



(51) Classification internationale des brevets :
B22D 27/04 (2006.01) **B22C 21/14** (2006.01)
B22C 9/04 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2014/050061

(22) Date de dépôt international :
13 janvier 2014 (13.01.2014)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
1350424 17 janvier 2013 (17.01.2013) FR

(71) Déposant : SNECMA [FR/FR]; Société Anonyme, 2 Boulevard du Général Martial Valin, F-75015 Paris (FR).

(72) Inventeurs : **RAPPART, Yvan**; SNECMA PI (AJI), Rond-Point René Ravaud - Réau, F-77550 Moissy-Cramayel (FR). **BERTHELEMY, Christelle**; SNECMA PI (AJI), Rond-Point René Ravaud - Réau, F-77550 Moissy-

Cramayel (FR). **MARIE, Benoît, Georges, Jocelyn**; SNECMA PI (AJI), Rond-Point René Ravaud - Réau, F-77550 Moissy-Cramayel (FR). **LOCATELLI, David**; SNECMA PI (AJI), Rond-Point René Ravaud - Réau, F-77550 Moissy-Cramayel (FR). **DIGARD BROU DE CUISSART, Sébastien**; SNECMA PI (AJI), Rond-Point René Ravaud - Réau, F-77550 Moissy-Cramayel (FR).

(74) Mandataires : **DAVID, Daniel** et al.; Gevers France, 41 Avenue de Friedland, F-75008 Paris (FR).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : METHOD FOR MANUFACTURING A COMPONENT USING THE LOST-WAX CASTING METHOD WITH DIRECTED COOLING

(54) Titre : PROCÉDÉ DE FABRICATION D'UNE PIÈCE PAR FONDERIE A LA CIRE PERDUE ET REFROIDISSEMENT DIRIGÉ

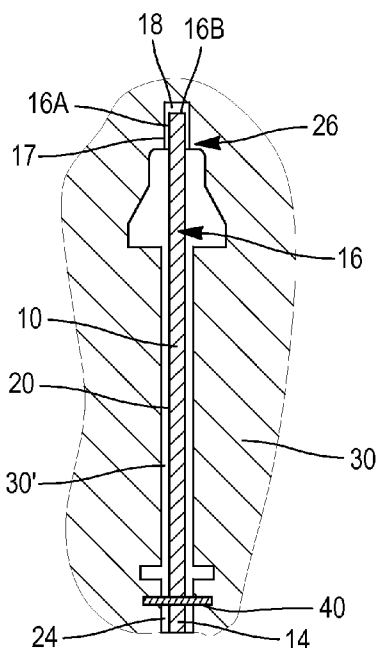


FIG. 5

(57) Abstract : The present invention relates to a method for manufacturing a metal component using the lost-wax casting method, the component being made of nickel alloy, with a columnar or monocrystalline structure with at least one cavity of elongate shape, comprising the following steps of creating a wax model (20) of the component with a ceramic core (10) corresponding to said cavity, the ceramic core comprising a first land (14) for holding at one longitudinal end and a second land (16) for holding at the opposite end, creating a shell mould around the model, the mould comprising a base and the first land of the core being at the same end as the base, placing the mould in a furnace, with the base standing on the sole of the furnace, pouring the said molten alloy into the shell mould, directed solidification of the poured metal by gradual cooling from the sole in a direction of propagation. It is characterized in that the core (10) is secured to the shell mould by an anchoring means (40) providing anchorage between the first land (14) of the core and the wall of the mould, the second land (16) of the core being retained in the mould by a retaining means (17) that slides on the wall of the mould.

(57) Abrégé :

[Suite sur la page suivante]



TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(84) **États désignés** (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasién (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK,

Publiée :

- avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))
- avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont reçues (règle 48.2.h))

La présente invention porte sur un procédé de fabrication par fonderie à la cire perdue d'une pièce métallique en alliage de nickel, à structure colonnaire ou monocristalline avec au moins une cavité de forme allongée, comprenant les étapes suivantes de réalisation d'un modèle (20) en cire de la pièce avec un noyau céramique (10) correspondant à ladite cavité, le noyau céramique comportant une première portée (14) de maintien à une extrémité longitudinale et une seconde portée (16) de maintien à l'extrémité opposée, réalisation d'un moule carapace autour du modèle, le moule comprenant une base et la première portée du noyau étant du côté de la base, mise en place du moule dans un four, la base étant posée sur la sole du four, coulée dudit alliage en fusion dans le moule carapace, solidification dirigée du métal coulé par refroidissement progressif depuis la sole selon une direction de propagation. Il est caractérisé par le fait que le noyau (10) est rendu solidaire du moule carapace par un moyen d'ancrage (40) entre la première portée (14) du noyau et la paroi du moule, la seconde portée (16) du noyau étant retenue dans le moule par un moyen de maintien (17) glissant sur la paroi du moule.

Procédé de fabrication d'une pièce par fonderie à la cire perdue et refroidissement dirigé

Domaine technique

5

La présente invention concerne le domaine des pièces métalliques, telles que des aubes de turbomachine obtenues par coulée de métal dans un moule carapace et vise un procédé de fabrication de ces pièces avec solidification dirigée de type colonnaire ou monocristallin.

