

19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
COURBEVOIE

11 N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

3 098 433

21 N° d'enregistrement national : 19 07815

51 Int Cl⁸ : B 28 B 1/24 (2019.01), B 28 B 1/26, 7/34

12 DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 11.07.19.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 15.01.21 Bulletin 21/02.

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 AIRCRAFT ENGINES
Société par actions simplifiée — FR.

72 Inventeur(s) : DROZ Nicolas, IGLESIAS CANO
Célia, LE BIEZ Philippe Charles Alain et LIAIS Ludovic
Philippe.

73 Titulaire(s) : SAFRAN AIRCRAFT ENGINES Société
par actions simplifiée.

74 Mandataire(s) : Cabinet Beau de Loménie.

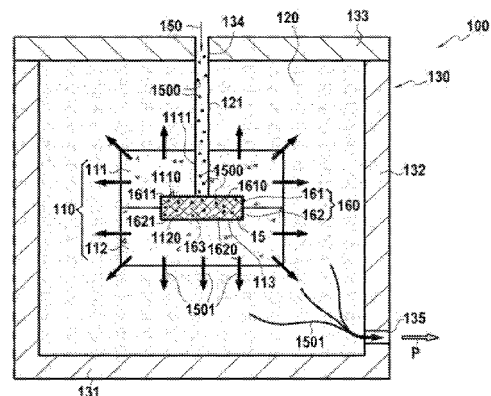
54 Procédé de fabrication d'une pièce en matériau composite par injection d'une barbotine chargée dans une texture fibreuse.

57 Procédé de fabrication d'une pièce en matériau composite par injection d'une barbotine chargée dans une texture fibreuse

Un procédé de fabrication d'une pièce en matériau composite comprend les étapes suivantes:- injection sous pression d'une barbotine (150) contenant une poudre de particules céramique réfractaires (1500) dans la cavité de moulage (113) d'un outillage d'injection (100),- drainage du liquide de la barbotine (150) ayant traversé la cavité de moulage et rétention de la poudre de particules (1500) à l'intérieur de ladite cavité de moulage de manière à obtenir une ébauche (15) comprenant des particules réfractaires,- dé-moulage de l'ébauche, et- traitement thermique de l'ébauche afin de former une pièce.L'outillage d'injection (100) comprend un moule en matériau poreux (110) comportant une cavité de moulage (113), une enceinte en matériau rigide (130) dans laquelle le moule en matériau poreux (110) est maintenu, l'enceinte comprenant en outre au moins un port d'injection (134), au moins un évent d'évacuation (135) et au moins un canal d'injection (1111) reliant ledit au moins un port d'injection à la cavité de moulage du moule poreux pour l'injection de la barbotine dans la cavité de moulage. L'outillage d'injection (100) comprend une cap-

sule sacrificielle en matériau poreux (160) placée dans la cavité de moulage (113).

Figure pour l'abrégé : Fig. 3.



FR 3 098 433 - A1



Description

Titre de l'invention : Procédé de fabrication d'une pièce en matériau composite par injection d'une barbotine chargée dans une texture fibreuse

Domaine technique

[0001] La présente invention concerne la fabrication de pièces à partir d'une barbotine chargée de particules et notamment des pièces en céramique, en matériau abrasable ou en matériau composite thermostuctural notamment de type Oxyde/Oxyde ou à matrice céramique (CMC), c'est-à-dire comportant un renfort fibreux formé à partir de fibres en matériau céramique réfractaire densifié par une matrice également en matériau céramique réfractaire.

Technique antérieure

[0002] Dans le cas de pièces en matériau composite Oxyde/Oxyde ou CMC, celles-ci peuvent être élaborées par voie liquide qui comprend une étape d'imprégnation d'une texture fibreuse avec une barbotine chargée, par exemple de particules d'alumine dans le cas d'un matériau composite Oxyde/Oxyde ou de particules de carbure de silicium (SiC) dans le cas d'un matériau composite CMC. Dans un tel cas, il faut drainer ou filtrer la phase liquide de la barbotine afin d'obtenir un remplissage optimal des porosités résiduelles présentes dans la texture fibreuse avec les charges solides.

[0003] Le document WO 2017/060601 décrit l'utilisation d'un moule en matériau poreux comprenant une cavité de moulage contenant une texture fibreuse dans laquelle est injectée une barbotine chargée de particules solides réfractaires. Le moule en matériau poreux permet d'éliminer la phase liquide de la barbotine introduite dans la texture fibreuse tout en retenant les particules solides réfractaires dans la cavité de moulage. Le moule en matériau poreux est maintenu à l'intérieur d'une enceinte en matériau rigide pendant l'injection sous pression de la barbotine. Afin d'acheminer la barbotine jusqu'à la cavité de moulage, un canal d'alimentation est percé dans le moule poreux ainsi que dans le milieu poreux éventuellement présent entre le moule et l'enceinte rigide.

[0004] De même, pour la réalisation de pièces monolithiques en matériau céramique ou abrasable, on utilise un moule en matériau poreux du type décrit ci-avant pour éliminer la phase liquide afin de retenir les particules solides dans la cavité de moulage de celui-ci et obtenir ensuite une ébauche constituée en tout ou partie de ces particules.

[0005] Si cette solution permet d'optimiser le drainage de la phase liquide de la barbotine et le dépôt homogène et dense des particules dans la cavité de moulage, le démoulage de l'ébauche après injection et filtration de la barbotine constitue une opération délicate.

En effet, la rugosité du moule en matériau poreux combinée à la taille submicronique des poudres déposées lors de l'injection de la barbotine dans la cavité de moulage entraînent un accrochage de l'ébauche sur le moule. L'ébauche étant démoulée au moyen d'un effort mécanique (levier, grattage, etc.), il existe un risque important de déformer et/ou d'abîmer l'ébauche et/ou le moule lors de l'opération de démoulage.

L'application d'un effort mécanique de démoulage sur l'ébauche peut en particulier entraîner des arrachements locaux et/ou des fissurations dans celle-ci.

