

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 30.08.19.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la demande : 05.03.21 Bulletin 21/09.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du présent fascicule*

⑥0 Références à d'autres documents nationaux apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

⑦1 Demandeur(s) : SAFRAN SOCIETE ANONYME — FR.

⑦2 Inventeur(s) : ROLLINGER Adrien Bernard Vincent, AGIER Alice Marie Lydie et BATTISTONI Gaël Philippe François.

⑦3 Titulaire(s) : SAFRAN SOCIETE ANONYME.

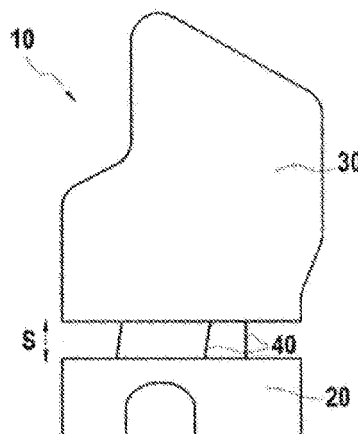
⑦4 Mandataire(s) : CABINET BEAU DE LOMENIE.

⑤4 Procédé amélioré de fabrication d'un noyau céramique pour la fabrication d'aubes de turbomachine.

⑤7 Procédé amélioré de fabrication d'un noyau céramique pour la fabrication d'aubes de turbomachine

Procédé de fabrication d'une ébauche d'un noyau céramique (10) destiné à la fabrication d'aubes creuses de turbomachine selon la technique de la fonderie à la cire perdue, l'ébauche étant fabriquée par fabrication additive et comprenant au moins une première partie (20) destinée à former les cavités des aubes creuses et au moins une deuxième partie (30) configurée pour permettre le positionnement du noyau (10) dans un moule à cire, la deuxième partie (30) et la première partie (20) étant positionnées et maintenues l'une par rapport à l'autre par l'intermédiaire d'une portion de jonction (60) intercalée entre la première partie (20) et la deuxième partie (30), au moins un orifice traversant (50) s'étendant à travers la deuxième partie (30), la portion de jonction (60) et la première partie (20), une première extrémité de l'orifice traversant (50) débouchant sur une face externe de la deuxième partie (30), et une deuxième extrémité de l'orifice traversant (50) débouchant sur une face externe de la première partie (20).

Figure pour l'abrégé : Fig. 1.



Description

Titre de l'invention : Procédé amélioré de fabrication d'un noyau céramique pour la fabrication d'aubes de turbomachine

Domaine technique

[0001] Le présent exposé concerne le domaine de la fabrication des aubes de turbomachine selon la technique de la fonderie à la cire perdue, notamment la fabrication des noyaux céramiques utilisés pour la fabrication de ces aubes selon cette technique. En particulier, le présent exposé concerne un procédé de fabrication d'un tel noyau céramique, destiné à la fabrication d'aubes creuses de turbomachine selon la technique de la fonderie à la cire perdue.

Technique antérieure

[0002] Les aubes présentes dans les turbomachines, notamment les aubes de turbine, par exemple basse pression, comportent généralement des cavités internes nécessaires au refroidissement de ces aubes. Lors de la fabrication des aubes selon la technique de la fonderie à la cire perdue, ces cavités sont formées, avant la formation du moule en cire, par l'intermédiaire de noyaux en céramique, dont la forme correspond à la forme souhaitée des cavités dans la pièce finale. Une portion d'un tel noyau 10 est représentée schématiquement sur la figure 1. Ces noyaux céramiques comprennent généralement une première partie 20, la première partie 20 étant une partie fonctionnelle correspondant aux futures cavités de l'aube et ayant la forme de celles-ci (seule l'extrémité supérieure de la première partie, correspondant au sommet, ou tête de l'aube, est visible sur la figure 1), et une deuxième partie 30, appelée par exemple dôme, servant de région de maintien du noyau 10. Plus précisément, lors de la coulée de la cire autour du noyau 10, ou l'évacuation de la cire, le noyau 10 est maintenu en position fixe par rapport au moule céramique par l'intermédiaire d'une portion non fonctionnelle de cette deuxième partie 30. La deuxième partie 30 comprend également une portion fonctionnelle, au niveau de son extrémité inférieure, servant notamment à former le contour de la baignoire de l'aube à la fin du processus de fabrication de celle-ci.

[0003] Pour que le métal puisse être coulé autour du noyau, notamment autour de la portion supérieure de la première partie 20 du noyau 10 visible sur la figure 1, pour former les cavités de l'aube, la première partie 20 doit être espacée de la deuxième partie 30, tout en étant solidaire de cette dernière et maintenue par cette dernière. Pour ce faire, de fines tiges 40 sont disposées entre ces deux parties, et maintiennent ces parties solidaires l'une de l'autre et fixes l'une par rapport à l'autre, tout en laissant un espace S entre ces deux parties. Ainsi, le métal coulé pénétrant dans cet espace S entre ces deux

parties correspondra à la paroi de fond de la baignoire de sommet de l'aube, à la fin du processus de fabrication de l'aube.