10

Art antérieur

15

20

25

Le procédé de fabrication de pièces métalliques par fonderie à la cire perdue, comprend une succession d'étapes rappelées ci-après. Des modèles des pièces à fabriquer sont d'abord élaborés en cire ou en un autre matériau provisoire. Le cas échéant les modèles sont réunis en une grappe autour d'un fût central également en cire. Une carapace en matériau céramique est ensuite formée sur les modèles, ainsi assemblés, par trempages successifs dans des barbotines de composition appropriée comprenant des particules de matières céramiques en suspension dans un liquide, alternés de saupoudrages de sable réfractaire. On élimine ensuite le modèle en cire tout en consolidant par chauffage le moule carapace ainsi formé. L'étape suivante consiste à couler un alliage métallique, notamment un superalliage de nickel, en fusion dans le moule carapace puis à refroidir les pièces obtenues de manière à en diriger la solidification selon la structure cristalline désirée. Après solidification, la carapace est éliminée par décochage pour en extraire les pièces. Enfin on procède aux étapes de finition pour éliminer les excès de matière.

30

L'étape de refroidissement et solidification est donc contrôlée. La solidification de l'alliage métallique étant le passage de la phase liquide à la phase solide, la solidification dirigée consiste à faire progresser la croissance de "germes" dans le bain de métal fondu selon une direction donnée, en évitant l'apparition de germes nouveaux par le contrôle du gradient thermique et de la

vitesse de solidification. La solidification dirigée peut être colonnaire ou monocristalline. La solidification dirigée colonnaire consiste à orienter tous les joints de grains dans la même direction, de telle manière qu'ils ne contribuent pas à la propagation de fissures. La solidification dirigée monocristalline, consiste à supprimer totalement les joints de grains.

On procède à la solidification dirigée, colonnaire ou monocristalline, de manière connue en soi en plaçant le moule carapace, ouvert en sa partie inférieure, sur une sole refroidie, puis en introduisant l'ensemble dans un équipement de chauffe capable de maintenir le moule céramique à une température supérieure au liquidus de l'alliage à mouler. Une fois la coulée effectuée, le métal situé dans des ouvertures ménagées au bas du moule carapace se solidifie quasi-instantanément au contact de la sole refroidie et se fige sur une hauteur limitée de l'ordre du centimètre sur laquelle il présente une structure granulaire équi-axe, c'est-à-dire que sa solidification sur cette hauteur limitée s'effectue de façon naturelle, sans direction privilégiée. Au-dessus de cette hauteur limitée, le métal demeure à l'état liquide, du fait du chauffage extérieur imposé. On déplace la sole à vitesse contrôlée vers le bas de manière à extraire le moule céramique du dispositif de chauffage conduisant à un refroidissement progressif du métal qui continue à se solidifier depuis la partie basse du moule jusque vers sa partie haute.

La solidification dirigée colonnaire est obtenue par le maintien d'un gradient de température approprié en grandeur et en direction dans la zone de changement de phase liquide-solide, pendant cette opération de déplacement de la sole. Cela permet d'éviter une surfusion génératrice de nouveaux germes en avant du front de solidification. Ainsi, les seuls germes qui permettent la croissance des grains sont ceux qui préexistent dans la zone équi-axe solidifiée au contact de la sole refroidie. La structure colonnaire ainsi obtenue est constituée d'un ensemble de grains étroits et allongés.

La solidification dirigée monocristalline comprend en outre l'interposition entre la pièce à mouler et la sole refroidie, soit d'une chicane ou sélecteur de grain, soit d'un germe monocristallin ; on contrôle le gradient thermique et la vitesse de solidification de telle façon qu'il ne se crée pas de nouveaux germes en avant du

front de solidification. Il en résulte une pièce moulée monocristalline après refroidissement.

Cette technique de solidification dirigée, qu'elle soit colonnaire ou monocristalline, est couramment utilisée pour réaliser des pièces moulées, et notamment des aubes de turbomachine, lorsqu'il est souhaitable de conférer aux pièces moulées des propriétés mécaniques et physiques particulières. C'est notamment le cas lorsque les pièces moulées sont des aubes de turbomachine.

De plus, de manière connue en soi, lors de la mise en œuvre d'un procédé de moulage à cire perdue, avec ou sans solidification dirigée, on utilise des masselottes, afin de supprimer les défauts de porosité dans des zones d'extrémité des pièces à fabriquer. En pratique, on prévoit des volumes excédentaires lors de la réalisation des modèles en cire, qui sont placés contre les zones des pièces qui sont susceptibles de présenter des défauts de porosité après solidification. Lors de la réalisation de la carapace, les volumes excédentaires se traduisent par des volumes supplémentaires à l'intérieur de la carapace, et se remplissent de métal en fusion lors de la coulée, de la même manière que les autres parties de la carapace. Les masselottes sont les réserves de métal solidifié qui remplissent les volumes supplémentaires dans la carapace. Les défauts de porosité, lorsqu'ils surviennent, sont alors déplacés dans les masselottes et ne sont plus localisés dans les pièces fabriquées elles-mêmes. Puis, une fois le métal solidifié et refroidi, les masselottes sont éliminées lors d'une opération de parachèvement des pièces, par exemple par usinage, par tronçonnage ou par meulage.