Exposé de l'invention

- [0006] La présente invention a pour but de remédier aux inconvénients précités et de proposer une solution qui permet de réduire les risques d'endommagement de l'ébauche de pièce et du moule en matériau poreux lors du démoulage de l'ébauche après injection et filtration d'une barbotine chargée dans la cavité de moulage.
- [0007] A cet effet, l'invention propose un procédé de fabrication d'une pièce comprenant les étapes suivantes :
- [0008] - injection sous pression d'une barbotine contenant une poudre de particules dans une cavité de moulage d'un outillage d'injection,
- [0009] - drainage du liquide de la barbotine ayant traversé la cavité de moulage et rétention de la poudre de particules à l'intérieur de ladite cavité de moulage de manière à obtenir une ébauche comprenant des particules réfractaires,
- [0010] - démoulage de l'ébauche, et
- [0011] - traitement thermique de l'ébauche afin de former une pièce,
- [0012] l'outillage d'injection comprenant un moule en matériau poreux comportant une cavité de moulage, une enceinte en matériau rigide dans laquelle le moule en matériau poreux est maintenu, l'enceinte comprenant en outre au moins un port d'injection, au moins un évent d'évacuation et au moins un canal d'injection reliant ledit au moins un port d'injection à la cavité de moulage du moule poreux pour l'injection de la barbotine dans la cavité de moulage, caractérisé en ce que l'outillage d'injection comprend une capsule sacrificielle, la capsule sacrificielle étant placée dans la cavité de moulage, ladite capsule étant en matériau poreux.
- [0013] Grâce à l'utilisation de la capsule sacrificielle, aucun effort mécanique de démoulage n'est exercé directement sur l'ébauche, ce qui permet d'éviter tout endommagement et/ou déformation de l'ébauche et, par conséquent, de la pièce finale. Ainsi, l'ébauche conserve après démoulage son intégrité et la forme adoptée dans la cavité de moulage. Avec cette solution, on minimise également le risque d'endommagement du moule en matériau poreux.
- [0014] Selon une caractéristique particulière du procédé de l'invention, le procédé comprend en outre les étapes suivantes :

- [0015] - formation d'une texture fibreuse à partir de fibres céramique réfractaires,
- [0016] - placement de la texture fibreuse dans le volume interne de la capsule sacrificielle avant l'injection sous pression de la barbotine.
- [0017] Selon une autre caractéristique particulière du procédé de l'invention, le procédé comprend en outre le placement de billes de verre dans la cavité de moulage avant l'injection sous pression de la barbotine.
- [0018] Selon une caractéristique particulière du procédé de l'invention, la capsule sacrificielle est réalisée avec un matériau poreux identique au matériau poreux du moule.
- [0019] Selon une autre caractéristique particulière du procédé de l'invention, la capsule sacrificielle est réalisée en un des matériaux suivants : résine poreux, polytétrafluoroéthylène, plâtre.
- [0020] Selon une autre caractéristique particulière du procédé de l'invention, la capsule sacrificielle présente une épaisseur de paroi comprise entre 1 mm et 30 mm.
- [0021] Selon une autre caractéristique particulière du procédé de l'invention, la capsule sacrificielle comprend une première et une deuxième parties assemblées l'une avec l'autre, la première partie comportant une première empreinte correspondant à une partie de la forme de la pièce à fabriquer, la deuxième partie comportant une deuxième empreinte correspondant à l'autre partie de la forme de la pièce à fabriquer.
- [0022] Selon une autre caractéristique particulière du procédé de l'invention, le traitement thermique de l'ébauche comprend un premier palier réalisé à une température comprise entre 40°C et 95°C de manière à sécher le liquide de la barbotine présent dans la capsule sacrificielle et un deuxième palier réalisé à une température comprise entre 1000°C et 1100°C de manière à lier les particules entre elles et former une pièce à partir de l'ébauche.
- [0023] Selon un aspect particulier, le premier palier est réalisé suivant une rampe de montée douce comprise entre 1°C/mn et 6°C/mn pour atteindre une température comprise entre 40°C et 95°C maintenue sur une durée comprise entre 30 mn et 90 mn.
- [0024] Selon une autre caractéristique particulière du procédé de l'invention, le traitement thermique comprend en outre un troisième palier réalisé après le premier palier et avant le deuxième palier, le troisième palier étant réalisé à une température comprise entre 450°C et 600°C de manière à brûler la capsule sacrificielle.
- [0025] Selon un aspect particulier, le troisième palier est réalisé suivant une rampe de montée douce comprise entre 1°C/mn et 7°C/mn pour atteindre une température comprise entre 450°C et 600°C maintenue sur une durée comprise entre 30 mn et 4 h.
- [0026] Lorsque le procédé comporte l'étape de formation d'une texture fibreuse, les fils de la texture peuvent être des fils formés de fibres constituées d'un ou plusieurs des matériaux suivants : l'alumine, la mullite, la silice, un aluminosilicate, un borosilicate,

du carbure de silicium et du carbone.

[0027] Les particules céramiques réfractaires peuvent être en un matériau choisi parmi : l'alumine, la mullite, la silice, un aluminosilicate, un aluminophosphate, la zircone, un carbure, un borure, un siliciure et un nitrure, ou un mélange de plusieurs de ces matériaux.

Brève description des dessins

[0028] [fig.1] La figure 1 est une vue schématique en perspective éclatée d'un outillage d'injection conformément à un mode de réalisation de l'invention,

[0029] [fig.2] La figure 2 est une vue schématique en coupe montrant l'outillage de la figure 1 fermé avec une texture fibreuse positionnée celui-ci,

[0030] [fig.3] La figure 3 est une vue schématique en coupe montrant l'imprégnation d'une texture fibreuse avec une barbotine chargée dans l'outillage de la figure 2.

Description des modes de réalisation

[0031] L'invention s'applique d'une manière générale à la fabrication de pièces réalisée par injection d'une barbotine chargée de particules dans un moule apte à drainer ou filtrer la phase liquide de la barbotine de manière à retenir les particules qui constituent ensuite tout ou partie de la pièce. De manière non limitative, l'outillage de l'invention peut être utilisé pour fabriquer des pièces en céramique monolithique, des pièces ou revêtements en matériau abradable et des pièces en matériau composite thermostuctural notamment de type Oxyde/Oxyde ou à matrice céramique (CMC).

