

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

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

2 995 305

②1 N° d'enregistrement national : 12 58475

⑤1 Int Cl⁸ : C 04 B 35/638 (2013.01), B 22 C 9/10, F 01 D 5/18

⑫ DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 10.09.12.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 14.03.14 Bulletin 14/11.

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 :

⑦1 Demandeur(s) : SNECMA — FR.

⑦2 Inventeur(s) : LANGLOIS CHANTAL, SYLVETTE.

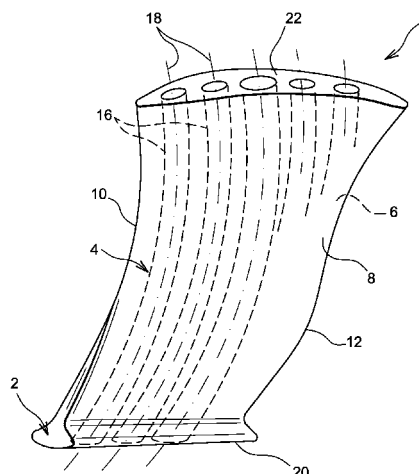
⑦3 Titulaire(s) : SNECMA.

⑦4 Mandataire(s) : BREVALEX Société à responsabilité
limitée.

⑤4 PROCÉDE DE FABRICATION AMELIORE D'UN NOYAU EN CERAMIQUE DESTINE A LA FABRICATION D'UNE
AUBE DE MODULE DE TURBOMACHINE.

⑤7 L'invention concerne un procédé de fabrication d'un
noyau en céramique destiné à la fabrication d'une aube de
module de turbomachine présentant au moins un canal de
refroidissement obtenu par coulée autour du noyau en céra-
mique puis élimination de ce dernier, la fabrication du noyau
en céramique comportant une étape de réalisation d'une
pièce (40) à partir d'une pâte comprenant la céramique et un
liant, le procédé comprenant ensuite une étape d'extraction
du liant hors de la pièce (40) puis une étape de cuisson de
cette pièce afin d'obtenir le noyau en céramique.

Selon l'invention, l'étape d'extraction est réalisée en pla-
çant ladite pièce (40) dans un bac (42) de poudre en céra-
mique (44) présentant des propriétés d'absorption dudit
liant, et en chauffant la pièce (40) de façon à amener son
liant dans un état liquide dans lequel il est absorbé par la
poudre en céramique (44) recouvrant la pièce.



FR 2 995 305 - A1



**PROCÉDÉ DE FABRICATION AMELIORÉ D'UN NOYAU EN CÉRAMIQUE
DESTINÉ À LA FABRICATION D'UNE AUBE DE MODULE DE
TURBOMACHINE**

5

DESCRIPTION

DOMAINE TECHNIQUE

L'invention se rapporte à la fabrication d'un noyau en céramique, destiné à la réalisation d'une aube de module de turbomachine intégrant un circuit de refroidissement. Il s'agit en particulier d'un noyau en céramique destiné à la fabrication d'une aube de turbine.

L'invention concerne tous les types de turbomachines d'aéronef, en particulier les turboréacteurs et les turbopropulseurs.

ETAT DE LA TECHNIQUE ANTERIEURE

La fabrication d'une aube de module de turbomachine intégrant un circuit de refroidissement est habituellement réalisée par coulée d'un matériau métallique autour d'un ou plusieurs noyaux en céramique, ces derniers étant agencés dans une moule de fonderie. Une fois la coulée terminée et le matériau métallique refroidi, les noyaux en céramique sont éliminés de manière conventionnelle et connue de l'homme du métier, et laissent place à des canaux de refroidissement destinés à être traversés par un flux d'air dédié.

Cette technique est parfaitement maîtrisée, mais la fabrication des noyaux en céramique peut être

optimisée. En effet, habituellement, celle-ci comporte une étape de réalisation d'une pièce présentant la forme du noyau, à partir d'une pâte comprenant la céramique et un liant, puis comprend ensuite une étape
5 d'extraction du liant hors de la pièce, pour enfin subir une étape de cuisson de cette pièce de manière à obtenir le noyau en céramique.