On connaît par ailleurs, tel que décrit dans le brevet FR 2724857 au nom de la demanderesse, un procédé de fabrication d'aubes monocristallines, telles que de distributeurs de turbine, constituées d'au moins une pale entre deux plateformes transversales par rapport aux génératrices de la pale. Le procédé est du type selon lequel on alimente le moule en métal fondu à sa partie supérieure. On opère une solidification dirigée dont le front progresse verticalement de bas en haut, on sélectionne un grain de cristal unique au moyen d'un dispositif de sélection placé à la partie inférieure du moule et à la sortie duquel on se trouve en présence d'un grain unique d'orientation prédéterminée et de direction se confondant avec la verticale.

La présente invention concerne la fabrication de pièces présentant au moins une cavité et dont le modèle en cire est moulé autour d'un noyau en céramique. Ce noyau, lors de la coulée du métal en fusion réserve à l'intérieur de la pièce le volume correspondant à la cavité souhaitée. Pour une aube de turbomachine, on réalise de cette façon les cavités parcourues par le fluide de refroidissement.

Les noyaux en céramiques pour les aubes de turbomachine comprennent, selon un mode de fabrication connu, deux portées ou pattes de maintien, une à chaque extrémité longitudinale. Les modèles sont préparés de telle sorte qu'un encastrement ou ancrage du noyau céramique est défini au niveau de la zone du pied du noyau dans la partie haute du moule. En effet selon cette technique le noyau et le modèle en cire sont montés pied en haut et le sommet en bas. Ainsi après les opérations de moulage céramique, la carapace céramique formée bloque le noyau dans cette zone. Lors de la coulée, le métal en fusion remplit l'empreinte libérée par la cire qui a été préalablement éliminée. Le métal fondu occupe l'espace entre le noyau et la paroi de la carapace. La solidification est ensuite opérée par le tirage de haut en bas de la sole du four sur laquelle est placée la carapace, la solidification progresse depuis le starter dans lequel plusieurs grains métalliques solidifient puis successivement dans le sommet de l'aube, la pale et le pied. En solidifiant le métal crée un deuxième ancrage du noyau au niveau de la portée d'extrémité dans la partie de début de solidification. Le noyau est alors tenu à ses deux extrémités et est contraint en compression. Il s'ensuit une déformation du noyau par flambage. Le noyau ne respecte plus sa position théorique et des défauts peuvent apparaître sur la pièce : des épaisseurs de paroi métallique peuvent ne pas être respectées, ou alors le noyau sous l'effet des contraintes des deux encastrements à ses deux extrémités perfore la paroi métallique de l'aube par flambage. Dans ces deux cas la pièce doit être mise au rebut.

Par ailleurs, le positionnement de l'encastrement en début de solidification présente l'inconvénient de perturber le front de solidification naissant avec le risque de générer des grains parasites ou de la désorientation. En outre, il existe dans le cas du monocristal un risque de défaut de recollement des fronts croissants de part et d'autre de la zone d'encastrement.

Exposé de l'invention

L'invention a donc pour objet un procédé de fabrication d'une pièce qui pallie les problèmes présentés ci-dessus.

5 Le procédé, conforme à l'invention, de fabrication par fonderie à la cire perdue d'une pièce métallique en alliage de nickel, à structure colonnaire ou monocristalline avec au moins une cavité de forme allongée, comprenant les étapes suivantes de réalisation d'un modèle en cire de la pièce avec un noyau céramique correspondant à ladite cavité, le noyau céramique comportant une
10 première portée de maintien à une extrémité longitudinale et une seconde portée de maintien à l'extrémité opposée,

réalisation d'un moule carapace autour du modèle, le moule comprenant une base et la première portée du noyau étant du côté de la base,

mise en place du moule dans un four, la base étant posée sur la sole du four,
15 coulée dudit alliage en fusion dans le moule carapace,

solidification dirigée du métal coulé par refroidissement progressif depuis la sole selon une direction de propagation,
est caractérisé par le fait que le noyau est rendu solidaire du moule carapace par un moyen d'ancrage entre la première portée du noyau et la paroi du moule, la
20 seconde portée du noyau étant retenue dans le moule par un moyen de maintien glissant sur la paroi du moule.

La solution de l'invention permet d'éviter la déformation du noyau lors de la progression de la solidification dirigée car le noyau n'est pas retenu par ancrage à ses deux extrémités. Il n'est ainsi pas mis en compression par les contraintes qui
25 résulteraient de la différence des coefficients de dilatation entre le moule et le noyau. Il n'y a par ailleurs pas de risque de génération de grains parasites ou de défauts de recollement du grain principal.

La solution de l'invention garantit également la position du noyau pendant toute la phase de fabrication de la pièce : du modèle en cire à la coulée et la
30 solidification de la pièce.

Avantageusement, le moyen d'ancrage comprend une tige, plus particulièrement en céramique réfractaire, alumine par exemple, traversant la

première portée et la paroi du moule. De préférence la tige céramique est de faible diamètre de l'ordre du millimètre. La tige traverse le modèle en cire et le noyau qui ont été préalablement percés à un diamètre légèrement supérieur à celui de la tige pour éviter que des contraintes soient engendrées à ce niveau.

Conformément à une autre caractéristique, le moyen de maintien glissant est formé par un espace ménagé entre la portée et la paroi du moule, cet espace est obtenu par le biais d'une pellicule de vernis de dilatation déposée sur la surface de la portée à la réalisation du modèle. Celle-ci est ensuite éliminée lors de l'opération de décirage du moule. Il s'agit par exemple d'un matériau de type vernis à ongles permettant d'obtenir des épaisseurs de quelques centièmes de millimètre par couche. Un vernis convenant à cette application comprend des solvants, de la résine, de la nitrocellulose et des plastifiants. Par exemple, un vernis tel que celui « Thixotropic base » commercialisé sous le nom commercial : « Vernis à ongles Peggy Sage toutes formules » peut être utilisé dans le procédé de la présente invention.