[0004] Dans les techniques d'injection classiques, les tiges 40 sont directement placées dans un moule et une pâte céramique est injectée autour. Cependant, la complexité de certains noyaux céramiques nécessite des techniques adaptées de fabrication, telles que la fabrication additive. Cette technique, dans laquelle le noyau est construit couche par couche, ne permet pas l'insertion des tiges pendant la fabrication. Il est donc nécessaire de prévoir des orifices dans le noyau lors de la fabrication additive de ce dernier, afin de pouvoir y insérer les tiges *a posteriori*. Néanmoins, l'insertion de ces tiges nécessite d'abord de nettoyer, c'est-à-dire vider les trous prévus à cet effet, de l'excédent de matière céramique qui s'y dépose pendant l'impression du noyau.

[0005] Cependant, le vidage de ces orifices est complexe du fait du petit diamètre et de la longueur importante de ces derniers. Cette étape de nettoyage des orifices mène de plus à des détériorations fréquentes des noyaux, et à de nombreux rebuts de ces noyaux. Les outils et les techniques actuels ne permettent pas de réaliser cette opération de manière efficace.

Exposé de l'invention

[0006] Afin de pallier au moins en partie aux inconvénients mentionnés ci-dessus, le présent exposé concerne un procédé de fabrication d'une ébauche d'un noyau céramique destiné à la fabrication d'aubes creuses de turbomachine selon la technique de la fonderie à la cire perdue, l'ébauche étant fabriquée par fabrication additive et comprenant :

- au moins une première partie destinée à former les cavités des aubes creuses,
- au moins une deuxième partie configurée pour permettre le positionnement du noyau dans un moule à cire, la deuxième partie et la première partie étant positionnées et maintenues l'une par rapport à l'autre par l'intermédiaire d'une portion de jonction intercalée entre la première partie et la deuxième partie,
- au moins un orifice traversant s'étendant à travers la deuxième partie, la portion de jonction et la première partie, une première extrémité de l'orifice traversant débouchant sur une face externe de la deuxième partie, et une deuxième extrémité de l'orifice traversant débouchant sur une face externe de la première partie.

[0007] On comprend que la portion de jonction est formée en même temps que la première partie et la deuxième partie au cours de la fabrication additive, et comprend donc le même matériau que ces parties. La portion de jonction peut être un artifice de fabrication imprimé en 3D, appelé « support d'impression », formant une portion de jonction entre ces deux parties pendant l'impression. En particulier, la portion de jonction permet de maintenir ces deux parties solidaires l'une de l'autre et fixes l'une

par rapport à l'autre de manière temporaire, avant l'insertion des tiges. Le contact entre la portion de jonction et les première et deuxième parties peut être discontinu. Par exemple, la portion de jonction peut comporter une pluralité de plots ou de picots intercalés entre ces deux parties. Cette configuration permet de faciliter le retrait ultérieur de cette portion de jonction, après la mise en place des tiges de positionnement.

[0008] Par « ébauche », on comprend qu'il s'agit d'un état intermédiaire du noyau au cours de sa fabrication, notamment avant l'insertion des tiges. La fabrication de l'ébauche par fabrication additive est réalisée de telle sorte que l'ébauche ainsi obtenue comprenne la première partie, la deuxième partie, et la portion de jonction. En outre, cette fabrication prévoit la présence d'au moins un orifice traversant. Par « traversant », ou « débouchant », on comprend que l'orifice débouche de part et d'autre de l'ébauche, par opposition à un trou borgne comprenant un fond. En particulier, l'orifice traverse la deuxième partie, la portion de jonction et la première partie, en débouchant à chacune de ses extrémités sur une région extérieure à l'ébauche du noyau, autour de ce dernier.

[0009] Cette configuration permet de faciliter le nettoyage de l'orifice traversant. En effet, à la fin de la fabrication de l'ébauche par fabrication additive, des résidus non solidifiés de pâte céramique restent dans l'orifice, en raison notamment de la viscosité importante de cette pâte.

[0010] Le nettoyage permet d'enlever ces résidus, afin de permettre l'insertion de la tige de positionnement. Or, la configuration du présent exposé permet d'expulser facilement ces résidus par une extrémité débouchante de l'orifice, en appliquant une pression, par exemple en injectant un mélange de solvant et d'air pulsé, à l'autre extrémité débouchante de l'orifice. Il est ainsi possible de réaliser efficacement le nettoyage de l'orifice, en s'affranchissant de l'utilisation d'outils non adaptés tels que des forets, limitant ainsi le taux de rebuts des noyaux.

[0011] Par ailleurs, selon l'art antérieur, la portion de l'orifice traversant la deuxième partie présentant une longueur importante, la longueur des forets ne permettaient pas de déboucher/nettoyer cette portion de l'orifice en une seule étape. Il était alors nécessaire d'imprimer cette deuxième partie en deux parties, afin de nettoyer l'orifice en deux étapes, puis de recoller les deux parties ensemble. La présence d'un orifice traversant selon le présent exposé permet de s'affranchir de cet inconvénient, simplifiant ainsi le processus de fabrication du noyau.

[0012] Dans certains modes de réalisation, la portion de jonction comprend un passage mettant en communication fluidique l'orifice traversant et un espace extérieur à l'ébauche de noyau.

[0013] Ce passage permet de faciliter le nettoyage de l'orifice traversant. En effet, lorsque le nettoyage de l'orifice est effectué en injectant un solvant, par exemple, aux deux ex-

trémities de l'orifice, les résidus de pâte céramique dissouts dans le solvant peuvent être évacués par ce passage.