La première étape de réalisation de la pièce est généralement réalisée par injection
10 thermoplastique d'une pâte dans un moule métallique, cette pâte comprenant la céramique et un liant. Elle est également dénommée « liant chargé en céramique ».

La pièce moulée, durcie mais non-encore consolidée, est ensuite sortie du moule métallique,
15 pour la mise en œuvre de la seconde étape d'extraction du liant qui est la plus délicate. Cette seconde étape a bien pour but d'éliminer le liant qui a initialement servi à la mise en forme et au maintien de la céramique, cette élimination s'avérant essentielle
20 avant d'effectuer l'étape ultime de cuisson de la pièce, visant au durcissement de la céramique.

Actuellement, cette seconde étape est réalisée en chauffant très lentement la pièce formée de pâte, afin que le liant s'élimine progressivement.
25 Durant cette mise en température, la pièce a tendance à se ramollir et à perdre sa forme complexe, de sorte qu'il est nécessaire de prévoir des moyens spécifiques assurant son maintien durant l'étape d'élimination du liant. Dans les procédés classiques actuels, ces moyens
30 consistent en une préforme dans laquelle est insérée la pâte.

Néanmoins, la température de travail ne pouvant être excessive durant cette étape d'extraction du liant, celle-ci est par conséquent très longue à mettre en œuvre, surtout pour des géométries épaisses ou à fort gradient d'épaisseur.

Aussi, avec les techniques actuelles, il apparait difficile de trouver un compromis entre un cycle de chauffage adapté évitant de créer des contraintes dans le noyau qui provoqueraient des défauts, par exemple du type fissures ou cloques, et une cadence de production acceptable.

Par ailleurs, il est également nécessaire de réaliser un support / une préforme de maintien spécifique de la géométrie de la pièce en pâte, et d'en créer un pour chaque pièce à cuire. L'outillage requis est par conséquent très importants.

Enfin, pour la mise en œuvre des seconde et troisième étapes précitées, il est requis un nombre de fours importants avec des volumes de fours élevés nécessaires à l'obtention d'une cadence de production acceptable.

EXPOSÉ DE L'INVENTION

L'invention a donc pour but de remédier au moins partiellement aux inconvénients mentionnés ci-dessus, relatifs aux réalisations de l'art antérieur.

Pour ce faire, l'invention a pour objet un procédé de fabrication d'un noyau en céramique destiné à la fabrication d'une aube de module de turbomachine présentant au moins un canal de refroidissement obtenu par coulée autour du noyau en céramique puis élimination de ce dernier, la fabrication dudit noyau

en céramique comportant une étape de réalisation d'une pièce présentant la forme dudit noyau, à partir d'une pâte comprenant ladite céramique et un liant, ledit procédé comprenant ensuite une étape d'extraction du liant hors de la pièce puis une étape de cuisson de cette pièce afin d'obtenir le noyau en céramique.

Selon l'invention, l'étape d'extraction est réalisée en plaçant ladite pièce dans un bac de poudre en céramique présentant des propriétés d'absorption dudit liant, et en chauffant ladite pièce de façon à amener son liant dans un état liquide dans lequel il est absorbé par la poudre en céramique recouvrant ladite pièce.

L'invention est remarquable en ce qu'elle rompt avec les techniques antérieures de fabrication des noyaux en céramique. Tout d'abord, la poudre en céramique est choisie pour ses propriétés d'absorption du liant durant sa fonte, de sorte que cette poudre remplit la fonction de buvard pompant le liant liquide durant l'étape d'extraction. Cette absorption est permise par une structure interne particulière de la poudre en céramique retenue, disposant en particulier d'un réseau capillaire inter-granulaire mais également d'une porosité intra-granulaire. De cette façon, à la fin de l'étape d'extraction, le liant liquide se trouve à la périphérie de la pièce dans la poudre en céramique, et non plus au sein de cette même pièce. Par conséquent, le passage du liant de l'état liquide à l'état gazeux observé durant l'étape ultérieure de cuisson à température plus élevée n'est plus problématique, car il n'existe plus de risque de créer

des contraintes dans le noyau susceptibles d'engendrer des défauts comme des fissures ou des cloques.

