des éléments de noyaux dans un moule à cire. Un modèle en cire est ainsi réalisé par injection de cire dans le moule à cire. Ce modèle est une réplique de la pièce à obtenir.

**[0006]** La figure 1 représente, en coupe perpendiculaire à l'axe de la pièce, un moule à cire 10 dont la paroi interne est l'image de la pièce à obtenir. Ce moule à cire est ici en deux parties 10A et 10B. Un noyau 13 composé d'une pluralité de branches 13A à 13G parallèles entre elles est disposé dans le moule 10. Les branches définissent entre elles des espaces qui formeront des cloisons après la coulée du métal. Pour assurer le calage du noyau à l'intérieur du moule, des picots 20 en platine sont disposés entre le noyau 13G et la paroi 17 du moule, les picots 20 assurant la fonction d'entretoise. Un moule carapace en céramique est ensuite obtenu après l'ex-

traction du modèle en cire. Du métal en fusion est ensuite coulé dans l'espace entre les parois du moule céramique et celles du noyau. Les picots sont alors fondus et dissous dans le métal. Le noyau en céramique est ensuite éliminé par un traitement approprié.

**[0007]** La fonction des picots est de maintenir un espace entre les parois du noyau et la paroi interne du moule, en particulier lors de l'injection de cire dans le moule à cire. Ceci permet de garantir un respect des dimensions du modèle en cire, et donc du moule carapace en céramique et de la pièce métallique à fabriquer.

**[0008]** Cependant, dans le cas d'une pièce à fabriquer comprenant des cavités aux géométries complexes, il est nécessaire de recourir à de nombreux éléments de noyaux. Ceci augmente la complexité du procédé et rend difficile le maintien en position des éléments de noyaux dans le modèle à cire. L'augmentation du nombre de picots augmente également le risque d'oubli de picots par le fabricant ce qui modifierait localement la géométrie du noyau. En outre, le coût de la pièce fabriqué est plus important, du fait de la complexité du procédé de fabrication. Les documents FR2889088 et WO2021038174 présentent des exemples de noyaux pour fonderie à la cire perdue assemblés à l'aide de tiges.

25 Résumé de l'invention

**[0009]** Le présent exposé a pour but de proposer un procédé de fabrication d'une pièce à cavités par moulage de cire en assurant des épaisseurs précises des parois de la pièce, de façon fiable et peu coûteuse.

**[0010]** A cet effet, le présent exposé propose un procédé de réalisation d'un modèle en cire pour la fabrication d'une pièce, telle qu'une aube de turbine, ladite pièce comprenant au moins une cavité, le procédé comprenant les étapes consistant à :

disposer au moins deux éléments de noyaux en matière céramique dans un moule à cire, lesdits éléments de noyaux présentant au moins en partie une forme complémentaire de la cavité de la pièce à fabriquer, et

injecter de la cire dans le moule à cire, autour des éléments de noyaux, de façon à former le modèle en cire,

dans lequel les deux éléments de noyaux sont assemblés préalablement à l'injection de cire par au moins une agrafe, ladite agrafe comportant une partie centrale à partir de laquelle s'étendent deux branches, chaque branche étant engagée dans un orifice ménagé dans l'un des éléments de noyaux.

**[0011]** Ainsi, l'agrafe permet de maintenir les éléments de noyaux en position relativement l'un par rapport à l'autre et/ou par rapport à la surface interne du moule à cire, en particulier lors de l'injection de cire dans le moule à cire. Le modèle en cire obtenu forme ainsi une réplique dont les dimensions sont maîtrisées, de façon à ce que la

pièce fabriquée sur la base de ce modèle correspond aux spécifications dimensionnelles. Une à deux agrafes peuvent permettre de maintenir deux éléments de noyaux en place l'un par rapport à l'autre, ce qui permet de réduire le coût du procédé de fabrication. En outre, une fois l'agrafe en position, par exemple après collage, elle va rester en place pendant la totalité du procédé sans risquer de la perdre ou de la déplacer légèrement, ce qui causerait un mauvais positionnement. Ainsi, l'agrafe permet de garantir l'épaisseur de paroi autour du noyau.