- [0014] Dans certains modes de réalisation, l'orifice traversant comprend une première portion rectiligne s'étendant depuis la première extrémité, et une deuxième portion rectiligne présentant un angle inférieur à 180° par rapport à la première portion rectiligne, et s'étendant depuis la deuxième extrémité.
- [0015] De préférence, la première portion rectiligne s'étend à travers la deuxième partie depuis la première extrémité jusqu'à la portion de jonction, à travers la portion de jonction et une partie de la première partie. La deuxième portion rectiligne s'étend dans la première partie entre l'extrémité de la première portion rectiligne située dans la première partie, et la deuxième extrémité. En d'autres termes, la première portion rectiligne et la deuxième portion rectiligne forment entre elles un coude présentant un angle inférieur à 180° , ce coude étant de préférence disposé dans la première partie. La longueur de la première portion rectiligne peut être déterminée en fonction de la longueur de la tige de positionnement devant être insérée. La présence de ce coude permet de raccourcir la longueur de la deuxième portion rectiligne de l'orifice, et permet notamment d'atteindre l'extérieur du noyau.
- [0016] Dans certains modes de réalisation, l'angle entre la première et la deuxième portion rectiligne est supérieur ou égal à 100° , de préférence compris entre 110° et 120° .
- [0017] Ces valeurs permettent de limiter le risque, lors de l'étape de nettoyage, que des résidus de pâte céramique restent bloqués dans la partie coudée de l'orifice, si l'angle entre la première et la deuxième portion rectiligne était trop petit. Ces valeurs permettent également de limiter le volume de l'orifice traversant. Ainsi, ces valeurs d'angles entre la première et la deuxième portion rectiligne permettent de faciliter l'opération de nettoyage de l'orifice.
- [0018] Dans certains modes de réalisation, le diamètre de la première portion rectiligne de l'orifice traversant est compris entre **0,15 et 0,3 mm**.
- [0019] Le diamètre de la première portion rectiligne peut être déterminé en fonction du diamètre de la tige de positionnement devant être insérée. De préférence, un jeu doit exister entre la tige de positionnement et l'orifice.
- [0020] Dans certains modes de réalisation, le diamètre de la deuxième portion rectiligne de l'orifice traversant est compris entre 0,4 et 0,6 mm.
- [0021] L'orifice traversant peut avoir une section circulaire. Ces valeurs permettent de faciliter l'insertion des tiges de positionnement et le nettoyage des orifices. En effet, des diamètres trop importants ne seraient pas adaptés aux techniques de nettoyage telles que l'injection d'air pulsé et/ou de solvant, et rendraient cette injection inefficace. L'opération de rebouchage des orifices serait également plus longue, plus complexe, et demanderait une quantité importante de pâte céramique pour reboucher

ces orifices. De plus, des diamètres trop importants nuiraient aux propriétés mécaniques du noyau et ne permettraient pas un positionnement précis des tiges de positionnement. A l'inverse, des diamètres trop faibles empêcheraient l'insertion des tiges de positionnement.

[0022] Le présent exposé concerne également un procédé de fabrication d'un noyau céramique destiné à la fabrication d'aubes creuses de turbomachine selon la technique de la fonderie à la cire perdue, le procédé comprenant une étape de fabrication d'une ébauche par le procédé selon l'un quelconque des modes de réalisation précédents, et comprenant également, après la fabrication de l'ébauche :

- le nettoyage de l'orifice traversant,
- l'insertion d'au moins une tige de positionnement dans l'orifice traversant,
- le rebouchage de l'orifice traversant,
- l'élimination de la portion de jonction.

[0023] A la fin de la fabrication de l'ébauche par fabrication additive, des résidus non solidifiés de pâte céramique restent dans l'orifice. Le nettoyage permet d'enlever ces résidus, afin de permettre l'insertion de la tige de positionnement. Par ailleurs, l'élimination de la portion de jonction peut être effectuée par frittage de la céramique à l'aide d'un outil adapté, par exemple une meule de précision élevée permettant de libérer l'espace entre la première partie et la deuxième partie.

[0024] Dans certains modes de réalisation, le nettoyage de l'orifice traversant est réalisé par une injection d'air pulsé et/ou d'un solvant dans au moins une extrémité de l'orifice.

[0025] De l'air pulsé seul, un solvant seul, ou un mélange des deux peuvent être utilisés pour le nettoyage de l'orifice. L'air pulsé et/ou le solvant injecté à l'une des extrémités de l'orifice est évacué, en emportant les résidus de pâte céramique, par l'autre extrémité de l'orifice et/ou par le passage dans la portion de jonction. L'air pulsé et/ou le solvant injecté aux deux extrémités de l'orifice, simultanément ou non, est évacué, en emportant les résidus de pâte céramique, par le passage dans la portion de jonction. Ces techniques de nettoyage présentent l'avantage d'être facile à mettre en œuvre, peu coûteuse, et limite considérablement le risque de casser les noyaux céramiques lors du nettoyage des orifices. Cette technique présente en outre l'avantage d'être rapide, et n'ajoute pas d'étape supplémentaire, contrairement à l'utilisation d'un foret pour nettoyer les orifices selon l'art antérieur. En effet, le nettoyage des orifices par air pulsé et/ou solvant pouvant être réalisé en même temps que le nettoyage du noyau.

[0026] Dans certains modes de réalisation, le nettoyage de l'orifice traversant est réalisé en insérant mécaniquement un moyen de nettoyage dans au moins une extrémité de l'orifice.