Par ailleurs, la pièce est entourée par la poudre qui permet de conserver sa géométrie, malgré le ramollissement observé durant l'étape d'extraction du liant. En étant immergée dans le bac de poudre en céramique, la pièce en pâte ne requiert plus de support / préforme de maintien, ce qui diminue avantageusement l'outillage requis.

De manière plus générale, l'invention permet une étape rapide d'extraction du liant, pouvant être raccourcie d'une durée de vingt heures ou plus par rapport à l'état de l'art. Comme évoqué ci-dessus, elle ne requiert plus de support / préforme de maintien, ce qui permet de diminuer l'outil nécessaire à la mise en œuvre du procédé, et donc de s'affranchir de la nécessité de prévoir un stock de préforme important équivalent au nombre de pièces à cuire. En outre, plusieurs pièces en pâte pouvant être cuites dans un même bac de poudre en céramique, il devient possible de traiter un grand nombre de noyaux dans un volume restreint, ce qui permet d'obtenir une cadence de production élevée sans pour autant nécessiter des fours en nombre et volume élevés. Enfin, l'outillage requis peut être réduit et la cadence améliorée par le fait que les deux étapes d'extraction et de cuisson peuvent être réalisées au cours d'un même cycle de mise en température.

De préférence, la poudre en céramique est choisie de sorte qu'au cours de la mise en œuvre de l'étape de cuisson de la pièce, elle n'adhère pas à

cette pièce. Cela facilite le processus de fabrication, puisqu'à la fin de l'étape de cuisson, il suffit de retirer le noyau durci du bac de poudre, celle-ci s'écoulant alors facilement sur la surface extérieure de ce noyau.

De préférence, la poudre en céramique est une poudre d'oxyde. A cet égard, il est noté que ce type de poudre a été détourné de son application connue à la chromatographie et/ou à la catalyse, afin d'utiliser son pouvoir d'absorption / d'adsorption.

A titre d'exemples préférés, la poudre d'oxyde est une poudre d'alumine et/ou de silice.

De préférence, ladite étape d'extraction du liant et ladite étape de cuisson sont réalisées au cours d'un même cycle de mise en température. Alternativement, deux cycles distincts de mise en température peuvent être réalisés, préférentiellement en conservant la pièce dans le même bac de poudre en céramique.

De préférence, ladite étape d'extraction est réalisée à une température comprise entre 30 et 300°C, et ladite étape de cuisson est réalisée à une température comprise entre 900 et 1300°C. Ces valeurs sont en particulier fonction de la nature du liant employé.

De préférence, ladite étape de cuisson est réalisée de manière à obtenir un frittage de la céramique de ladite pièce.

L'invention a également pour objet un procédé de fabrication de plusieurs noyaux en céramique par mise en œuvre du procédé tel que décrit ci-dessus,

lesdites pièces étant placées dans le même bac de poudre de céramique. Cela permet de réduire l'outillage requis, et d'améliorer la cadence de production.

Enfin, l'invention a également pour objet un procédé de fabrication d'une aube de module de turbomachine présentant au moins un canal de refroidissement obtenu par coulée autour du noyau en céramique puis élimination de ce dernier, ledit procédé comprenant la fabrication du noyau en céramique telle que décrite ci-dessus.

D'autres avantages et caractéristiques de l'invention apparaîtront dans la description détaillée non limitative ci-dessous.

BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

Cette description sera faite au regard des dessins annexés parmi lesquels ;

- la figure 1 représente une vue en perspective d'une aube de turbine de turbomachine présentant un circuit de refroidissement, cette aube étant destinée à être fabriquée à l'aide de plusieurs noyaux en céramique prévus pour être fabriqués selon le procédé spécifique à la présente invention ;

- la figure 2 représente une vue en perspective de l'un des noyaux utilisés pour la fabrication de l'aube de turbine montrée sur la figure précédente ;

- la figure 3 représente une vue en coupe de l'aube montrée sur la figure 1, au cours de son procédé de fabrication à l'aide de noyaux en céramique ; et

- les figures 3a à 3c représentent des étapes de mise en œuvre d'un mode de réalisation préféré du procédé de fabrication d'un noyau en céramique.

5 EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PRÉFÉRÉS

En référence à la figure 1, il est représenté une aube de turbine 1 de turbomachine (non représentée), présentant un circuit de refroidissement qui prend ici la forme de plusieurs canaux de refroidissement destinés à être traversés, en fonctionnement, par un flux d'air de refroidissement spécifique.

L'aube creuse monobloc 1, du type aube de rotor de turbine, comporte un pied 2 prolongé par une pale 4 dans une direction radiale.

La pale 4, destinée à être placée dans la veine de circulation d'un flux d'air de la turbomachine, est munie de deux surfaces extérieures 6 et 8, respectivement appelées surface d'extrados 6 et surface d'intrados 8, raccordées par un bord d'attaque 10 et un bord de fuite 12.

Comme montré sur la figure 1, l'aube creuse monobloc 1, par exemple réalisée dans un alliage de titane, est pourvue d'une pluralité de canaux de refroidissement 16 s'étendant chacun sensiblement radialement selon une ligne centrale 18 (seuls les trois évidements 16 les plus proches du bord d'attaque 10 sont intégralement représentés). Afin d'assurer une longueur importante de chacun de ces canaux sans que ceux-ci ne débouchent au niveau des surfaces d'extrados et d'intrados 6 et 8, chacune des lignes centrales 18

est une ligne courbe, apte à suivre radialement le profil de l'aube.

Dans ce mode de réalisation préféré, chaque évidemment 16 s'étend dans l'aube 1 de manière à la traverser radialement intégralement, à savoir en débouchant d'une part au niveau d'une extrémité inférieure 20 du pied 2, et d'autre part au niveau d'une extrémité supérieure 22 de la pale 4. D'autres formes de canaux de refroidissement peuvent néanmoins être envisagées, sans sortir du cadre de l'invention. A titre d'exemple indicatif, un même canal peut serpenter à l'intérieur de l'aube entre son entrée et sa sortie.

Chaque canal 16 présente donc une géométrie complexe, disposant d'une section constante ou non le long de sa ligne centrale 18.

De manière conventionnelle, la fabrication de cette aube s'effectue en coulant un matériau métallique 24 au sein d'un moule pré-équipé de noyaux en céramique, référencés 26 sur les figures 2 et 3. Ensuite, toujours de manière préférentielle, les noyaux 26 sont éliminés pour laisser place aux canaux de refroidissement 16.

L'invention concerne en particulier la fabrication de ces noyaux 26, dont un exemple préféré de réalisation va être décrit en référence aux figures 3a à 3c.

Tout d'abord, une première étape schématisée sur la figure 3a consiste à réaliser une pièce par injection thermoplastique d'une pâte dans un moule métallique, cette pâte comprenant la céramique et un liant dont la fonction est de maintenir

provisoirement les éléments céramiques avant leur frittage. Cette pâte est également dénommée « liant chargé en céramique ».

A la sortie du moule métallique, la pièce
5 40 présente une géométrie complexe correspondant à celle du noyau 26 que l'on souhaite obtenir, et correspond donc également à celle du canal de refroidissement désiré.

Le procédé est ensuite poursuivi par mise
10 en œuvre d'une étape d'extraction du liant hors de la pièce 40. Elle consiste à placer cette pièce 40 dans un bac 42 rempli de poudre en céramique 44, de préférence une poudre d'oxyde telle que de la silice ou de l'alumine, présentant des propriétés d'absorption du
15 liant.