[0032] On décrit maintenant un procédé de fabrication de l'invention appliqué à la fabrication d'une pièce en matériau composite de type oxyde/oxyde ou CMC. Le procédé de fabrication d'une pièce en matériau composite notamment de type oxyde/oxyde ou CMC conforme à la présente invention débute par la réalisation d'une texture fibreuse destinée à former le renfort de la pièce.

[0033] Le procédé de fabrication d'une pièce en matériau composite notamment de type oxyde/oxyde ou CMC conforme à la présente invention débute par la réalisation d'une texture fibreuse destinée à former le renfort de la pièce.

[0034] La structure fibreuse est réalisée de façon connue par tissage au moyen d'un métier à tisser de type jacquard sur lequel on a disposé un faisceau de fils de chaîne ou torons en une pluralité de couches, les fils de chaîne étant liés par des fils de trame ou inversement. La texture fibreuse peut être réalisée par empilement de strates ou plis obtenus par tissage bidimensionnel (2D). La texture fibreuse peut également être réalisée directement en une seule pièce par tissage tridimensionnel (3D). Par « tissage bidimensionnel », on entend ici un mode de tissage classique par lequel chaque fil de trame passe d'un côté à l'autre de fils d'une seule couche de chaîne ou inversement. Le procédé de l'invention est particulièrement adapté pour permettre l'introduction d'une

barbotine chargée dans des textures fibreuses 2D, à savoir des textures obtenues par empilement de strates ou plis 2D, d'épaisseur importante, c'est-à-dire des structures fibreuses 2D ayant une épaisseur d'au moins 0,5 mm, de préférence au moins 1 mm.

- [0035] Par « tissage tridimensionnel » ou « tissage 3D » ou encore « tissage multicouche », on entend ici un mode de tissage par lequel certains au moins des fils de trame lient des fils de chaîne sur plusieurs couches de fils de chaîne ou inversement suivant un tissage correspondant à une armure de tissage qui peut être notamment choisie parmi une des armures suivantes : interlock, multi-toile, multi-satin et multi-sergé.
- [0036] Les fils utilisés pour tisser la texture fibreuse destinée à former le renfort fibreux de la pièce en matériau composite peuvent être notamment formés de fibres constituées d'un des matériaux suivants: l'alumine, la mullite, la silice, un aluminosilicate, un borosilicate, du carbure de silicium, du carbone ou d'un mélange de plusieurs de ces matériaux.
- [0037] Une fois la texture fibreuse réalisée, celle-ci est placée dans un outillage d'injection conforme à l'invention qui permet, comme expliqué ci-après, de déposer des particules réfractaires au sein de la texture fibreuse. A cet effet et comme illustrée sur les figures 1 et 2, une texture fibreuse 10 est placée dans un outillage d'injection 100. Dans l'exemple décrit ici, la texture fibreuse 10 est réalisée suivant une des techniques définies ci-avant (empilement strates 2D ou tissage 3D) avec des fils d'alumine Nextel 610TM. La texture fibreuse 10 est ici destinée à former le renfort fibreux d'une aube en matériau composite oxyde/oxyde.
- [0038] L'outillage 100 comprend un moule en matériau poreux 110 formé en deux parties 111 et 112. Les deux parties 111 et 112 délimitent une cavité de moulage 113 (figure 2) lorsqu'elles sont assemblées l'une contre l'autre, cavité dans laquelle la texture fibreuse est destinée à être placée. Les deux parties 111 et 112 servent à dimensionner l'ébauche ou la préforme et donc la pièce à obtenir ainsi qu'à ajuster le taux de fibres dans la pièce à obtenir.
- [0039] Dans l'exemple décrit ici, la partie 111 du moule en matériau poreux 110 comporte un canal d'injection 1111 pour l'injection d'une barbotine chargée dans la texture fibreuse comme expliqué ci-après en détails. Le canal d'injection 1111 est réalisé, par exemple par perçage, dans le matériau poreux du moule 110.
- [0040] L'outillage d'injection 100 comprend également une enceinte en matériau rigide 130 dans laquelle le moule en matériau poreux 110 est maintenu. L'enceinte 130 comprend un fond 131, une paroi latérale 132 solidaire du fond 131 et un couvercle 133. L'enceinte 130 peut être réalisée avec tout type de matériau présentant une rigidité suffisante pour résister aux pressions d'injection de la barbotine et au pompage (tirage du vide) pour l'évacuation de la phase liquide de celle-ci. L'enceinte peut être notamment réalisée en matériau métallique ou plastique.

- [0041] Le couvercle 133 comporte un port d'injection 134 au travers duquel la barbotine est destinée à être injectée afin de pénétrer dans la porosité de la texture fibreuse 10. Dans l'exemple illustré aux figures 1 et 2, la barbotine est destinée à être injectée au travers d'un port d'injection 134 débouchant dans la cavité de moulage 113. Toutefois, on ne sort pas du cadre de l'invention lorsque la barbotine est injectée au travers d'une pluralité de ports d'injection débouchant dans la cavité de moulage.
- [0042] L'enceinte 130 comporte un unique événement d'évacuation 135 du milieu liquide de la barbotine, présent ici sur la paroi latérale 132 au voisinage du fond 131. Bien entendu, on ne sort pas du cadre de l'invention lorsqu'une pluralité d'événements de sortie est mise en œuvre à différents endroits de l'enceinte.
- [0043] Dans le mode de réalisation décrit ici, le moule en matériau poreux 110 présente une taille inférieure au volume interne de l'enceinte en matériau métallique 130. Dans ce cas, le volume présent entre le moule en matériau poreux et l'enceinte en matériau rigide est comblé par un milieu poreux 120 afin de permettre la circulation et l'évacuation de la phase liquide de la barbotine. Le milieu poreux 120 peut être constitué notamment par du sable, une mousse, ou un matériau granulaire. Concernant la mousse, tout type de mousse, rigide ou souple, qui présente un réseau de porosité permettant le passage du milieu liquide de la barbotine peut être utilisé comme milieu poreux. De même, tout type de matériau granulaire ayant un taux d'empilement compatible avec le passage de la phase liquide de la barbotine peut être utilisé comme milieu poreux. Le milieu poreux 120 comporte un canal d'injection 121 en communication à la fois avec le port d'injection 134 de l'enceinte 130 et le canal d'injection 1111 du moule en matériau poreux 110 afin de permettre l'injection de la barbotine dans la texture fibreuse 10. Le canal d'injection 121 est réalisé, par exemple par perçage, dans le matériau poreux du milieu 120. Dans l'exemple décrit ici les canaux d'injection 121 et 1111 forment le circuit d'alimentation dans l'outillage d'injection 100 pour l'injection de la barbotine chargée.
- [0044] Le volume de vide présent dans le milieu poreux est de préférence supérieur à la quantité ou volume de la phase liquide de la barbotine qui doit être injectée dans la texture fibreuse. Cela permet d'évacuer la totalité de la phase liquide des parois du moule poreux lorsqu'un tirage de vide est réalisé au niveau du ou des événements d'évacuation et/ou lors de l'application de la pression dans le port d'injection.
- [0045] Selon une variante de réalisation, le moule en matériau poreux présente des dimensions externes équivalentes au volume interne de l'enceinte de sorte que le moule en matériau poreux est directement en contact avec les parois internes de l'enceinte. Dans ce cas, le circuit d'alimentation dans l'outillage d'injection pour l'injection de la barbotine chargée est constitué seulement par le canal d'injection réalisé dans le moule en matériau poreux (pas de milieu poreux).