[0027] Cette technique d'insertion mécanique d'un moyen de nettoyage peut être réalisée seule, ou en plus de l'air pulsé et/ou du solvant.

- [0028] Dans certains modes de réalisation, l'étape de nettoyage et l'étape d'insertion sont réalisées simultanément.
- [0029] Selon ce mode de réalisation, le fait d'insérer la tige à une extrémité de l'orifice traversant permet de pousser les résidus de céramique, ces résidus pouvant s'échapper par l'autre extrémité de l'orifice. La tige agit ainsi elle-même comme moyen de nettoyage mécanique.
- [0030] Dans certains modes de réalisation, les tiges de positionnement sont des tiges d'alumine.
- [0031] Les tiges d'alumine sont un matériau céramique présentant l'avantage d'être résistant aux mêmes contraintes thermiques que le reste de la pièce et ayant les mêmes propriétés chimiques au décochage. Elles permettent également une grande résistance en traction/compression pour assurer la stabilité dimensionnelle de l'épaisseur de fond de baignoire, ainsi qu'une accroche solide entre la première et la deuxième partie. De manière alternative, des tiges comprenant du molybdène peuvent être utilisées.
- [0032] Dans certains modes de réalisation, le rebouchage de l'orifice traversant est réalisé en appliquant une pâte céramique aux deux extrémités dudit orifice.
- [0033] Le rebouchage des deux extrémités de l'orifice permet d'éviter d'une part une infiltration non souhaitée de la cire lors de la fabrication du moule en cire, et d'autre part, d'obtenir un état de surface uniforme du noyau céramique, en particulier sur la première partie. Cela permet de s'assurer que la pièce finale ne présente pas d'irrégularités.
- [0034] Dans certains modes de réalisation, le procédé comprend, après le rebouchage, une étape de durcissement permettant de faire durcir la pâte céramique.
- [0035] L'étape de durcissement comprend par exemple une exposition sous une lampe UV permet de faire durcir la pâte céramique utilisée pour le rebouchage. Cela permet d'améliorer la rigidité globale du noyau céramique, lorsque sa fabrication est terminée.
- [0036] Dans certains modes de réalisation, avant leur insertion, les tiges de positionnement sont enduites de colle céramique.
- [0037] Selon ce mode de réalisation, l'insertion
- [0038] Le présent exposé concerne également une ébauche de noyau céramique destiné à la fabrication d'aubes creuses de turbomachine selon la technique de la fonderie à la cire perdue, et comprenant :
- au moins une première partie destinée à former les cavités des aubes creuses,
 - au moins une deuxième partie configurée pour permettre le positionnement du noyau dans un moule à cire, la deuxième partie et la première partie étant positionnées et maintenues l'une par rapport à l'autre par l'intermédiaire d'une portion de jonction intercalée entre la première partie et la deuxième partie,
 - au moins un orifice traversant s'étendant à travers la deuxième partie, la portion de

jonction et la première partie, une première extrémité de l'orifice traversant débouchant sur une face externe de la deuxième partie, et une deuxième extrémité de l'orifice traversant débouchant sur une face externe de la première partie.

[0039] Le présent exposé concerne également une utilisation d'un noyau céramique obtenu par le procédé selon l'un quelconque des modes de réalisation du présent exposé, pour la fabrication d'aube de turbine creuse de turbomachine selon la technique de la fonderie à la cire perdue.

Brève description des dessins

[0040] L'invention et ses avantages seront mieux compris à la lecture de la description détaillée faite ci-après de différents modes de réalisation de l'invention donnés à titre d'exemples non limitatifs. Cette description fait référence aux pages de figures annexées, sur lesquelles :

[0041] [fig.1] La figure 1 représente schématiquement une vue en plan d'une portion d'un noyau céramique destiné à être utilisé pour la fabrication d'aubes creuses de turbomachine selon la technique de la fonderie à la cire perdue,

[0042] [fig.2A-2B] La figure 2A représente schématiquement une technique de nettoyage d'un orifice selon l'art antérieur, et la figure 2B représente schématiquement une technique de nettoyage d'un orifice selon le présent exposé,

[0043] [fig.3] La figure 3 représente une vue schématique en transparence d'une portion d'un noyau céramique du présent exposé,

[0044] [fig.4] La figure 4 est un diagramme représentant le procédé de fabrication d'un noyau céramique selon le présent exposé.

Description des modes de réalisation

[0045] Les figures 2A et 2B représentent schématiquement des échantillons d'un noyau céramique, sous la forme d'éprouvettes, permettant d'illustrer le nettoyage d'un orifice de ce noyau. La figure 2A représente schématiquement une technique de nettoyage d'un orifice 50 selon l'art antérieur. L'orifice 50 est non débouchant. La partie hachurée représente le noyau céramique, plus précisément, la pâte polymérisée formant le noyau céramique. Ce dernier comprend une première partie 20, une deuxième partie 30, et une portion de jonction 60. La partie en grisée représente la pâte céramique non polymérisée restant dans l'orifice 50 après l'impression de l'ébauche du noyau.

[0046] Lors de la fabrication additive, l'ébauche de noyau est réalisée couche par couche, en commençant par la première partie 20 par exemple, puis la portion de jonction 60, puis la deuxième partie 30, en prévoyant la présence du ou des orifices 50. La portion de jonction 60 présente une forme dentelée, limitant la surface de contact entre la portion de jonction 60 et la première partie 20 et/ou la deuxième partie 30. La portion de jonction 60 peut ainsi comprendre une pluralité de dents 61, sous la forme de picots ou

de plots, intercalés entre ces deux parties.