La pièce 40 est noyée dans la poudre 44 qui recouvre toute sa surface extérieure, de manière à l'envelopper entièrement. Sur la figure 3b, deux pièces 44 sont placées dans le même bac 42, de manière à
20 optimiser la cadence de production. Un nombre de pièces supérieur à deux peut bien entendu être envisagé, sans sortir du cadre de l'invention.

Une fois la pièce 40 immergée dans la poudre 44, le bac 42 est placé dans un four permettant
25 de chauffer la pièce 40 de façon à amener son liant dans un état liquide dans lequel il est absorbé par la poudre d'oxyde 44 recouvrant la pièce. Aussi, la poudre 44 remplit d'une part le rôle d'absorbant du liant qui se liquéfie, et d'autre part le rôle de maintien de la
30 géométrie complexe de la pièce 40 se vidant progressivement de son liant.

L'étape d'extraction du liant est achevée lorsque celui-ci à intégralement ou presque été aspiré par la poudre 44 dont la granulométrie crée un réseau de capillaire inter-granulaire et, également, de par sa nature, crée un réseau de capillaire intra-granulaire.

Ensuite, le bac 42 est préférentiellement maintenu dans le four pour faire subir à la pièce 40 la troisième étape consistant au frittage de la céramique de cette pièce, par élévation de la température du four. Au cours de cette troisième étape, le liant en fusion se trouve prisonnier de la poudre d'oxyde, et c'est donc celle-ci qui subit éventuellement les contraintes liées à la fusion du liant, et non la céramique restante de la pièce à fritter. De plus, l'élévation en température observée lors de cette troisième étape nettoie la poudre d'oxyde de tous les éventuels résidus organiques, ce qui permet de la régénérer pour le cycle de cuisson suivant.

En référence à la figure 3c, les seconde étape et troisième étape précitées peuvent être mises en œuvre lors d'un même cycle de mise en température, c'est-à-dire en conservant le bac au four, sans sortir la pièce 40. Dans un tel cas, à titre d'exemple, la deuxième étape est mise en œuvre à une température T1 de l'ordre de 30 à 300°C, entre les instants t1 et t2, tandis que la troisième étape est mise en œuvre à une température T2 de l'ordre de 900 à 1300°C, entre les instants t2 et t3. Le noyau durci au cours de la troisième étape de frittage de la céramique est ensuite refroidi jusqu'à un instant t4, avant d'être extrait du bac 42.

La poudre d'oxyde 44 est choisie de sorte que lors du retrait du noyau, elle s'écoule facilement sur la surface extérieure de ce noyau. A titre d'exemple, cette poudre est une poudre d'oxyde d'aluminium entourant un noyau de silice.

Plus généralement, la poudre d'oxyde est choisie parmi les silices et alumines usuellement utilisées en chromatographie ou en catalyse. La sélection est effectuée de façon à ce que la poudre présente la chimie la plus pure, compatible avec la chimie des noyaux, afin d'éviter l'adhérence sur le noyau et le mottage de cette poudre dans le bac. De plus, elle est retenue pour avoir une bonne résistance à la température afin d'être stable dans le temps, et présente une granulométrie compatible avec une meilleure coulabilité, pour bien enrober la pièce en pâte.

Bien entendu, diverses modifications peuvent être apportées par l'homme du métier à l'invention qui vient d'être décrite, uniquement à titre d'exemples non limitatifs.