**[0012]** Les éléments de noyaux peuvent présenter en partie une forme complémentaire de la cavité et leur assemblage peut présenter en totalité la forme complémentaire de la cavité.

**[0013]** L'agrafe peut présenter une forme générale de U, de C, V ou M.

**[0014]** La pièce à fabriquer peut comprendre au moins deux cavités formées chacune par un noyau dont la forme peut être dépendante de la forme de la cavité à réaliser.

**[0015]** Le procédé peut comprendre préalablement à l'assemblage des deux éléments de noyaux par l'agrafe, une étape consistant à positionner au moins une entretoise entre les deux éléments de noyaux pour maintenir lesdits éléments de noyaux à une distance prédéterminée l'un de l'autre. Ladite entretoise peut être retirée après la fixation de l'agrafe. Les deux éléments de noyaux peuvent être assemblés directement par l'agrafe sans utiliser l'entretoise.

**[0016]** Au moins l'une, en particulier chacune, des branches de l'agrafe peut être maintenue dans l'orifice par collage.

**[0017]** Le collage de l'une des branches de l'agrafe peut être réalisé par une colle, par exemple du type Loctite®, de la cire ou tout autre moyen approprié pour maintenir ladite branche dans l'orifice correspondant.

**[0018]** Au moins un, en particulier chaque, orifice d'un des éléments de noyaux peut être un orifice borgne. Ceci permet de limiter la longueur des branches de l'agrafe.

**[0019]** Au moins un, en particulier chaque, orifice d'un des éléments de noyaux peut être un orifice traversant, la branche correspondante de l'agrafe traversant ledit orifice et l'extrémité libre de ladite branche étant rabattue sur le noyau correspondant de façon à bloquer l'agrafe en position. Ceci permet d'assurer le maintien en position relative des éléments de noyaux de façon plus fiable.

**[0020]** La partie centrale et les deux branches de l'agrafe peuvent présenter une section circulaire. Au moins un, en particulier chaque, orifice d'un des éléments de noyaux peut présenter un diamètre compris entre 0,5 mm et 1 mm, en particulier égal à 0,8 mm. L'agrafe peut présenter un diamètre sensiblement identique au diamètre du ou des orifices correspondants, avec un jeu de montage qui est par exemple de l'ordre de 0,1 mm.

**[0021]** L'agrafe peut être réalisée en platine ou dans un autre matériau, en fonction du matériau métallique prévu pour la coulée.

**[0022]** Les noyaux peuvent présenter des premières

surfaces latérales tournées d'un même côté. Ladite agrafe peut être placée de sorte que la branche centrale est contre lesdites premières faces latérales des noyaux.

**[0023]** Les branches de l'agrafe peuvent s'étendre dans la même direction en traversant les noyaux.

**[0024]** Les parties distales des branches de l'agrafe peuvent être rabattues sur des secondes surfaces latérales des noyaux opposées aux premières surfaces latérales. En particulier, les branches de l'agrafe peuvent être rabattues sur lesdites surfaces latérales suivant deux directions opposées.

**[0025]** Le présent exposé concerne aussi un procédé de fabrication d'une pièce, telle qu'une aube de turbine, comprenant au moins une cavité comportant les étapes

15 consistant à :

- réaliser un modèle en cire selon le procédé précité,
- former un moule carapace en matière céramique à partir du modèle en cire,
- éliminer le modèle en cire,
- couler un matériau métallique en fusion dans le moule carapace.

**[0026]** Le moule carapace peut être fabriqué par des trempages successifs du modèle en cire dans des barbotines contenant une matière céramique et par stucage de la couche formée entre chaque trempage.

**[0027]** Le modèle en cire peut être éliminé du moule carapace par une cuisson à une température adaptée.

**[0028]** Le moule carapace peut être cuit à une température élevée après retrait du modèle en cire. Le moule carapace peut être éliminé après la coulée du matériau métallique par un traitement mécanique et/ou chimique approprié.

**[0029]** La pièce peut être une aube mobile ou une aube de stator de turbine.

#### Brève description des figures

40 **[0030]**

[Fig. 1] la figure 1, déjà décrite, représente une vue schématique d'un moule à cire pour fabriquer un modèle en cire,

45 [Fig. 2] les figures 2a et 2b sont des vues schématiques en perspective de deux éléments de noyaux prévus pour former chacun une cavité correspondante dans une aube à fabriquer.