[0046] Conformément à l'invention, une capsule sacrificielle 160 est interposée entre la texture fibreuse 10 et le moule en matériau poreux 110. Plus précisément, comme illustrée sur la figure 1, une capsule sacrificielle 160 est ici constituée de deux demi-coquilles 161 et 162 entre lesquelles la texture fibreuse est placée avant son introduction dans le moule en matériau poreux 110. Les demi-coquilles 161 et 162 comportent chacune respectivement une empreinte 1610 et une empreinte 1620. Les empreintes 1610 et 1620 délimitent un volume interne 163 (figure 2) lorsque les deux demi-coquilles 161 et 162 sont assemblées l'une contre l'autre, volume interne dans lequel la texture fibreuse 10 est maintenue. Les empreintes 1610 et 1620 présentent une forme correspondant à la forme de la pièce à fabriquer à partir de la texture fibreuse. Les deux demi-coquilles 161 et 162 servent à dimensionner la préforme et donc la pièce à obtenir ainsi qu'à ajuster le taux de fibres dans la pièce lors de la fermeture du moule en matériau poreux 110.

[0047] La capsule sacrificielle 160 est réalisée en matériau poreux. Elle peut être notamment réalisée à partir d'une résine poreuse. Dans ce cas, les demi-coquilles 161 et 162 de la capsule 160 sont elles-mêmes réalisées par moulage en injectant et en polymérisant une résine entre un moule et un contre-moule, le moule présentant une forme correspondant aux empreintes 1610 et 1620 des demi-coquilles 161 et 162 si lesdites empreintes sont identiques. Dans le cas contraire, on utilise un moule différent pour chaque demi-coquille 161 et 162 de manière à former dans chacune de celle-ci une empreinte différente. Les caractéristiques du réseau poreux de la capsule sacrificielle, notamment en termes de taille de pores et de taux de porosité, peuvent être contrôlés en ajustant le ou les cycles de polymérisation en fonction de la nature de la résine utilisée. On dispose, par conséquent, d'autant de choix de réseaux de porosité qu'il y a de résines poreuses disponibles. A titre d'exemples non limitatifs, les résines poreuses suivantes peuvent être utilisées pour la réalisation de la capsule sacrificielle :

[0048] - Gil-Resin® T avec des pores ayant une taille comprise entre 8 et 13 μm ,

[0049] - Gil-Resin® F+ avec des pores ayant une taille comprise entre 4 et 7 μm ,

[0050] - SamaPore avec des pores ayant une taille comprise entre 3 et 10 μm ,

[0051] - Microplast Fine avec des pores ayant une taille moyenne de 7 μm .

[0052] La capsule sacrificielle 160, ou plus précisément les demi-coquilles 161 et 162 constituant la capsule, peuvent être aussi réalisées à partir d'un matériau poreux rigide tel que du polytétrafluoroéthylène (PTFE) microporeux comme les produits « microporous PTFE » vendus par la société Porex®. Les empreintes 1610 et 1620 sont chacune respectivement réalisées par thermoformage ou usinage du matériau poreux.

[0053] Le moule en matériau poreux est de préférence réalisé avec le même matériau poreux utilisé pour réaliser la capsule sacrificielle, par exemple un des matériaux poreux mentionnés ci-avant.

- [0054] L'ensemble capsule sacrificielle 160 et moule en matériau poreux 110 permet le drainage du milieu liquide de la barbotine à l'extérieur de la texture fibreuse 10 et son évacuation par l'évent 135 du fait de l'application d'un gradient de pression entre l'évent 135 et le port d'injection 134. A titre d'exemple, la taille moyenne des pores (D50) de la capsule et du moule en matériau poreux peut par exemple être comprise entre 1 μm et 10 μm .
- [0055] La demi-coquille 161 de la capsule sacrificielle 160 comporte une surface externe 1611 tandis que la demi-coquille comporte quant à elle une surface externe 1622. Selon une caractéristique particulière de l'invention, les surface externes 1611 et 1622 présente une géométrie plane comme illustrée sur la figure 1. Dans ce cas, les surfaces internes 1110 et 1120 respectivement des deux parties 111 et 112 du moule 110 dans lesquelles sont logées respectivement les demi-coquilles 161 et 162 présentent également une géométrie plane comme illustrée sur la figure 1. Selon une autre caractéristique particulière de l'invention, les surfaces externes 1611 et 1622 présentent une géométrie correspondant respectivement à celle des empreintes 1610 et 1620 des deux demi-coquilles 161 et 162. Dans ce cas, les surfaces internes 1110 et 1120 respectivement des deux parties 111 et 112 du moule 110 dans lesquelles sont logées respectivement les demi-coquilles 161 et 162 présentent également une géométrie correspondant respectivement à celle des empreintes 1610 et 1620 des deux demi-coquilles 161 et 162.
- [0056] L'épaisseur de paroi de la capsule sacrificielle 160 est réalisée la plus fine possible afin d'éviter une combustion trop importante de la capsule lors du traitement thermique. L'épaisseur de paroi de la capsule sacrificielle est déterminée en fonction de taille et de la géométrie de la pièce à fabriquer. En d'autres termes, l'épaisseur de paroi de la capsule sacrificielle est déterminée pour être aussi fine que possible tout en étant apte à rattraper les efforts de compactations quand ils sont appliqués et les efforts de mise sous pression lors de la filtration de la barbotine. La capsule sacrificielle présente une épaisseur de paroi de préférence comprise entre 1 mm et 30 mm.
- [0057] La texture fibreuse 10 est d'abord placée dans la capsule sacrificielle 160. La capsule contenant la texture fibreuse est ensuite placée dans le moule en matériau poreux 110 de l'outillage d'injection 100 comme illustrée sur les figures 1 et 2.
- [0058] La figure 3 illustre la configuration obtenue durant l'injection d'une barbotine 150 et le drainage du milieu ou phase liquide de celle-ci. Avant l'injection de la barbotine dans l'outillage, un tirage au vide a été réalisé au sein du moule en matériau poreux afin de remplir ensuite au maximum la texture fibreuse avec la barbotine. Le tirage au vide peut être réalisé par pompage au niveau de l'évent d'évacuation 135.
- [0059] Sur la figure 3, la barbotine 150 est injectée sous pression par le port d'injection 134 et transportée jusqu'à la texture fibreuse 10 par les canaux d'injection 121 et 1111 de