REVENDICATIONS

5 1. Procédé de fabrication d'un noyau en
céramique (26) destiné à la fabrication d'une aube de
module (1) de turbomachine présentant au moins un canal
de refroidissement (16) obtenu par coulée autour du
noyau en céramique (26) puis élimination de ce dernier,
10 la fabrication dudit noyau en céramique comportant une
étape de réalisation d'une pièce (40) présentant la
forme dudit noyau, à partir d'une pâte comprenant
ladite céramique et un liant, ledit procédé comprenant
ensuite une étape d'extraction du liant hors de la
15 pièce (40) puis une étape de cuisson de cette pièce
afin d'obtenir le noyau en céramique (26),

 caractérisé en ce que l'étape d'extraction
est réalisée en plaçant ladite pièce (40) dans un bac
(42) de poudre en céramique (44) présentant des
20 propriétés d'absorption dudit liant, et en chauffant
ladite pièce (40) de façon à amener son liant dans un
état liquide dans lequel il est absorbé par la poudre
en céramique (44) recouvrant ladite pièce.

25 2. Procédé selon la revendication 1,
caractérisé en ce que la poudre en céramique (44) est
choisie de sorte qu'au cours de la mise en œuvre de
l'étape de cuisson de la pièce (40), ladite poudre en
céramique n'adhère pas à cette pièce.

30

3. Procédé selon la revendication 1 ou la revendication 2, caractérisé en ce que la poudre en céramique (44) est une poudre d'oxyde.

5 4. Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce que la poudre d'oxyde est une poudre d'alumine et/ou de silice.

10 5. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que ladite étape d'extraction du liant et ladite étape de cuisson sont réalisées au cours d'un même cycle de mise en température.

15 6. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que ladite étape de cuisson est réalisée de manière à obtenir un frittage de la céramique de ladite pièce (40).

20 7. Procédé de fabrication de plusieurs noyaux en céramique (26) par mise en œuvre du procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que lesdites pièces (40) sont placées
25 dans le même bac (42) de poudre de céramique (44).

30 8. Procédé de fabrication d'une aube de module (1) de turbomachine présentant au moins un canal de refroidissement (16) obtenu par coulée autour du noyau en céramique (26) puis élimination de ce dernier, ledit procédé comprenant la fabrication du noyau en

céramique selon l'une quelconque des revendications 1 à 6.

