



(86) Date de dépôt PCT/PCT Filing Date: 2014/01/13
(87) Date publication PCT/PCT Publication Date: 2014/07/24
(45) Date de délivrance/Issue Date: 2021/03/23
(85) Entrée phase nationale/National Entry: 2015/07/09
(86) N° demande PCT/PCT Application No.: FR 2014/050061
(87) N° publication PCT/PCT Publication No.: 2014/111648
(30) Priorité/Priority: 2013/01/17 (FR1350424)

(51) Cl.Int./Int.Cl. *B22D 27/04* (2006.01),
B22C 21/14 (2006.01), *B22C 9/04* (2006.01)

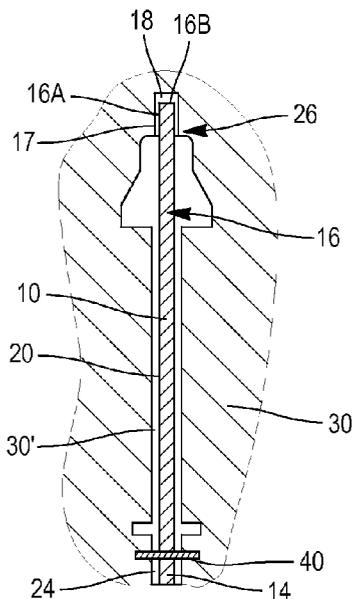
(72) Inventeurs/Inventors:
RAPPART, YVAN, FR;
BERTHELEMY, CHRISTELLE, FR;
MARIE, BENOIT GEORGES JOCELYN, FR;
LOCATELLI, DAVID, FR;
DIGARD BROU DE CUISSART, SEBASTIEN, FR

(73) Propriétaire/Owner:
SNECMA, FR

(74) Agent: LAVERY, DE BILLY, LLP

(54) Titre : PROCEDE DE FABRICATION D'UNE PIECE PAR FONDERIE A LA CIRE PERDUE ET REFROIDISSEMENT DIRIGE

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



(57) **Abrégé/Abstract:**

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 en cire de la pièce avec un noyau céramique, le noyau comportant une première portée de maintien à une extrémité et une seconde portée de maintien à l'extrémité opposée, réalisation d'un moule carapace autour du modèle, mise en place du moule dans un four, coulée dudit alliage en fusion dans le moule, solidification dirigée dudit alliage coulé par refroidissement progressif ; le noyau est rendu solidaire du moule par un moyen d'ancrage entre la première portée et la paroi du moule, la seconde portée étant retenue dans le moule par un moyen de maintien glissant sur la paroi du moule.

Abrégé

5 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 en cire de la pièce avec un noyau céramique, le noyau comportant une première portée de maintien à une extrémité et une seconde portée de maintien à l'extrémité opposée, réalisation d'un moule carapace autour du modèle, mise en place du moule dans un four, coulée dudit alliage 10 en fusion dans le moule, solidification dirigée dudit alliage coulé par refroidissement progressif ; le noyau est rendu solidaire du moule par un moyen d'ancrage entre la première portée et la paroi du moule, la seconde portée étant retenue dans le moule par un moyen de maintien 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

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.

20

25

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
5 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
10 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
15 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.

20 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
25 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,
30 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 encastements 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,

15 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,
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.

5 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
10 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
15 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
20 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
25 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
30 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.

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

30 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 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 à structure colonnaire ou monocristalline avec au moins une cavité de forme allongée, comprenant les étapes de :
 - 5 réalisation d'un modèle en cire de la pièce avec un noyau céramique correspondant à la cavité, le noyau céramique comportant une première portée de maintien à une extrémité longitudinale et une seconde portée de maintien à une extrémité opposée,
 - 10 réalisation d'un moule carapace autour du modèle en cire, le moule carapace comprenant une base et la première portée du noyau étant du côté de la base du moule carapace,
 - élémination de la cire par une opération de décirage du moule carapace,
 - mise en place du moule carapace dans un four, la base étant posée sur
15 une sole du four,
 - coulée de l'alliage en fusion dans le moule carapace, et
 - solidification dirigée du métal coulé par refroidissement progressif depuis la sole selon une direction de propagation ;
 - 20 dans lequel, durant ladite réalisation du moule carapace, la seconde portée de maintien comprend des premières surfaces non parallèles à la direction de propagation et des secondes surfaces parallèles à la direction de propagation, les premières surfaces étant couvertes initialement par un dépôt de cire, et les secondes surface, non couvertes initialement ni antérieurement par un dépôt de cire, sont directement et intégralement couvertes d'une
25 couche de vernis, la couche de vernis ayant une épaisseur comprise entre 3 et 5 centièmes de millimètres,