[0047] Selon le cas de figure illustré sur la figure 2A, l'orifice 50 est non débouchant et comprend un fond 51. L'opération de nettoyage de l'orifice s'effectue, par exemple, par l'intermédiaire d'un foret 70, dont le passage dans l'orifice 50 permet d'évacuer la pâte. Une telle technique entraîne la détérioration ou la casse de nombreux noyaux céramiques.

[0048] La figure 2B représente schématiquement une technique de nettoyage d'un orifice 50 selon le présent exposé. Contrairement au cas de figure selon l'art antérieur, l'orifice 50 est débouchant. Plus précisément, l'orifice 50 comprend une première portion rectiligne 50a s'étendant à travers la deuxième partie 30, la portion de jonction 60 et la première partie 20, et une deuxième portion rectiligne 50b s'étendant à travers la première partie 20 depuis l'extrémité de la première portion rectiligne 50a, et débouchant sur une face externe de la première partie 20. La première portion rectiligne 50a est de préférence plus longue que la deuxième portion rectiligne 50b, et est destinée à recevoir une tige de positionnement. L'angle β entre la première et la deuxième portion rectiligne 50a, 50b est inférieur à 180° , et supérieur ou égal à 100° , de préférence compris entre 110° et 120° .

[0049] Lors de la fabrication additive, un passage 62 est prévu dans la portion de jonction 60. Ce passage 62 peut être un orifice, ou une absence locale de dents 61, permettant de mettre l'orifice 50 en communication fluïdique avec une région externe au noyau céramique, et entourant celui-ci. Ce passage 62 permet de faciliter l'opération de nettoyage de l'orifice 50. En effet, à la fin de la fabrication additive, le nettoyage de l'orifice 50 peut s'effectuer en injectant de l'air pulsé à l'une ou aux deux extrémités de l'orifice 50. La pression exercée aux extrémités de l'orifice 50 permet l'évacuation de la pâte non polymérisée présente dans l'orifice, par le passage 62 de la portion de jonction 60 (cf. flèches sur la figure 2A). A la place de l'air pulsé, un solvant peut être injecté, ou un mélange d'air et de solvant. De manière alternative, un outil cylindrique de diamètre adapté peut être utilisé pour pousser la pâte, en plus ou à la place de l'air et/ou du solvant.

[0050] La figure 3 représente une vue schématique d'une partie d'un noyau céramique 10 selon le présent exposé, réalisé par fabrication additive, comprenant une première partie 20, une deuxième partie 30, et une portion de jonction 60. La première partie 20 présente la forme des cavités que l'on souhaite obtenir à la fin de la fabrication de l'aube de turbine. Sur la figure 3, seule l'extrémité supérieure de la première partie 20, correspondant à l'extrémité supérieure, ou sommet, de l'aube, est visible. La deuxième partie 30, ou dôme, permet le maintien du noyau céramique 10 lors de la réalisation du modèle en cire, et lors de la coulée du métal dans un moule carapace céramique. La première partie 20 et la deuxième partie 30 sont espacées l'une de l'autre d'une

distance S comprise entre 0,4 et 1,4 mm. Cet espacement, et ce positionnement de la première partie 20 par rapport à la deuxième partie 30 sont assurés, à la fin de la fabrication de l'ébauche de noyau, par la portion de jonction 60. Après l'élimination de la portion de jonction 60, l'espace S demeurant entre ces deux parties permet la formation de la baignoire au sommet de l'aube, lors de la coulée du métal s'infiltrant dans cet espace.

- [0051] Dans cet exemple, trois orifices traversants 50 s'étendent à travers la deuxième partie 30, la portion de jonction 60 et la première partie 20. Chacun de ces orifices 50 comprend une première portion rectiligne 50a débouchant sur une face externe de la deuxième partie 30, et une deuxième portion rectiligne 50b (dont une seule est visible sur la figure 3) débouchant une face externe de la première partie 20. Une tige de positionnement 40 est insérée dans chacun de ces orifices 50. Ces tiges de positionnement 40 peuvent être des tiges d'alumine, et peuvent présenter une longueur de 13 mm et un diamètre de 0,6 mm. Néanmoins, ces dimensions ne sont pas limitatives, et peuvent être modifiées en fonction de la géométrie considérée du noyau.
- [0052] La suite de la description décrit un procédé de fabrication d'un noyau céramique 10 selon le présent exposé, en référence à la figure 4.
- [0053] Une première étape de la fabrication d'un noyau céramique 10 comprend la fabrication d'une ébauche du noyau par fabrication additive (étape S1). L'ébauche comprend la première partie 20, la portion de jonction 60 et la deuxième partie 30. La fabrication additive prévoit la présence des orifices traversants 50, et du ou des passage(s) 62 dans la portion de jonction 60.
- [0054] A la fin de la fabrication de l'ébauche, les orifices 50 sont nettoyés, c'est-à-dire vidées des résidus de pâte céramique non polymérisée demeurant dans les orifices 50 (étape S2). Pour ce faire, de l'air pulsé et/ou du solvant, par exemple, est injecté aux extrémités des orifices 50. La pâte résiduelle est ainsi évacuée par le passage 62 de la portion de jonction 60.
- [0055] Une tige de positionnement 40 est ensuite insérée dans chaque orifice traversant 50 (étape S3). Plus précisément, une tige de positionnement 40 est insérée dans la première portion rectiligne 50a de chaque orifice traversant. Les tiges 40 sont insérées par le haut, c'est-à-dire par l'extrémité de l'orifice 50 débouchant sur une face externe de la deuxième partie 30, et enfoncées dans l'orifice 50 de manière à s'étendre à la fois dans la deuxième partie 30 et dans la première partie 20. Les tiges 40 peuvent être préalablement enduites de colle céramique. Cette colle se solidifie lors du traitement thermique décrit ci-dessous, et permet un enrobage optimal de la tige.
- [0056] Après la mise en place des tiges de positionnement 40 dans les orifices 50, ces derniers sont rebouchés (étape S4). Ce rebouchage est effectué à l'aide d'une pâte céramique, de manière à obtenir un état de surface lisse, sur les faces externes des