50 [Fig. 3] la figure 3 montre une première étape d'assemblage des éléments de noyaux de la figure 2.

[Fig. 4] la figure 4 montre une deuxième étape d'assemblage des éléments de noyaux de la figure 2.

[Fig. 5] la figure 5 montre une vue schématique en perspective d'une agrafe reliant les éléments de noyaux de la figure 2.

[Fig. 6] la figure 6 montre une vue schématique en coupe d'une agrafe reliant les éléments de noyaux de la figure 2.

## Description détaillée de l'invention

**[0031]** En référence aux figures 2 à 6, un modèle en cire pour fabriquer une aube est obtenu par injection de cire dans le moule à cire 10. Préalablement à l'injection de cire, des éléments de noyaux 102 et 104 sont disposés dans le moule à cire 10 à la place des éléments de noyaux 13. Les éléments de noyaux 102 et 104 sont réalisés dans un matériau céramique. Une face externe 106 du noyau 102 définit le bord d'attaque de l'aube à réaliser. Une partie 108 du noyau 104 définit le bord de fuite de l'aube à réaliser.

**[0032]** Les figures 3 et 4 montrent des étapes d'assemblage des éléments de noyaux 102 et 104 avant de les positionner dans le moule à cire 10.

**[0033]** Les éléments de noyaux 102 et 104 sont d'abord positionnés l'un par rapport à l'autre à l'aide d'une butée axiale ou longitudinale 110 et de deux premières entretoises 112. La butée 110 permet d'aligner les éléments de noyaux 102 et 104 dans une direction axiale ou longitudinale. Les premières entretoises 112 permettent de maintenir une distance entre le noyau 102 et le noyau 104 dans une direction perpendiculaire à la direction longitudinale. Cette distance entre les éléments de noyaux 102 et 104 permet de former une paroi entre deux cavités dans l'aube, après réalisation du modèle en cire et coulée d'un matériau métallique en fusion dans un moule carapace réalisé à partir du modèle en cire.

**[0034]** Il est important d'éviter que les éléments de noyaux se déplacent l'un par rapport à l'autre lors de l'injection de cire dans le moule à cire ou lors de la coulée du matériau métallique en fusion dans le moule carapace, de façon à ce que l'aube fabriquée respecte les spécifications dimensionnelles.

**[0035]** Pour cela, une ou plusieurs agrafes 114 sont configurées pour maintenir les éléments de noyaux 102 et 104 l'un par rapport à l'autre. Chaque agrafe 114 comprend une partie centrale 116, deux branches 118 s'étendant perpendiculairement à la partie centrale 116, depuis chacune des extrémités de ladite partie centrale 116. Les branches 118 des agrafes 114 sont engagées dans des orifices 120 du noyau 102 et dans des orifices 122 du noyau 104.

**[0036]** L'agrafe 114 peut être maintenue dans les orifices 120 et 122 par une étape de collage, par exemple par l'intermédiaire d'une colle ou d'une cire appropriée.

**[0037]** L'agrafe est réalisée en platine ou en tout autre matériau adapté pour être fondu lors de la coulée du matériau métallique.

**[0038]** Une fois les éléments de noyaux 102 et 104 maintenus ensemble à l'aide des agrafes, les entretoises 112 sont retirées et les éléments de noyaux 102 et 104 sont positionnés dans le moule à cire 10.

**[0039]** Dans un autre mode de réalisation, les éléments de noyaux 102 et 104 sont positionnés l'un par rapport à l'autre sans l'utilisation des entretoises 112. Dans ce cas, les éléments de noyaux 102 et 104 maintenus ensemble sont directement disposés dans le

moule à cire 10. Les orifices 120 ou 122 peuvent être des orifices borgnes.

**[0040]** Les orifices 120 ou 122 peuvent être des orifices traversant tels que représentés sur la figure 6. Dans ce cas, les extrémités des branches 118 peuvent être rabattues sur une surface 103 du noyau 102, respectivement une surface 105 du noyau 104, opposée à la partie centrale 116. De cette façon, le collage de l'agrafe 114 n'est plus nécessaire pour maintenir l'agrafe 114 en position.