manière à pénétrer dans la texture fibreuse 10. Les particules réfractaires 1500 présentes dans la barbotine 150 sont destinées à permettre la formation d'une matrice céramique réfractaire dans la porosité de la texture fibreuse 10. Cette matrice céramique réfractaire peut, dans un exemple de réalisation, être une matrice d'oxyde réfractaire.

- [0060] La barbotine peut par exemple être une suspension d'une poudre d'alumine dans de l'eau. La poudre d'alumine utilisée peut être une poudre d'alumine alpha commercialisée par la société Baikowski sous la dénomination SM8.
- [0061] Plus généralement, la barbotine peut être une suspension comportant des particules céramiques réfractaires présentant une dimension particulière moyenne comprise entre 0,1 μm et 10 μm . La teneur volumique en particules céramiques réfractaires dans la barbotine peut, avant l'injection, être comprise entre 15% et 40%. Les particules céramiques réfractaires peuvent comporter un matériau choisi parmi : l'alumine, la mullite, la silice, les aluminosilicates, les aluminophosphates, les carbures, les borures, les nitrures et les mélanges de tels matériaux. En fonction de leur composition de base, les particules céramiques réfractaires peuvent, en outre, être mélangées avec des particules d'alumine, de zircone, d'aluminosilicate, d'un oxyde de terre rare, de silicate de terre rare (lequel peut par exemple être utilisé dans les barrières environnementales ou thermiques) ou toute autre charge permettant de fonctionnaliser la pièce en matériau composite à obtenir comme le noir de carbone, le graphite ou le carbure de silicium.
- [0062] Le milieu ou phase liquide de la barbotine peut, par exemple, comporter une phase aqueuse présentant un pH acide (i.e. un pH inférieur à 7) et/ou une phase alcoolique comportant par exemple de l'éthanol. La barbotine peut comporter un acidifiant tel que de l'acide nitrique et le pH du milieu liquide peut par exemple être compris entre 1,5 et 4. La barbotine peut, en outre, comporter un liant organique comme de l'alcool polyvinylique (PVA) lequel est notamment soluble dans l'eau.
- [0063] Comme illustré sur la figure 3, après injection de la barbotine 150, les particules céramiques réfractaires 1500 sont présentes dans la porosité de la texture fibreuse 10. Les flèches 1501 représentent le mouvement du milieu ou phase liquide de la barbotine drainé à la fois par capsule sacrificielle 160 et par le moule en matériau poreux 110.
- [0064] Un pompage P peut, en outre, être réalisé au niveau de l'évent de sortie 135 durant le drainage, par exemple au moyen d'une pompe à vide primaire. La réalisation d'un tel pompage permet d'améliorer le drainage et de sécher plus rapidement la texture fibreuse.
- [0065] Dans cette configuration, la capsule sacrificielle 160 et le moule en matériau poreux 110 permettent de retenir dans la texture fibreuse 10 les particules céramiques réfractaires 1500 initialement présentes dans la barbotine et que tout ou partie de ces particules se déposent par filtration dans la texture fibreuse 10.

- [0066] Grâce à l'utilisation de la capsule sacrificielle 160 et du moule en matériau poreux 110, le milieu ou phase liquide 1501 de la barbotine peut être drainé hors de la texture fibreuse 10 dans toutes les directions, le milieu ou phase liquide 1501 circulant ensuite dans le milieu poreux 120 jusqu'à l'évent 135 par lequel il est évacué hors de l'outillage d'injection 100. Ce drainage du milieu liquide dans toutes les directions permet de favoriser un dépôt par sédimentation homogène et dense des particules céramiques réfractaires 1500 dans la texture fibreuse 10 et d'obtenir, par conséquent, un taux volumique de matrice élevé dans la pièce finale.
- [0067] En outre, la capsule sacrificielle 160 et le moule en matériau poreux 110 étant maintenus dans une enceinte en matériau rigide 130, celui-ci peut résister aux pressions d'injection de la barbotine chargée dans la texture ainsi qu'à celles exercées par le pompage pour l'évacuation du milieu liquide de la barbotine.
- [0068] Une fois les étapes d'injection et de drainage effectuées, on obtient une ébauche correspondant ici à une préforme fibreuse 15 chargée de particules céramiques réfractaires, par exemple de particules d'oxyde céramique réfractaire ou d'alumine.
- [0069] L'ébauche toujours protégée à l'intérieur de la capsule sacrificielle est alors démoulée, le démoulage de la préforme étant facilité par la présence de la capsule. En particulier, grâce à l'utilisation de la capsule sacrificielle, aucun effort mécanique de démoulage n'est exercé directement sur la préforme, ce qui permet d'éviter tout endommagement et/ou déformation de la préforme et, par conséquent, de la pièce finale. Ainsi, l'ébauche conserve après démoulage son intégrité et la forme adoptée dans la cavité de moulage.
- [0070] L'ébauche et la capsule sont ensuite soumises à un traitement thermique comprenant au moins les deux paliers suivants :
- [0071] a) un premier palier réalisé suivant une rampe de montée douce comprise entre 1°C/mn et 6°C/mn pour atteindre une température comprise entre 40°C et 95°C maintenue sur une durée comprise entre 30 mn et 90 mn, ce premier palier permettant de sécher l'eau contenue dans la capsule afin d'éviter l'apparition de porosités de surface dues à l'ébullition, et
- [0072] b) un deuxième palier réalisé suivant une rampe de montée douce comprise entre 1°C/mn et 10°C/mn pour atteindre une température comprise entre 1000°C et 1100°C maintenue sur une durée comprise entre 4 h et 10 h, ce deuxième palier permettant à la fois de brûler la capsule sacrificielle et de fritter ou lier les particules céramiques réfractaires et ainsi former une matrice céramique réfractaire dans la porosité de la préforme fibreuse.
- [0073] Un troisième palier peut être en outre réalisé après le premier palier et avant le deuxième palier afin de découpler l'élimination de la capsule sacrificielle du frittage ou liage des particules céramiques réfractaires. Ce troisième palier est réalisé suivant une