première et deuxième parties 20 et 30. Cela permet d'éviter des irrégularités de surface ultérieurement sur le modèle en cire, et sur la pièce finale. Le rebouchage est suivi d'une étape de durcissement de la pâte céramique, permettant de solidifier la pâte ajoutée à l'étape S4 (étape S5). Cette étape peut être réalisée en fonction des propriétés de la pâte, selon qu'elle soit, par exemple, photosensible ou thermosensible, par l'intermédiaire notamment d'une source de lumière UV ou une source de chaleur. Selon ce mode de réalisation, l'étape de durcissement est réalisée par une exposition à la lumière UV. On notera qu'après solidification de la pâte céramique, le noyau 10 peut également suivre une étape de traitement thermique, comprenant le déliantage et le frittage.

[0057] Le procédé comprend enfin l'élimination de la portion de jonction 60 (étape S6). Cette élimination est facilitée par la forme dentelée de la partie de jonction 60, et peut être réalisée par n'importe quel outil adapté, pouvant s'insérer entre la première partie et la deuxième partie. A la fin de cette étape, la première partie 20 et la deuxième partie 30 sont maintenues l'une à l'autre, et positionnées l'une par rapport à l'autre, par les tiges de positionnement 40 uniquement.

[0058] Le noyau céramique 10 ainsi obtenu peut être ensuite utilisé dans la fabrication d'aubes creuses de turbomachine selon la technique de la fonderie à la cire perdue. En particulier, le noyau céramique 10 peut être disposé dans un moule à cire, en étant maintenu par la deuxième partie 30, pour former la modèle en cire présentant la forme de la pièce finale, avec les cavités formées par la première partie 20 du noyau céramique 10. Le modèle en cire est ensuite plongé à plusieurs reprises dans une barbotine afin de former le moule céramique. Après élimination de la cire, le métal fondu est coulé dans le moule céramique et autour du noyau céramique, ce dernier étant à nouveau maintenu en position fixe par l'intermédiaire de la deuxième partie 30. Enfin, le moule céramique et le noyau céramique 10 sont ensuite éliminés, par exemple par décochage, afin d'obtenir la pièce finale. On notera que l'élimination de la céramique comprend également l'élimination des tiges 40 d'alumine de positionnement, retirées pendant le décochage, laissant alors de petits orifices à travers la baignoire au sommet de l'aube, à l'endroit où se trouvaient ces tiges. Ces orifices servent notamment de trous de dépoussiérage ou d'évacuation de l'air présent dans les cavités de l'aube.

[0059] Bien que la présente invention ait été décrite en se référant à des exemples de réalisation spécifiques, il est évident que des modifications et des changements peuvent être effectués sur ces exemples sans sortir de la portée générale de l'invention telle que définie par les revendications. En particulier, des caractéristiques individuelles des différents modes de réalisation illustrés/mentionnés peuvent être combinées dans des modes de réalisation additionnels. Par conséquent, la description et les dessins doivent

être considérés dans un sens illustratif plutôt que restrictif.

[0060] Il est également évident que toutes les caractéristiques décrites en référence à un procédé sont transposables, seules ou en combinaison, à un dispositif, et inversement, toutes les caractéristiques décrites en référence à un dispositif sont transposables, seules ou en combinaison, à un procédé.