5

10

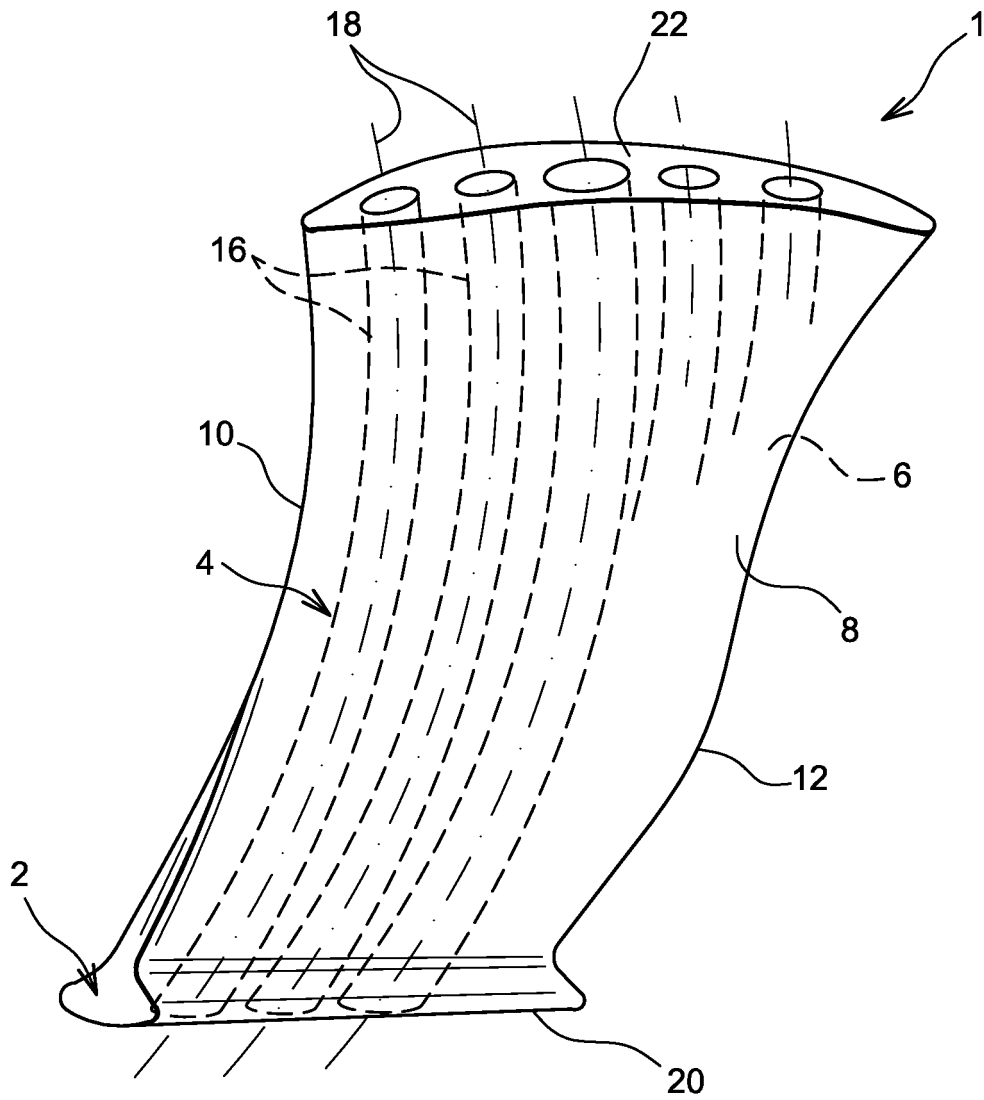


FIG. 1

2 / 3

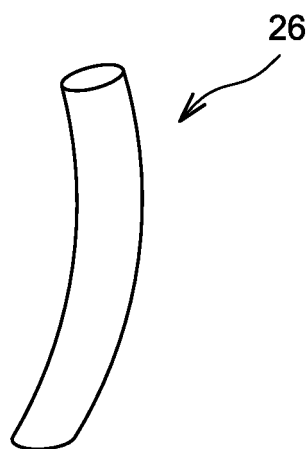


FIG. 2

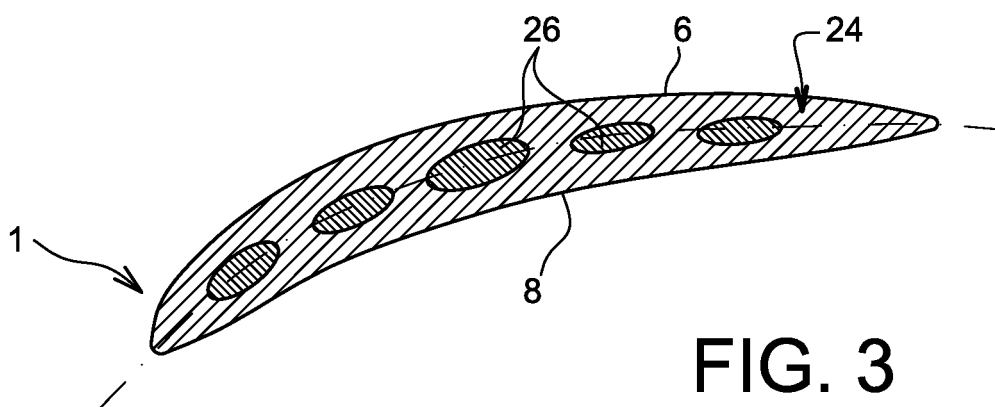
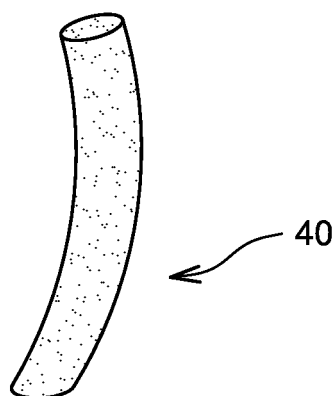