Cette pellicule est plus précisément interposée entre la seconde portée et la paroi du moule. Elle est appliquée, avant la formation du moule carapace, sur les surfaces de la seconde portée qui sont parallèles à la direction de la progression du refroidissement ; c'est-à-dire dans le cas d'une sole mobile, parallèle à la direction de tirage de la sole mobile. Cette pellicule de vernis est de préférence de faible épaisseur de l'ordre de 3 à 5 centièmes de millimètre. Elle a pour but d'éviter d'une part que la paroi du moule vienne coller au noyau dans cette zone et d'autre part de créer un espace libre, après décirage, de faible épaisseur permettant le guidage longitudinal de la seconde portée par rapport au moule et évitant au moule d'exercer une contrainte sur le noyau.

Les surfaces de la seconde portée qui ne sont pas parallèles à l'axe de la progression de la solidification, axe de tirage, sont couvertes initialement par un dépôt de cire de manière à ménager, après décirage, un espace entre les dites surfaces de la seconde portée et la paroi du moule. Cet espace empêche, pendant la coulée de métal en fusion, le contact entre la paroi de la carapace et la seconde portée du noyau, et évite la mise sous contrainte du noyau dans cette zone pendant la solidification. Typiquement, l'épaisseur de ce dépôt de cire est de l'ordre du

millimètre pour des pièces présentant une longueur de 100 à 200 mm soit environ 1% de la longueur de la pièce.

Le procédé permet la fabrication simultanée de plusieurs pièces. Les modèles desdites pièces sont dans ce cas rassemblés en une grappe à l'intérieur d'un moule carapace.

Le procédé s'applique à la fabrication d'au moins une pièce métallique à structure colonnaire, un moyen de germination de la structure cristalline étant ménagé entre le moule et la sole du four.

Le procédé s'applique à la fabrication d'au moins une pièce à structure monocristalline, un sélecteur de grain étant ménagé entre l'élément de germination et le moule.

L'invention s'applique en particulier à la fabrication d'une aube de turbomachine, la première portée étant dans le prolongement du sommet de la pale de l'aube, la seconde portée étant dans le prolongement du pied de l'aube.

Le procédé utilise avantageusement un four dont la sole est mobile verticalement entre une zone chaude où le métal est en fusion est une zone froide de solidification du métal, la sole étant elle-même refroidie.

Brève description des figures

D'autres caractéristiques et avantages ressortiront de la description qui suit d'un mode de réalisation de l'invention, donné à titre d'exemple non limitatif, en référence aux dessins annexés sur lesquels

La figure 1 représente une aube de turbomachine pouvant être obtenue selon le procédé de l'invention ;

La figure 2 représente schématiquement un noyau en céramique pour aube de turbomachine ;

La figure 3 représente le noyau de la figure 2 vu de profil.

La figure 4 représente schématiquement un modèle en cire avec le noyau de la figure 2 ;

La figure 5 représente le moule carapace vu en coupe longitudinale au travers du noyau;

La figure 6 représente un exemple de four permettant la solidification dirigée de métal coulé dans un moule carapace ;

La figure 7 est une vue agrandie de l'extrémité haute du moule carapace montré sur la figure 5.

5

Description d'un mode de réalisation de l'invention

La présente invention concerne un procédé de fabrication de pièces métalliques en alliage à base nickel permettant par une solidification dirigée appropriée d'obtenir une structure cristalline colonnaire ou monocristalline.

10

L'invention vise plus particulièrement la fabrication d'aubes de turbomachine telle que celle représentée sur la figure 1 ; une aube 1 comprend une pale 2, un pied 5 permettant son attache sur un disque de turbine, et un sommet 7 avec le cas échéant un talon. En raison des températures de fonctionnement de la turbomachine, les aubes sont pourvues d'un circuit interne de refroidissement parcouru par un fluide de refroidissement, généralement de l'air. Une plateforme 6 entre le pied et la pale constitue une portion de la paroi radialement intérieure de la veine de gaz. La pièce représentée ici est une aube mobile mais l'invention s'applique aussi à un distributeur ou encore à toute autre pièce présentant un noyau.

15

20

En raison de la complexité du circuit de refroidissement à l'intérieur de la pièce, il est avantageux de la réaliser par fonderie à la cire perdue avec un noyau en céramique pour ménager les cavités du circuit de refroidissement.

Les figures 2 et 3 représentent schématiquement un noyau de forme simplifiée, en céramique, utilisé pour ménager les cavités internes d'une aube de turbomachine.

25

Le noyau 10 de forme allongée comprend une branche ou une pluralité de branches 11 séparées par des espaces 12 pour, après la coulée du métal, former les cloisons entre les cavités ; sur l'exemple représenté, le noyau comporte deux branches 11 séparées par un espace 12. A une extrémité, le noyau est prolongé par une portée ou patte 14 dont la fonction est de maintenir le noyau pendant la fabrication de la pièce mais qui ne correspond pas nécessairement à une partie de la pièce, une fois que celle-ci est achevée. A l'extrémité opposée le noyau

30

comprend une seconde portée 16 pour le maintien aussi du noyau pendant les étapes de fabrication. On observe sur la figure 3 que le noyau tel que représenté est relativement fin par rapport à sa longueur. On comprend que plus le noyau est fin par rapport à sa longueur plus sensible il sera au flambage.