## Revendications

- 15 1. Procédé de réalisation d'un modèle en cire pour la fabrication d'une pièce, telle qu'une aube de turbine, ladite pièce comprenant au moins une cavité, le procédé comprenant les étapes consistant à :
  - 20 disposer au moins deux éléments de noyaux (102,104) en matière céramique dans un moule à cire (10), lesdits éléments de noyaux présentant, au moins en partie, une forme complémentaire de la cavité de la pièce à fabriquer, et injecter de la cire dans le moule à cire, autour des éléments de noyaux (102,104), de façon à former le modèle en cire,
  - 25 dans lequel les deux éléments de noyaux (102,104) sont assemblés préalablement à l'injection de cire par au moins une agrafe (114), ladite agrafe comportant une partie centrale (116) à partir de laquelle s'étendent deux branches (118), chaque branche (118) étant engagée dans un orifice (120,122) ménagé dans l'un des éléments de noyaux (102,104), et dans lequel au moins un orifice (120,122) d'un des éléments de noyaux est un orifice traversant, la branche (118) correspondante de l'agrafe (114) traversant ledit orifice (120,122) et l'extrémité libre de ladite branche étant rabattue sur le noyau (102,104) correspondant de façon à bloquer l'agrafe (114) en position.
2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel au moins l'une des branches (118) de l'agrafe (114) est maintenue dans l'orifice (120,122) par collage.
3. Procédé selon l'une des revendications 1 ou 2, dans lequel la partie centrale (116) et les deux branches (118) de l'agrafe (114) présentent une section circulaire.
4. Procédé de fabrication d'une pièce, telle qu'une aube de turbine, comprenant au moins une cavité comportant les étapes consistant à :
  - réaliser un modèle en cire selon le procédé selon l'une des revendications 1 à 3, et

- former un moule carapace en matière céramique à partir du modèle en cire,
- éliminer le modèle en cire, et
- couler un matériau métallique en fusion dans le moule carapace.
5. Procédé selon la revendication 4, dans lequel la pièce est une aube mobile ou une aube de stator de turbine.
6. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel lesdits noyaux présentent des premières surfaces latérales tournées d'un même côté, et dans lequel ladite agrafe est placée de sorte que la branche centrale est contre lesdites premières faces latérales des noyaux.
7. Procédé selon la revendication précédente, dans lequel les parties distales des branches de l'agrafe sont rabattues sur des secondes surfaces latérales des noyaux opposées aux premières surfaces latérales, lesdites branches de l'agrafe étant rabattues sur lesdites surfaces latérales suivant deux directions opposées.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Herstellen eines Wachsmodells für die Fertigung eines Bauteils, wie etwa einer Turbinenschaufel, wobei das Bauteil zumindest einen Hohlraum aufweist, wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfasst:

Anordnen von zumindest zwei Kernelementen (102, 104) aus Keramikmaterial in einer Wachsgießform (10), wobei die Kernelemente zumindest teilweise eine Form aufweisen, die komplementär zu dem Hohlraum des zu fertigenden Bauteils ist, und  
 Einbringen von Wachs in die Wachsgießform um die Kernelemente (102, 104) herum, um das Wachsmodell zu formen,  
 wobei die beiden Kernelemente (102, 104) vor dem Einbringen von Wachs mittels zumindest einer Klammer (114) zusammengefügt werden, wobei die Klammer einen Mittelabschnitt (116) aufweist, von dem aus sich zwei Schenkel (118) erstrecken, wobei jeder Schenkel (118) in einer in einem der Kernelemente (102, 104) ausgebildete Öffnung (120, 122) eingreift, und wobei zumindest eine Öffnung (120, 122) eines der Kernelemente eine Durchgangsöffnung ist, wobei der entsprechende Schenkel (118) der Klammer (114) durch die Öffnung (120, 122) tritt und das freie Ende des Schenkels auf den entsprechenden Kern (102, 104) umgeschlagen wird, um die Klammer (114) in ihrer Position