rampe de montée douce comprise entre 1°C/mn et 7°C/mn pour atteindre une température comprise entre 450°C et 600°C maintenue sur une durée comprise entre 30 mn et 4 h, ce troisième palier permettant de brûler la capsule sacrificielle,

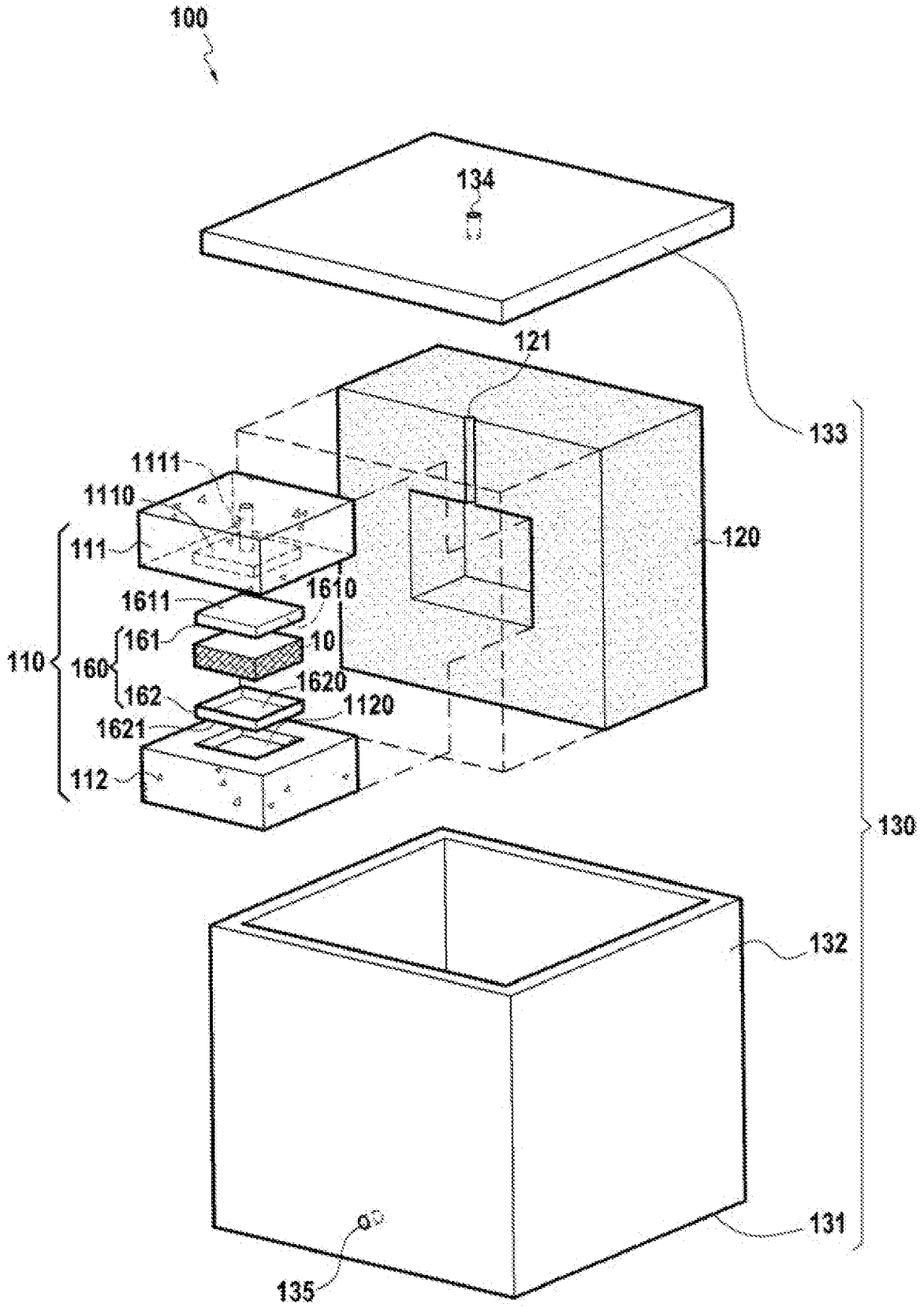
- [0074] On obtient alors une pièce en matériau composite, par exemple une pièce en matériau composite Oxyde/Oxyde, munie d'un renfort fibreux formé par la préforme fibreuse et présentant un taux volumique de matrice élevé avec une répartition homogène de la matrice céramique réfractaire dans tout le renfort fibreux.
- [0075] Une pièce en matériau composite CMC autre que Oxyde/Oxyde peut être obtenue de la même façon en réalisant la texture fibreuse avec des fibres de carbure de silicium et/ou de carbone et en utilisant une barbotine chargée de particules de carbure (par exemple de SiC), de borure (par exemple de TiB₂) ou de nitrure (par exemple de Si₃N₄).
- [0076] Dans le cas de la fabrication d'une pièce en céramique monolithique, la capsule sacrificielle est vide avant l'injection de la barbotine. Une fois la capsule remplie par des particules céramiques déposées progressivement par sédimentation et drainage de la phase liquide de la barbotine, l'ébauche et la capsule sont soumises à un traitement thermique comme expliqué ci-avant afin d'obtenir la pièce finale. Dans le cas de la fabrication d'une pièce ou revêtement abrasable, on place dans la capsule sacrificielle des billes par exemple en verre avant l'injection de la barbotine chargée. La capsule et l'ébauche constituée des billes et des particules amenées par la barbotine sont soumises à un traitement thermique comme expliqué ci-avant pour former la pièce ou le revêtement abrasable final.