Revendications

- [Revendication 1] Procédé de fabrication d'une ébauche d'un noyau céramique (10) destiné à la fabrication d'aubes creuses de turbomachine selon la technique de la fonderie à la cire perdue, l'ébauche étant fabriquée par fabrication additive et comprenant :
- au moins une première partie (20) destinée à former les cavités des aubes creuses,
 - au moins une deuxième partie (30) configurée pour permettre le positionnement du noyau (10) dans un moule à cire, la deuxième partie (30) et la première partie (20) étant positionnées et maintenues l'une par rapport à l'autre par l'intermédiaire d'une portion de jonction (60) intercalée entre la première partie (20) et la deuxième partie (30),
 - au moins un orifice traversant (50) s'étendant à travers la deuxième partie (30), la portion de jonction (60) et la première partie (20), une première extrémité de l'orifice traversant (50) débouchant sur une face externe de la deuxième partie (30), et une deuxième extrémité de l'orifice traversant (50) débouchant sur une face externe de la première partie (20).
- [Revendication 2] Procédé selon la revendication 1, dans lequel la portion de jonction (60) comprend un passage (62) mettant en communication fluide l'orifice traversant (50) et un espace extérieur à l'ébauche de noyau.
- [Revendication 3] Procédé selon la revendication 1 ou 2, dans lequel l'orifice traversant (50) comprend une première portion rectiligne (50a) s'étendant depuis la première extrémité, et une deuxième portion rectiligne (50b) présentant un angle (β) inférieur à 180° par rapport à la première portion rectiligne (50a), et s'étendant depuis la deuxième extrémité.
- [Revendication 4] Procédé selon la revendication 3, dans lequel l'angle (β) entre la première et la deuxième portion rectiligne (50a, 50b) est supérieur ou égal à 100° , de préférence compris entre 110° et 120° .
- [Revendication 5] Procédé selon la revendication 3 ou 4, dans lequel le diamètre de la première portion rectiligne (50a) de l'orifice traversant (50) est compris entre 0,15 et 0,3 mm.
- [Revendication 6] Procédé de fabrication d'un noyau céramique (10) destiné à la fabrication d'aubes creuses de turbomachine selon la technique de la fonderie à la cire perdue, le procédé comprenant une étape de fabrication d'une ébauche par le procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, et comprenant également, après la fabrication de

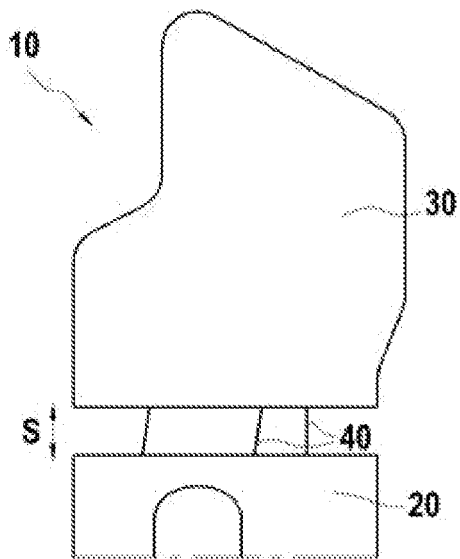
l'ébauche :

- le nettoyage de l'orifice traversant (50),
- l'insertion d'au moins une tige de positionnement (40) dans l'orifice traversant (50),
- le rebouchage de l'orifice traversant (50),
- l'élimination de la portion de jonction (60).

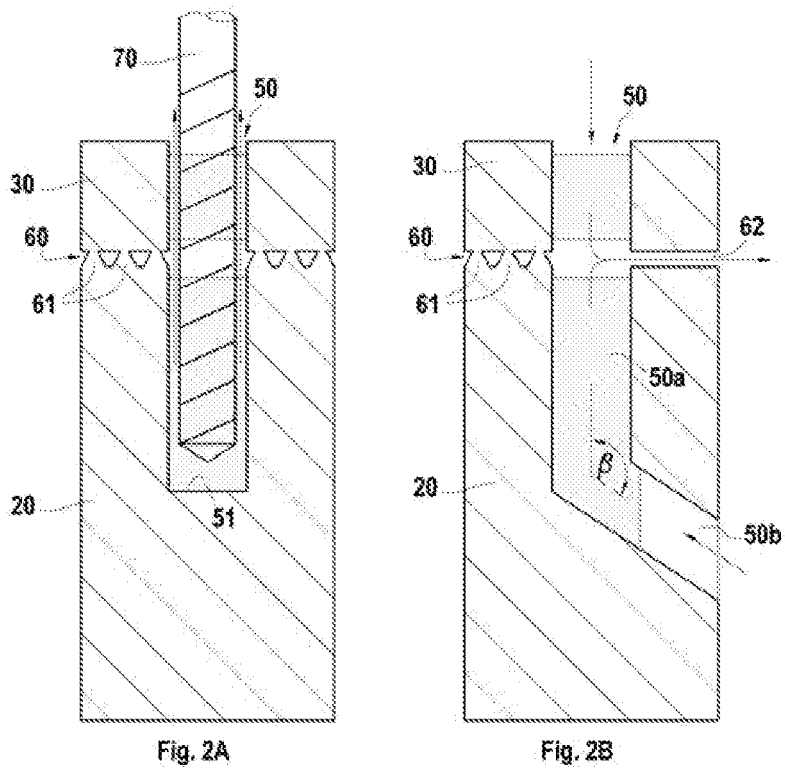
- [Revendication 7] Procédé selon la revendication 6, dans lequel le nettoyage de l'orifice traversant (50) est réalisé par une injection d'air pulsé et/ou d'un solvant dans au moins une extrémité de l'orifice (50).
- [Revendication 8] Procédé selon la revendication 6 ou 7, dans lequel les tiges de positionnement (40) sont des tiges d'alumine.
- [Revendication 9] Procédé selon l'une quelconque des revendications 6 à 8, dans lequel le rebouchage de l'orifice traversant (50) est réalisé en appliquant une pâte céramique aux deux extrémités dudit orifice (50).
- [Revendication 10] Procédé selon l'une quelconque des revendications 6 à 9, comprenant, après le rebouchage, une étape de durcissement permettant de faire durcir la pâte céramique utilisée pour le rebouchage de l'orifice (50).
- [Revendication 11] Procédé selon l'une quelconque des revendications 6 à 10, dans lequel, avant leur insertion, les tiges de positionnement (40) sont enduites de colle céramique.
- [Revendication 12] Ebauche de noyau céramique destiné à la fabrication d'aubes creuses de turbomachine selon la technique de la fonderie à la cire perdue, comprenant :
- au moins une première partie (20) destinée à former les cavités des aubes creuses,
 - au moins une deuxième partie (30) configurée pour permettre le positionnement du noyau dans un moule à cire, la deuxième partie (30) et la première partie (20) étant positionnées et maintenues l'une par rapport à l'autre par l'intermédiaire d'une portion de jonction (60) intercalée entre la première partie (20) et la deuxième partie (30),
 - au moins un orifice traversant (50) s'étendant à travers la deuxième partie (30), la portion de jonction (60) et la première partie (20), une première extrémité de l'orifice traversant (50) débouchant sur une face externe de la deuxième partie (30), et une deuxième extrémité de l'orifice traversant (50) débouchant sur une face externe de la première partie (20).
- [Revendication 13] Utilisation d'un noyau céramique (10) obtenu par le procédé selon l'une quelconque des revendications 6 à 11, pour la fabrication d'aube de