FIG. 3

FIG. 3a



3 / 3

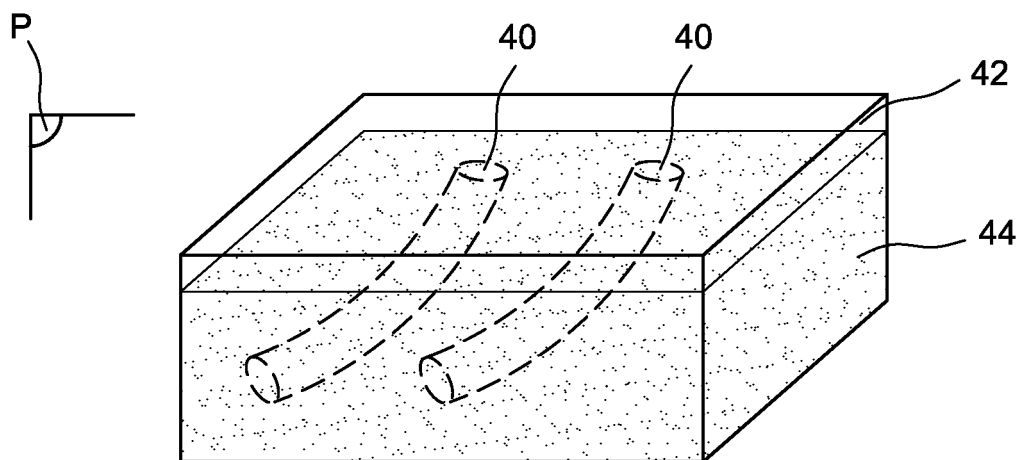


FIG. 3b

FIG. 3b'

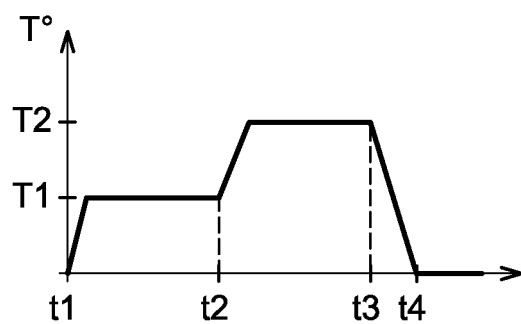
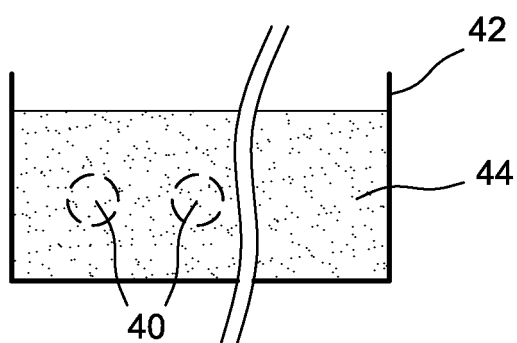


FIG. 3c



**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

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

N° d'enregistrement
national

FA 771834
FR 1258475

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	US 5 028 367 A (WEI TAI-SHING [US] ET AL) 2 juillet 1991 (1991-07-02) * revendications 1,2 *	1-8	C04B35/638 B22C9/10 F01D5/18
A	EP 1 980 343 A1 (SNECMA [FR]) 15 octobre 2008 (2008-10-15) * revendication 4 *	1-8	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			C04B B22C F01D
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
16 mai 2013		Sala, Paolo	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		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	
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			

1

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1258475 FA 771834**

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 **16-05-2013**

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
US 5028367	A	02-07-1991	AUCUN	

EP 1980343	A1	15-10-2008	CA 2629053 A1	11-10-2008
			EP 1980343 A1	15-10-2008
			FR 2914871 A1	17-10-2008
			JP 2008260065 A	30-10-2008
			US 2008251979 A1	16-10-2008