Revendications

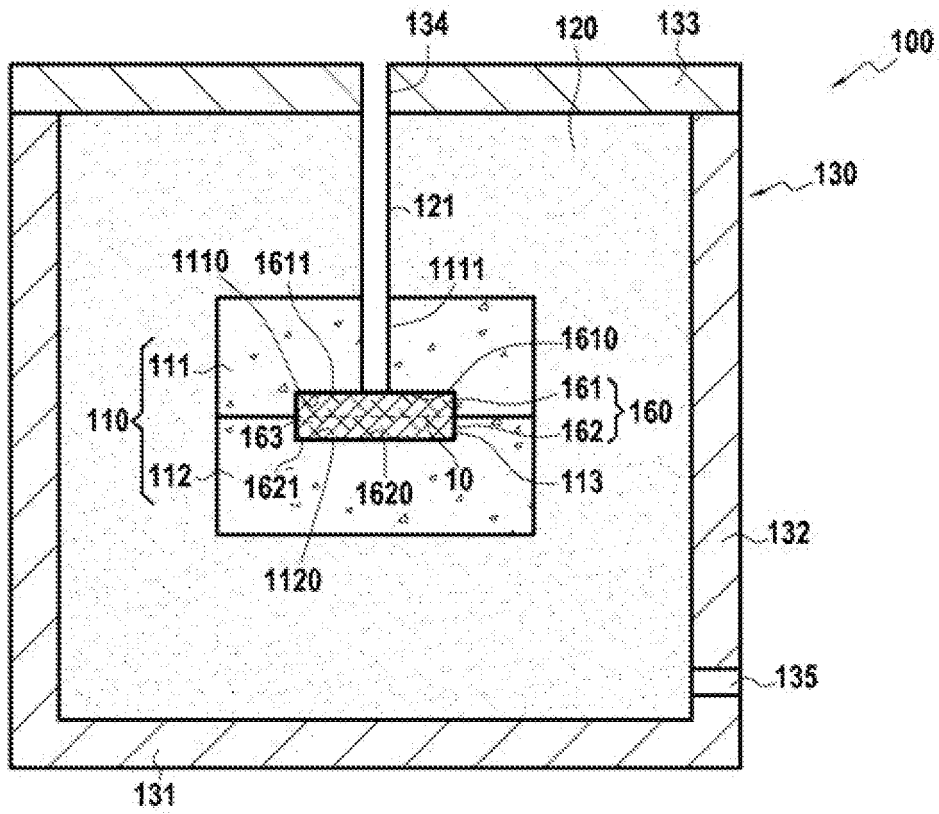
- [Revendication 1] Procédé de fabrication d'une pièce comprenant les étapes suivantes :
- injection sous pression d'une barbotine (150) contenant une poudre de particules céramique réfractaires (1500) dans la cavité de moulage (113) d'un outillage d'injection (100),
 - drainage du liquide de la barbotine (150) ayant traversé la cavité de moulage et rétention de la poudre de particules (1500) à l'intérieur de ladite cavité de moulage de manière à obtenir une ébauche (15) comprenant des particules réfractaires,
 - démoulage de l'ébauche, et
 - traitement thermique de l'ébauche afin de former une pièce,
- l'outillage d'injection (100) comprenant un moule en matériau poreux (110) comportant une cavité de moulage (113), une enceinte en matériau rigide (130) dans laquelle le moule en matériau poreux (110) est maintenu, l'enceinte comprenant en outre au moins un port d'injection (134), au moins un évent d'évacuation (135) et au moins un canal d'injection (1111) reliant ledit au moins un port d'injection à la cavité de moulage du moule poreux pour l'injection de la barbotine dans la cavité de moulage, caractérisé en ce que l'outillage d'injection (100) comprend une capsule sacrificielle (160), la capsule sacrificielle (160) étant placée dans la cavité de moulage (113), ladite capsule étant en matériau poreux.
- [Revendication 2] Procédé selon la revendication 1, comprenant en outre les étapes suivantes :
- formation d'une texture fibreuse (10) à partir de fibres céramique réfractaires,
 - placement de la texture fibreuse (10) dans le volume interne (163) de la capsule sacrificielle (160) avant l'injection sous pression de la barbotine.
- [Revendication 3] Procédé selon la revendication 1, comprenant en outre le placement de billes de verre dans le volume interne (160) de la capsule sacrificielle.
- [Revendication 4] Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel la capsule sacrificielle (160) est réalisée avec un matériau poreux identique au matériau poreux du moule (110).
- [Revendication 5] Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel la capsule sacrificielle (160) est réalisée en un des matériaux suivants : résine poreux, polytétrafluoroéthylène, plâtre.

- [Revendication 6] Procédé selon l'une quelconques des revendications 1 à 5, dans lequel la capsule sacrificielle (160) présente une épaisseur de paroi comprise entre 1 mm et 30 mm.
- [Revendication 7] Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, dans lequel la capsule sacrificielle (160) comprend une première et une deuxième parties (161, 162) assemblées l'une avec l'autre, la première partie (161) comportant une première empreinte (1610) correspondant à une partie de la forme de la pièce à fabriquer, la deuxième partie (162) comportant une deuxième empreinte (1620) correspondant à l'autre partie de la forme de la pièce à fabriquer.
- [Revendication 8] Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, dans lequel le traitement thermique de l'ébauche (15) comprend un premier palier réalisé à une température comprise entre 40°C et 95°C de manière à sécher le liquide de la barbotine présent dans la capsule sacrificielle (160) et un deuxième palier réalisé à une température comprise entre 1000°C et 1100°C de manière à lier les particules céramiques réfractaires (1500) entre elles et former une pièce à partir de l'ébauche.
- [Revendication 9] Procédé selon la revendication 8, dans lequel le premier palier est réalisé suivant une rampe de montée douce comprise entre 1°C/mn et 6°C/mn pour atteindre une température comprise entre 40°C et 95°C maintenue sur une durée comprise entre 30 mn et 90 mn.
- [Revendication 10] Procédé selon l'une quelconque des revendications 8 ou 9, dans lequel le traitement thermique comprend en outre un troisième palier réalisé après le premier palier et avant le deuxième palier, le troisième palier étant réalisé à une température comprise entre 450°C et 600°C de manière à brûler la capsule sacrificielle (160).
- [Revendication 11] Procédé selon la revendication 10, dans lequel troisième palier est réalisé suivant une rampe de montée douce comprise entre 1°C/mn et 7°C/mn pour atteindre une température comprise entre 450°C et 600°C maintenue sur une durée comprise entre 30 mn et 4 h.