turbine creuse de turbomachine selon la technique de la fonderie à la cire perdue.

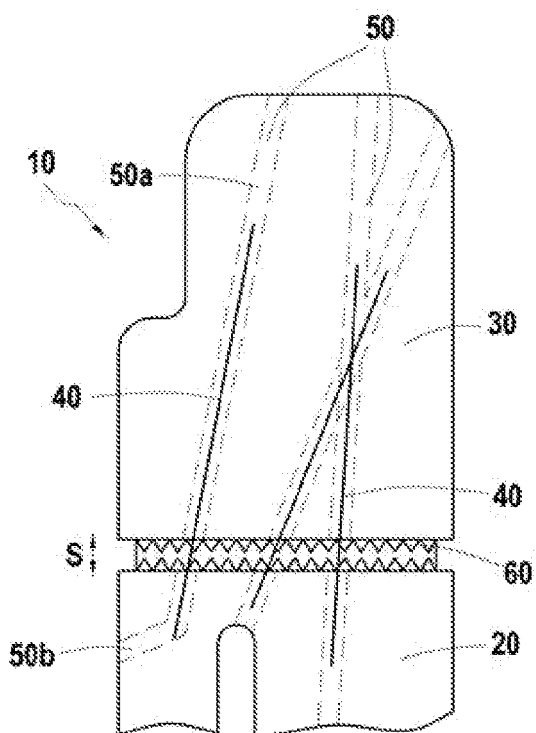
[Fig. 1]



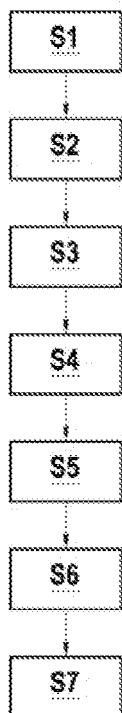
[Fig. 2A-2B]



[Fig. 3]



[Fig. 4]



RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement
national

FA 874013
FR 1909534

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	CA 2 872 066 A1 (SNECMA [FR]) 14 novembre 2013 (2013-11-14)	13	B22C9/10 B28B7/28 B33Y10/00 B33Y80/00 B22C9/04 F01D5/18
A	* page 8, ligne 1 - page 9, ligne 29 * * figure 3 *	1-12	

X	FR 2 889 088 A1 (SNECMA [FR]) 2 février 2007 (2007-02-02)	13	
A	* page 3, ligne 19 - ligne 31 * * page 7, ligne 1 - ligne 25 * * figures 3-10 *	1-12	

A	US 2018/304345 A1 (SLAVENS THOMAS N [US] ET AL) 25 octobre 2018 (2018-10-25) * alinéa [0061] - alinéa [0065] * * figures 6-7 *	1-13	

A	US 2009/285684 A1 (PINERO SANDRA S [US] ET AL) 19 novembre 2009 (2009-11-19) * alinéa [0016] * * figures 3-4 *	1-13	

			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			B22C B29C B28B
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
16 mars 2020		Desvignes, Rémi	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant			

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1909534 FA 874013

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.
 Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **16-03-2020**
 Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
CA 2872066	A1	14-11-2013	BR 112014027831 A2	27-06-2017
			CA 2872066 A1	14-11-2013
			CN 104271286 A	07-01-2015
			EP 2846948 A2	18-03-2015
			FR 2990367 A1	15-11-2013
			FR 2990368 A1	15-11-2013
			JP 6236066 B2	22-11-2017
			JP 2015520677 A	23-07-2015
			RU 2014150082 A	10-07-2016
			US 2015122445 A1	07-05-2015
			WO 2013167847 A2	14-11-2013

FR 2889088	A1	02-02-2007	EP 1754555 A1	21-02-2007
			FR 2889088 A1	02-02-2007
			IL 177135 A	17-05-2010
			US 2007025851 A1	01-02-2007

US 2018304345	A1	25-10-2018	CN 105689690 A	22-06-2016
			EP 3015189 A1	04-05-2016
			JP 6074479 B2	01-02-2017
			JP 2016093840 A	26-05-2016
			US 2016121389 A1	05-05-2016
			US 2018304345 A1	25-10-2018

US 2009285684	A1	19-11-2009	EP 2119872 A2	18-11-2009
			US 2009285684 A1	19-11-2009