zu sichern.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei zumindest einer der Schenkel (118) der Klammer (114) durch Verklebung in der Öffnung (120, 122) gehalten wird.
3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, wobei der Mittelabschnitt (116) und die beiden Schenkel (118) der Klammer (114) einen kreisförmigen Querschnitt aufweisen.
4. Verfahren zur Fertigung eines Bauteils, wie etwa einer Turbinenschaufel, mit zumindest einem Hohlraum, umfassend die Schritte:
- Herstellen eines Wachsmodells mit dem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, und
  - Formen einer Panzerform aus Keramikmaterial ausgehend von dem Wachsmodell,
  - Entfernen des Wachsmodells und
  - Eingießen von geschmolzenem Metallmaterial in die Panzerform.
- 25 5. Verfahren nach Anspruch 4, wobei das Bauteil eine Laufschaufel oder eine Turbinenleitschaufel ist.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Kerne erste Seitenflächen aufweisen, die auf die gleiche Seite weisen, und wobei die Klammer so angeordnet wird, dass der mittlere Schenkel an den ersten Seitenflächen der Kerne anliegt.
- 30 7. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch, wobei die distalen Abschnitte der Schenkel der Klammer auf den ersten Seitenflächen entgegengesetzte zweite Seitenflächen der Kerne umgeklappt werden, wobei die Schenkel der Klammer in zwei entgegengesetzten Richtungen auf die Seitenflächen umgeklappt werden.

#### Claims

1. A method for making a wax model for manufacturing a part, such as a turbine vane, said part comprising at least one cavity, the method comprising the steps of:

arranging at least two core elements (102, 104) made of a ceramic material in a wax mould (10), said core elements having, at least partially, a shape complementary to the cavity of the part to be manufactured, and  
 injecting wax into the wax mould, around the core elements (102, 104), so as to form the wax model,

wherein the two core elements (102, 104) are assembled prior to the injection of wax by at least one staple (114), said staple including a central portion (116) from which two branches (118) extend, each branch (118) being fitted into an orifice (120, 122) formed in one of the core elements (102, 104), and  
 wherein at least one orifice (120, 122) of one of the core elements is an open-through orifice, the corresponding branch (118) of the staple (114) passing through said orifice (120, 122) and the free end of said branch being folded over the corresponding core (102, 104) so as to block the staple (114) in position.

5

10

2. The method according to claim 1, wherein at least one of the branches (118) of the staple (114) is held in the orifice (120, 122) by gluing.
3. The method according to one of claims 1 or 2, wherein the central portion (116) and the two branches (118) of the staple (114) have a circular cross section.
4. A method for manufacturing a part, such as a turbine vane, comprising at least one cavity including the steps of:
  - making a wax model according to the method according to one of claims 1 to 3, and
  - forming a shell mould made of a ceramic material from the wax model,
  - eliminating the wax model, and
  - casting a molten metallic material into the shell mould.
5. The method according to claim 4, wherein the part is a movable vane or a turbine stator vane.
6. The method according to one of the preceding claims, wherein said cores have first lateral surfaces facing the same side, and wherein said staple is placed so that the central branch is against said first lateral faces of the cores.
7. The method according to the preceding claim, wherein the distal portions of the branches of the staple are folded over second lateral surfaces of the cores opposite to the first lateral surfaces, said branches of the staple being folded over said lateral surfaces along two opposite directions.