5 Ce noyau est placé dans un moule pour la fabrication du modèle en cire. L'empreinte de ce moule est à la forme de la pièce à obtenir. Par injection de cire dans ce moule, on obtient le modèle de la pièce. Les portées 14 et 16 servent au maintien du noyau dans le moule à cire. La figure 4 représente schématiquement ce modèle 20 en cire avec le noyau 10 en traits pointillés. Le modèle s'étend à une
10 première extrémité 24 dans le prolongement de la pale de manière à recouvrir la portée 14 et à l'extrémité opposée 26, au niveau du pied. On note qu'une partie 16A de la portée 16 n'est pas recouverte de cire. Cette partie 16A comprend des surfaces parallèles à l'axe du noyau et est revêtue d'un vernis dont la fonction est expliquée plus loin.

15 Plusieurs modèles sont généralement assemblés en grappe de manière à fabriquer plusieurs pièces simultanément. Les modèles sont par exemple disposés en tambour parallèlement autour d'un cylindre central vertical et maintenus par les extrémités. La partie inférieure est montée sur un élément destiné à assurer la germination de la structure cristalline. L'étape suivante consiste à constituer un
20 moule carapace autour du ou des modèles. Dans ce but, comme cela est connu également, l'assemblage est trempé dans des barbotines de manière à déposer en couches successives les particules céramiques réfractaires. Le moule est enfin consolidé par chauffage et la cire éliminée par l'opération de décirage.

On a représenté sur la figure 5, en coupe longitudinale, schématiquement
25 l'agencement de l'invention entre le noyau 10 et la carapace 30 au niveau d'un seul modèle 20.

La première portée 14 est maintenue dans le moule 30 par une tige en céramique réfractaire 40, qui la traverse et s'étend dans la paroi du moule 30 en y étant encastrée. La tige 40 a été mise en place avant la réalisation du moule
30 carapace, après que le modèle a été percé au niveau de la portée 14. Le perçage est de diamètre légèrement supérieur à celui de la tige de manière qu'il ne se crée pas

de contraintes entre la tige et la portée et que la tige assure un positionnement correct du noyau dans le modèle.

La seconde portée 16, opposée à la première, est initialement revêtue d'une couche de vernis 17 sur la partie 16A du noyau qui n'est pas recouverte de cire et qui après constitution du moule carapace vient au contact direct avec la paroi interne du moule. Après décirage du moule, comme on le voit sur la figure 5, la couche ayant disparu laisse un espace libre entre la portée 16 du noyau et la paroi du moule carapace. La référence 17 désigne cet espace libre laissé par la couche de vernis. Cet espace 17 est de faible épaisseur, 3 à 5 centièmes de millimètres. Il forme un moyen de maintien glissant de la seconde portée 16 sur la paroi de la carapace 30.

Par ailleurs, les surfaces – ici la surface horizontale 16B - qui ne sont pas parallèles à l'axe de la progression de la solidification sont couvertes initialement par un dépôt de cire 18. Ce dépôt de cire laisse après décirage un espace libre, de même référence 18, qui évite à la portée 16 du noyau de venir en contact avec la paroi de la carapace lorsque le noyau se dilate. Il évite ainsi la mise sous contrainte du noyau. Typiquement, l'épaisseur de ce dépôt de cire est de l'ordre du millimètre pour des pièces présentant une longueur de 100 à 200 mm soit environ 1% de la longueur de la pièce.

En n'étant pas contraint le noyau ne risque pas de flamber et les épaisseurs de paroi initiales de la pièce entre la paroi du moule et le noyau sont conservées.

La figure 5 montre, en coupe le long de la pièce, le moule carapace 30 et le noyau 10 à l'intérieur du moule avec les branches 11, les portées 14 et 16. La coupe du noyau est faite selon la ligne VV de la figure 4. Le volume 30' correspond à la cire du modèle ou, après solidification de la carapace, à l'espace entre la paroi du moule et le noyau à remplir par le métal. La tige 40 traverse la première portée 14 ; elle est suffisamment longue pour être ancrée dans les parois du moule carapace 30. De cette façon, le noyau 10 est positionné à l'intérieur du moule carapace 30.

Après décirage et consolidation, le moule est placé sur la sole d'un four équipé pour la solidification dirigée. Un tel four 100 est représenté sur la figure 6. On y voit une enceinte 101 pourvue d'éléments chauffants 102. Un orifice 103

d'alimentation en métal en fusion communique avec un creuset 104 qui contient la charge de métal en fusion et qui en basculant vient remplir le moule carapace 30 disposé sur la sole 105 du four. La sole est mobile verticalement, voir la flèche, et est refroidie par la circulation d'eau dans un circuit 106 interne à son plateau. Le moule repose par sa base sur la sole refroidie. La partie inférieure du moule est ouverte sur la sole par l'intermédiaire d'un organe de germination.