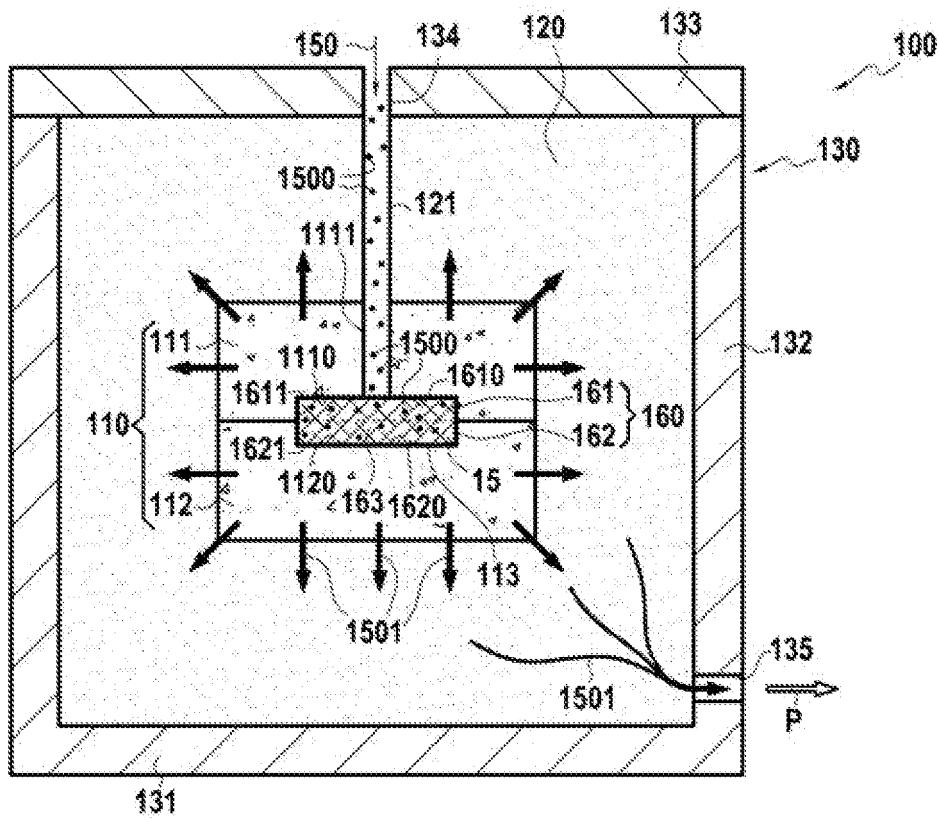
[Fig. 1]



[Fig. 2]



[Fig. 3]



**RAPPORT DE RECHERCHE
 PRÉLIMINAIRE PARTIEL**

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

voir FEUILLE(S) SUPPLÉMENTAIRE(S)

N° d'enregistrement
nationalFA 871515
FR 1907815

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendications concernées	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	JP H01 210306 A (SINTOKOGIO LTD) 23 août 1989 (1989-08-23)	1,6,7	B28B1/24 B28B1/26 B28B7/34
Y	* le document en entier *	2	
X	CN 104 760 118 A (NO 725 RES INST CHINA CSIC) 8 juillet 2015 (2015-07-08)	1,4-7	
Y	* figure 1 * * Paragraphe: "Background technology" *	2	
Y,D	WO 2017/060601 A1 (SAFRAN AIRCRAFT ENGINES [FR]; SAFRAN [FR]) 13 avril 2017 (2017-04-13) * figures 1-3 * * revendication 1 *	2	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			B28B C04B
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
19 mars 2020		Voltz, Eric	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITES		T : théorie ou principe à la base de l'invention	
X : particulièrement pertinent à lui seul		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.	
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie		D : cité dans la demande	
A : arrière-plan technologique		L : cité pour d'autres raisons	
O : divulgation non-écrite		
P : document intercalaire		& : membre de la même famille, document correspondant	

**ABSENCE D'UNITÉ D'INVENTION
FEUILLE SUPPLÉMENTAIRE B**

Numéro de la demande

FA 871515
FR 1907815

La division de la recherche estime que la présente demande de brevet ne satisfait pas à l'exigence relative à l'unité d'invention et concerne plusieurs inventions ou pluralités d'inventions, à savoir :

1. revendications: 1, 2, 4-7

Procédé de fabrication d'une pièce avec renfort fibreux.

2. revendication: 3

Procédé de fabrication d'une pièce abradable.

3. revendications: 8-11

Procédé de fabrication d'une pièce sans porosités de surface.

La première invention a été recherchée.

Les raisons pour lesquelles la demande est considérée comme ne satisfaisant pas aux exigences d'unité d'invention sont définies dans l'avis provisoire accompagnant les résultats partiels de recherche (OEB Form 237) annexé.

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1907815 FA 871515**

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 **19-03-2020**
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
JP H01210306	A	23-08-1989	AUCUN	

CN 104760118	A	08-07-2015	AUCUN	

WO 2017060601	A1	13-04-2017	BR 112018006792 A2	16-10-2018
			CA 3000963 A1	13-04-2017
			CN 108779033 A	09-11-2018
			EP 3359506 A1	15-08-2018
			FR 3041890 A1	07-04-2017
			JP 2018537378 A	20-12-2018
			RU 2018116397 A	08-11-2019
			US 2018297901 A1	18-10-2018
			WO 2017060601 A1	13-04-2017