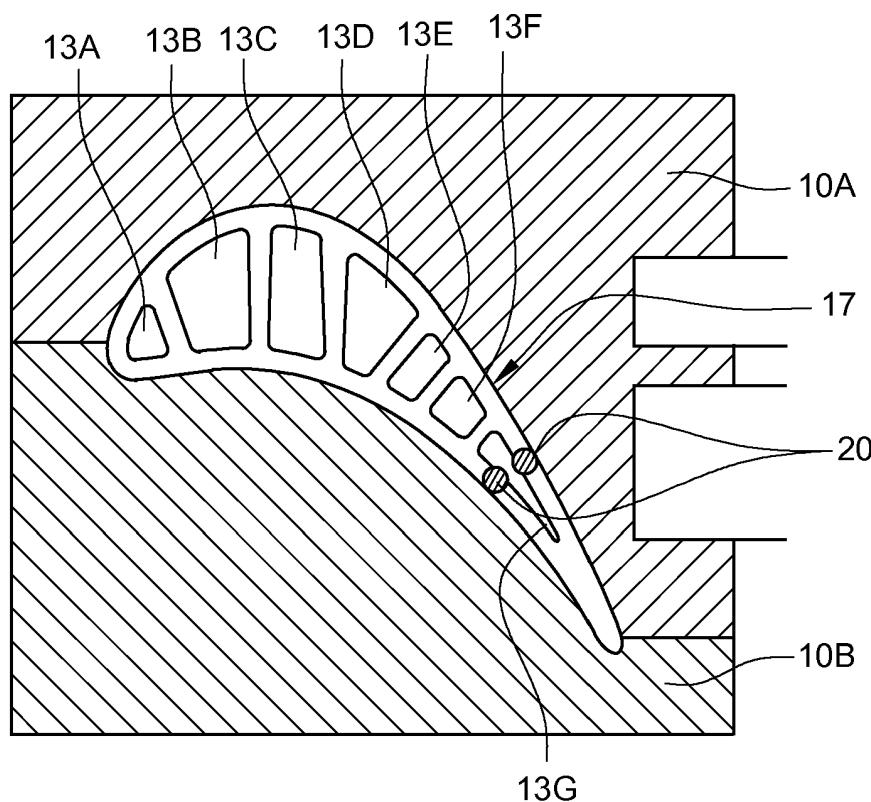
35

40

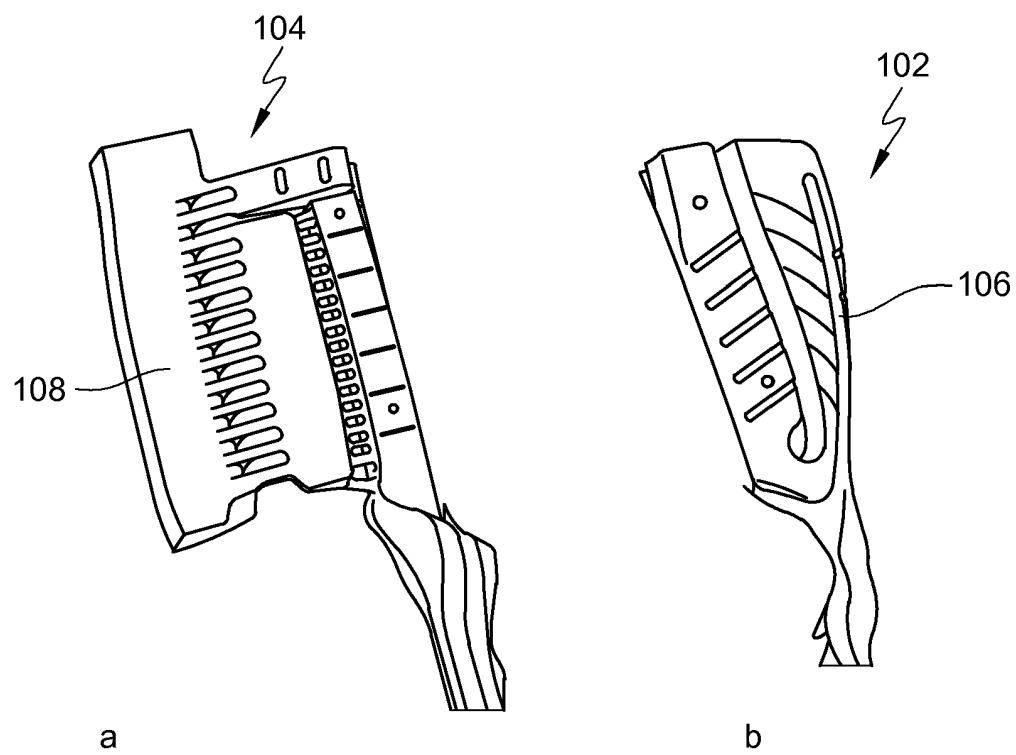
50

55

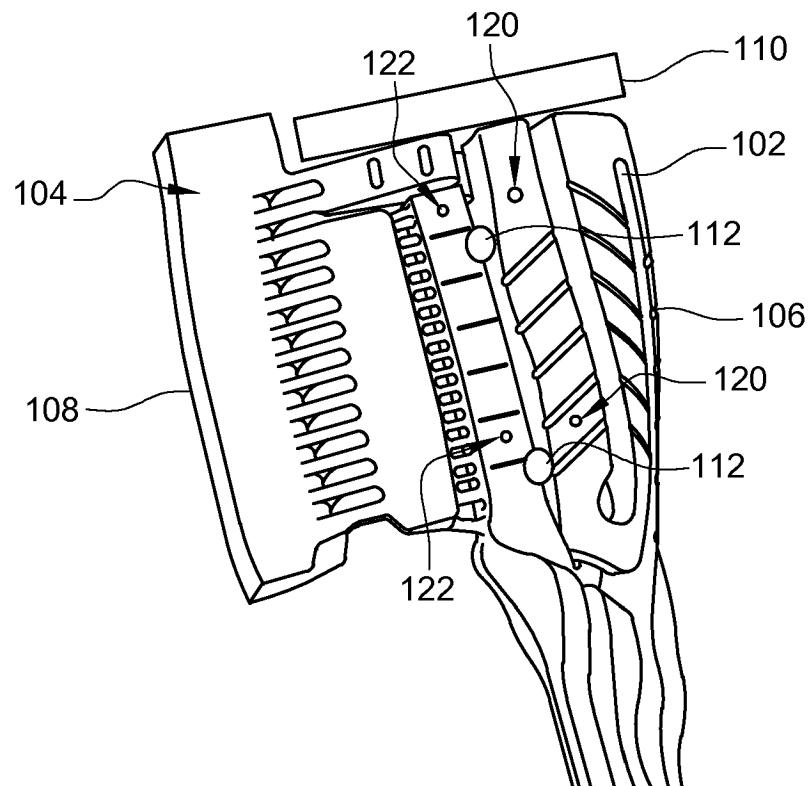