La méthode de fabrication, telle qu'expliquée dans le préambule de la demande, comprend la coulée du métal en fusion depuis le creuset 104 directement dans le moule 30 qui est maintenu à une température suffisante pour conserver le métal en fusion, par les moyens de chauffage 102 de l'enceinte 101 et où il vient remplir les vides 30' entre le noyau 10 et la paroi du moule 30. Comme la base du moule est en contact thermique avec la sole par l'élément de germination, le métal se solidifie en formant une structure cristalline que se propage de bas en haut. La sole 105 est refroidie en permanence et est descendue progressivement hors de l'enceinte chauffée. Dans le cas d'une structure monocristalline un sélecteur de grain est interposé entre la germination et la solidification comme cela est connu en soi.

Les écarts de température importants créent des contraintes entre les différentes zones du moule avec le métal. Par l'agencement de l'invention et la tige 40, le noyau est maintenu par ancrage de la première portée 14 dans la seule zone inférieure d'initialisation de la solidification. Comme on le voit sur la figure 7 le noyau est libre de se dilater différentiellement dans le sens de sa longueur par rapport à la carapace 30 car à l'extrémité opposée de la première portée, la seconde portée 16 est guidée le long de la paroi du moule grâce à l'espace libre 17 laissé par la couche de vernis, éliminée lors du décirage du moule.

De plus, les surfaces de la seconde portée 16 - ici la surface horizontale 16B - qui ne sont pas parallèles à l'axe de la progression de la solidification, grâce à l'espace libre 18 ménagé par le dépôt de cire ne viennent pas en contact avec la paroi de la carapace. On évite ainsi la mise sous contrainte du noyau. Typiquement, l'épaisseur de cet espace correspondant au dépôt de cire est de l'ordre du millimètre pour des pièces présentant une longueur de 100 à 200 mm soit environ 1% de la longueur de la pièce. En n'étant pas contraint le noyau ne

risque pas de flamber et les épaisseurs de paroi initiales de la pièce entre la paroi du moule et le noyau sont conservés.

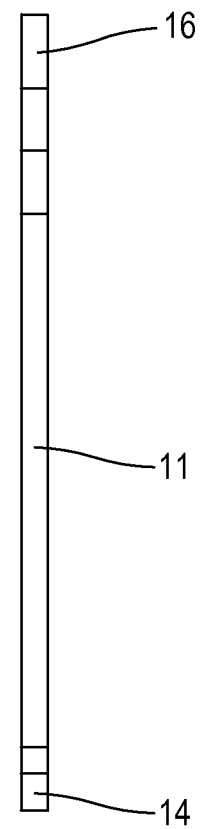
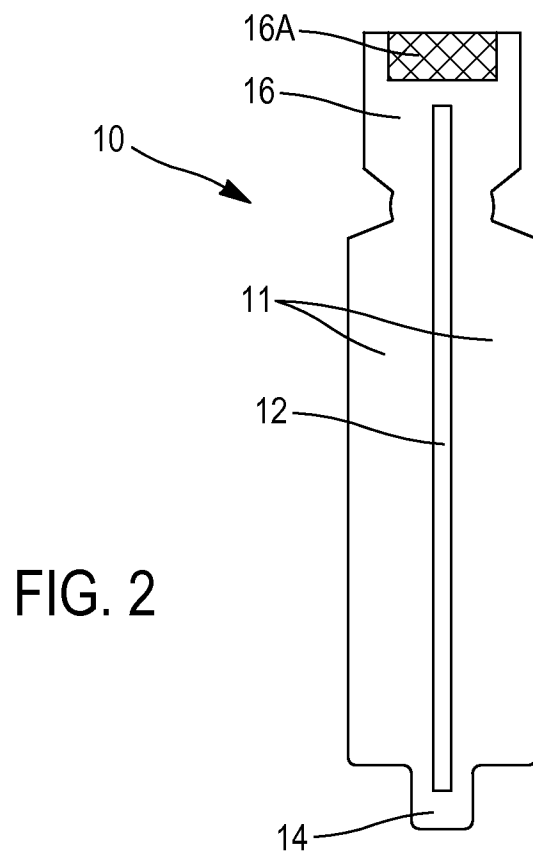
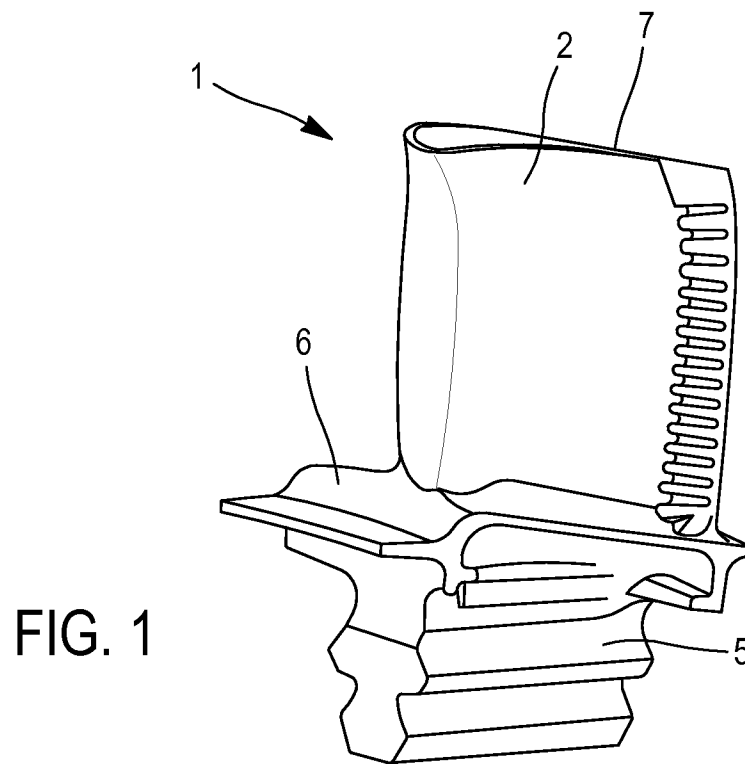
Une fois le métal refroidi, on casse le moule et on extrait les pièces qui sont dirigées vers l'atelier de finition.