**Fig. 1**



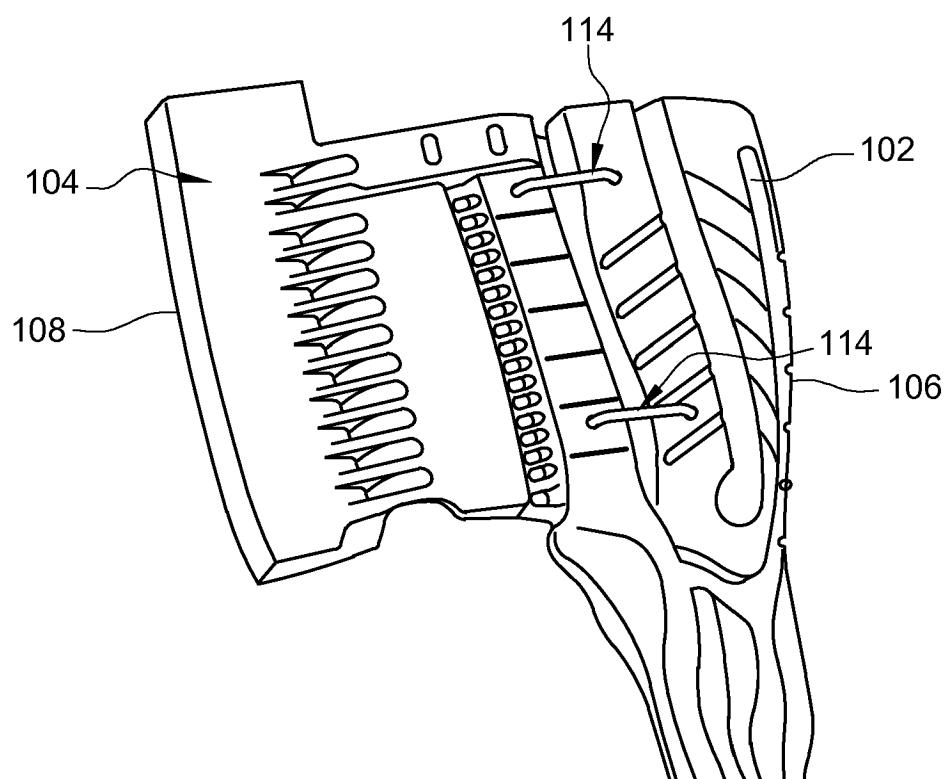
**Fig. 2**



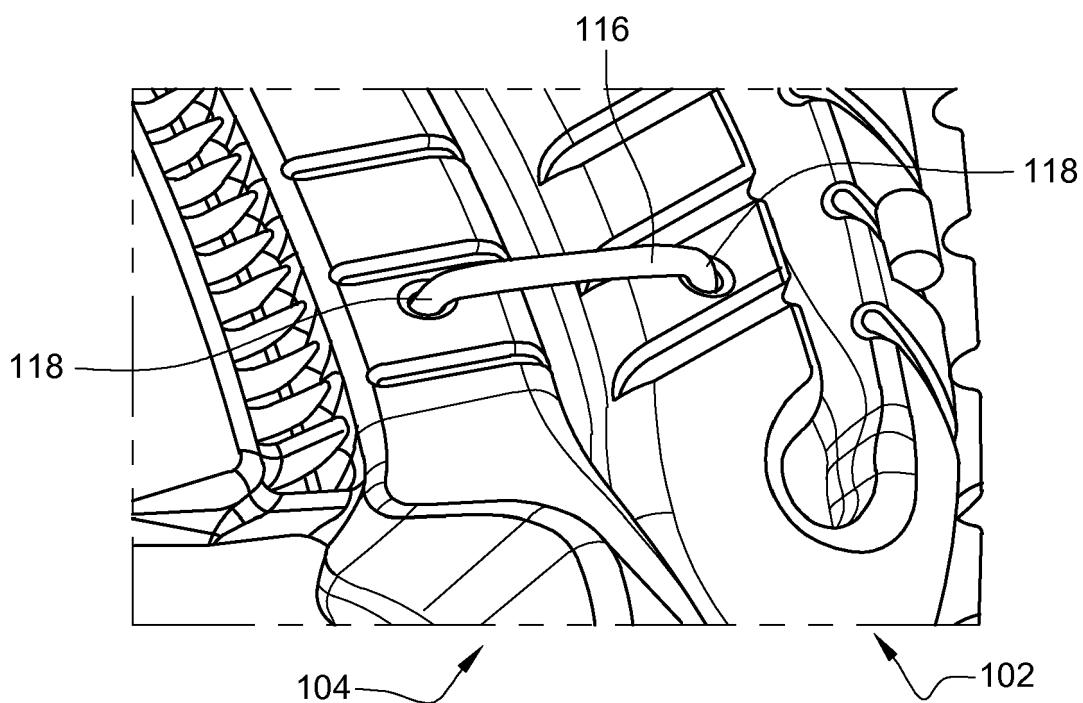
**Fig. 3**



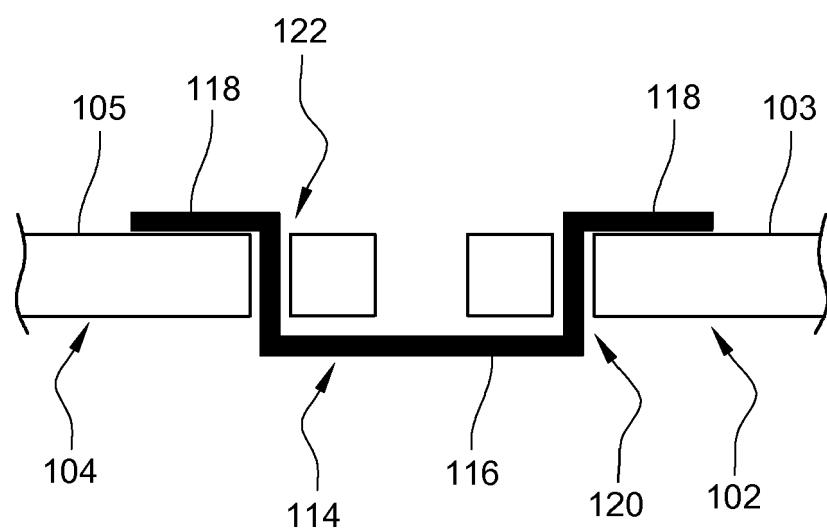
**Fig. 4**



**Fig. 5**



**Fig. 6**



**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**

- FR 2889088 [0008]
- WO 2021038174 A [0008]