Revendications

1. Procédé de fabrication par fonderie à la cire perdue d'une pièce métallique en alliage de nickel, à structure colonnaire ou monocristalline avec au moins une cavité de forme allongée, comprenant les étapes suivantes de
réalisation d'un modèle (20) en cire de la pièce avec un noyau (10) céramique correspondant à ladite cavité, le noyau céramique comportant une première portée (14) de maintien à une extrémité longitudinale et une seconde portée (16) de maintien à l'extrémité opposée,
réalisation d'un moule carapace (30) autour du modèle, le moule comprenant une base et la première portée (14) du noyau étant du côté de la base du moule,
mise en place du moule dans un four (100), la base étant posée sur la sole (105) du four, coulée dudit alliage en fusion dans le moule carapace,
solidification dirigée du métal coulé par refroidissement progressif depuis la sole selon une direction de propagation,
caractérisé par le fait que le noyau (10) est rendu solidaire du moule carapace par un moyen d'ancrage (40) entre la première portée (14) du noyau et la paroi du moule (30), la seconde portée (16) du noyau étant retenue dans le moule par un moyen de maintien (17) glissant sur la paroi du moule.
2. Procédé selon la revendication 1 dont le moyen d'ancrage (40) comprend une tige traversant la première portée (14) et étant encastrée dans la paroi du moule.
3. Procédé selon la revendication 2 dont la tige est en céramique.
4. Procédé selon l'une des revendications précédentes dont le moyen de maintien (17) glissant comprend l'espace libre laissée par une pellicule de vernis interposée entre une partie (16A) de la seconde portée (16) du noyau parallèle à la direction de la progression de la solidification et la paroi du moule.

5. Procédé selon l'une des revendications précédentes selon lequel un espace est ménagé entre les surfaces (16B) de la portée (16) du noyau qui ne sont pas parallèles à la direction de la progression de la solidification.
- 5 6. Procédé selon l'une des revendications précédentes pour la fabrication d'une pluralité de pièces, les modèles desdites pièces étant rassemblés en une grappe à l'intérieur d'un moule carapace.
7. Procédé selon l'une des revendications précédentes pour la fabrication d'au moins une pièce métallique à structure colonnaire, un élément de germination de la structure cristalline étant ménagé entre le moule et la sole (105) du four.
- 10 8. Procédé selon la revendication précédente pour la fabrication d'au moins une pièce à structure monocristalline comprenant un sélecteur de grain entre l'élément de germination et le moule.
9. Procédé selon l'une des revendications précédentes la pièce étant une aube de turbomachine, la première portée étant dans le prolongement du sommet de la pale de l'aube, la seconde portée étant dans le prolongement du pied de l'aube.
- 15 10. Procédé selon l'une des revendications précédentes dont la sole est mobile verticalement entre une zone chaude où le métal est en fusion est une zone froide de solidification du métal, la sole étant elle-même refroidie.
- 20

1 / 2



2 / 2

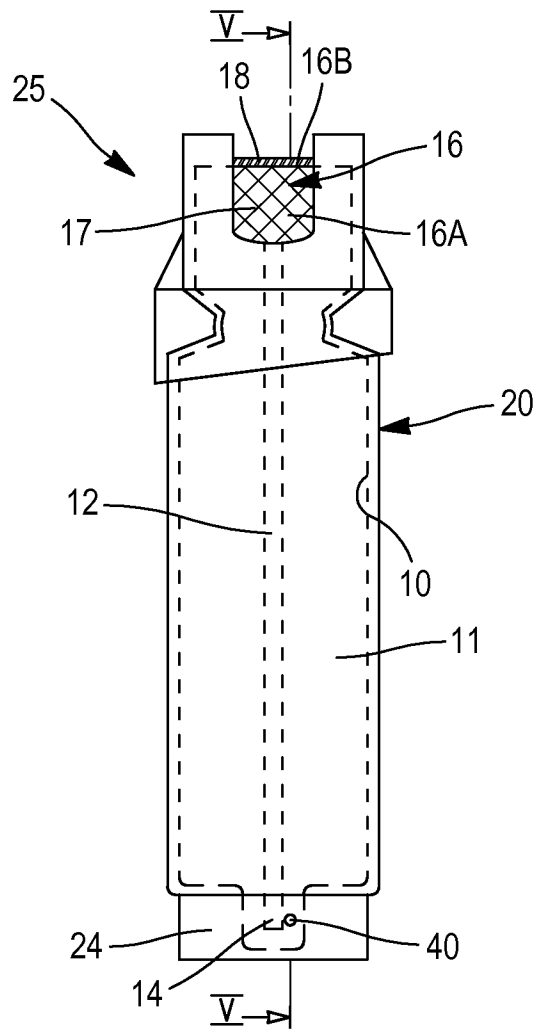


FIG. 4

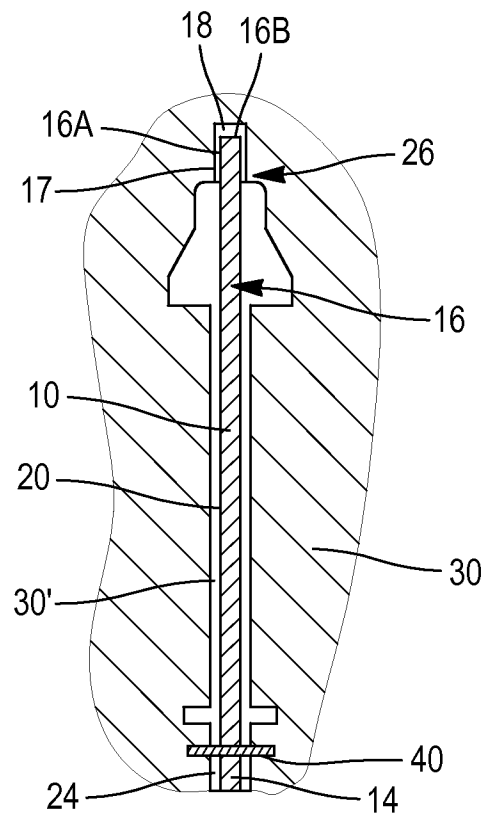


FIG. 5

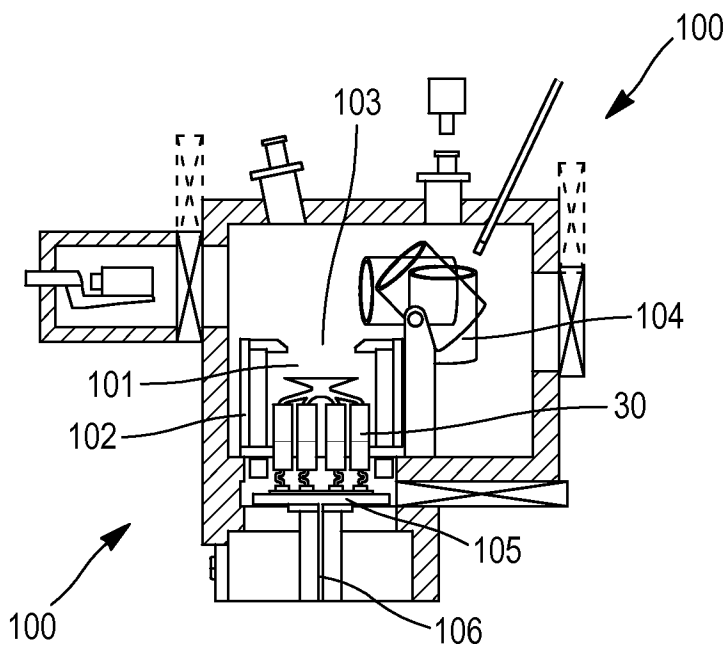


FIG. 6

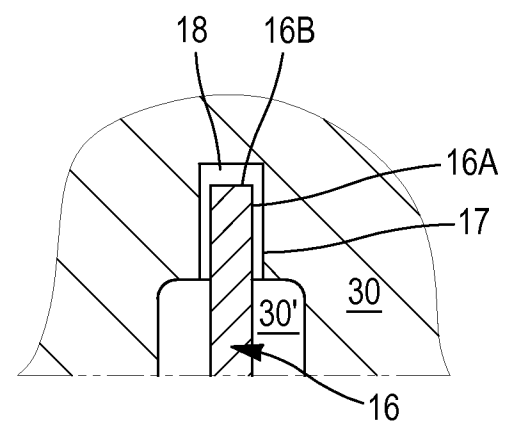


FIG. 7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/FR2014/050061

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. B22D27/04 B22C9/04 B22C21/14
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

B22D B22C

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	GB 1 377 042 A (SHERWOOD REFRACTORIES) 11 December 1974 (1974-12-11) the whole document	1-10
X	SU 606 676 A1 (PERM MOTOR STR Z [SU]) 15 May 1978 (1978-05-15) abstract	1-10



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

22 May 2014

Date of mailing of the international search report

04/06/2014

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Scheid, Michael

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/FR2014/050061

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
GB 1377042	A	11-12-1974	CH 561090 A5 30-04-1975
			DE 2301105 A1 18-07-1974
			GB 1377042 A 11-12-1974

SU 606676	A1	15-05-1978	NONE

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/FR2014/050061

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
INV. B22D27/04 B22C9/04 B22C21/14
ADD.

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)
B22D B22C

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	GB 1 377 042 A (SHERWOOD REFRACTORIES) 11 décembre 1974 (1974-12-11) le document en entier	1-10
X	SU 606 676 A1 (PERM MOTOR STR Z [SU]) 15 mai 1978 (1978-05-15) abrégé	1-10



Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents



Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

* Catégories spéciales de documents cités:

"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent

"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date

"L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)

"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens

"P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

"&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

22 mai 2014

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

04/06/2014

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale

Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Scheid, Michael

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/FR2014/050061

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
GB 1377042	A	11-12-1974	CH 561090 A5 30-04-1975
			DE 2301105 A1 18-07-1974
			GB 1377042 A 11-12-1974

SU 606676	A1	15-05-1978	AUCUN