5 dans lequel, avant ladite réalisation du moule carapace, le noyau est rendu solidaire du moule carapace par un moyen d'ancrage entre la première portée du noyau et une paroi interne du moule carapace, et la seconde portée du noyau est retenue dans la paroi interne du moule carapace par la couche de vernis appliquée sur les secondes surfaces,

dans lequel, durant et après ladite réalisation du moule carapace, la couche de vernis empêche la paroi interne du moule carapace de venir en contact avec le noyau sur les secondes surfaces de la seconde portée,

10 dans lequel, après ladite réalisation du moule carapace, les secondes surfaces viennent en contact avec la paroi interne du moule carapace à travers la couche de vernis,

15 dans lequel, durant ladite opération de décirage du moule carapace, la couche de vernis est éliminée des secondes surfaces, ainsi que la cire recouvrant les premières surfaces de la seconde portée, de sorte qu'un espace libre est créé entre la seconde portée du noyau et la paroi interne du moule carapace, et

20 dans lequel, durant ladite solidification dirigée, l'espace libre laissé par la couche de vernis et la cire est maintenu de manière à éviter à la seconde portée du noyau de venir en contact avec la paroi interne du moule carapace lorsque le noyau se dilate.

2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel le moyen d'ancrage comprend une tige traversant la première portée et étant encastrée dans la paroi interne du moule.
3. Procédé selon la revendication 2, dans lequel la tige est en céramique.

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, pour la fabrication d'une pluralité de pièces, des modèles des pièces étant rassemblés en une grappe à l'intérieur du moule carapace.
5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel la pièce métallique a une structure colonnaire.
6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel la pièce métallique a une structure monocristalline.
7. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, la pièce étant une aube de turbomachine, la première portée étant dans un prolongement d'un sommet d'une pale de l'aube, la seconde portée étant dans le prolongement d'un pied de l'aube.
8. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, dans lequel la sole est mobile verticalement entre une zone chaude où l'alliage est en fusion et une zone froide de solidification de l'alliage, la sole étant elle-même refroidie.
9. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, dans lequel l'alliage en fusion comprend un alliage de nickel.
10. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, comprenant de plus de refroidir la sole du four.
11. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 10, dans lequel la sole est configurée pour donner une direction de solidification.
12. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 11, dans lequel l'épaisseur de cire est de 1% d'une longueur de la pièce métallique.

13. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 12, dans lequel après ladite opération de décirage, les premières surfaces de la seconde portée ne viennent pas en contact avec la paroi interne du moule carapace.
- 5 14. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 12, dans lequel après ladite opération de décirage et ladite élimination de la couche de vernis, l'espace libre comprend un premier espace formé par le décirage des premières surfaces, et un second espace formé par l'élimination de la couche de vernis des secondes surfaces de la seconde portée.
- 10 15. Procédé selon la revendication 14, dans lequel le second espace forme un moyen de maintien glissant de la seconde portée sur la paroi interne du moule carapace.
- 15 16. Procédé selon la revendication 15, dans lequel le moyen de maintien glissant est un moyen de guidage longitudinal de la seconde portée le long de la paroi interne du moule carapace, évitant une mise sous contrainte du noyau par le moule carapace.
- 20 17. Procédé selon la revendication 15, dans lequel le premier espace a une épaisseur de 1 mm et la pièce métallique a une longueur comprise entre 100 et 200 mm, le second espace ayant une épaisseur comprise entre 3 et 5 centièmes de mm.
- 25 18. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 12, dans lequel le dépôt de cire a une épaisseur de 1 mm et la pièce métallique a une longueur comprise entre 100 et 200 mm.

1 / 2

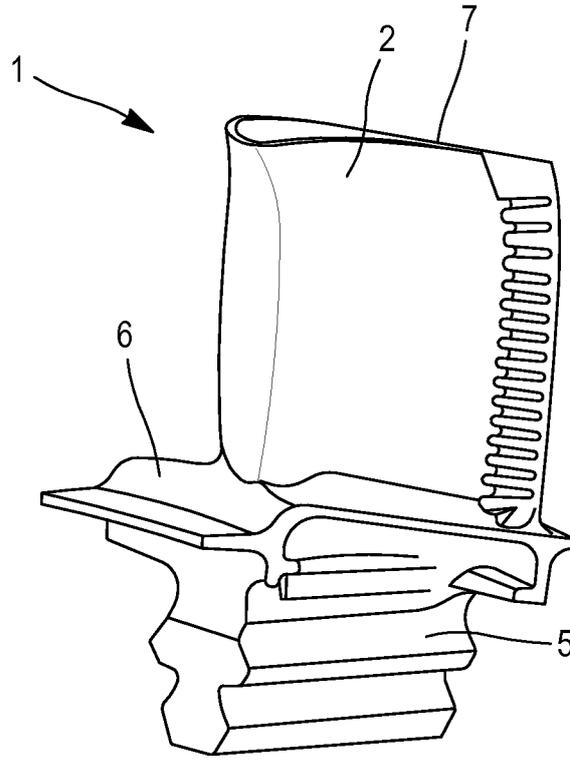


FIG. 1

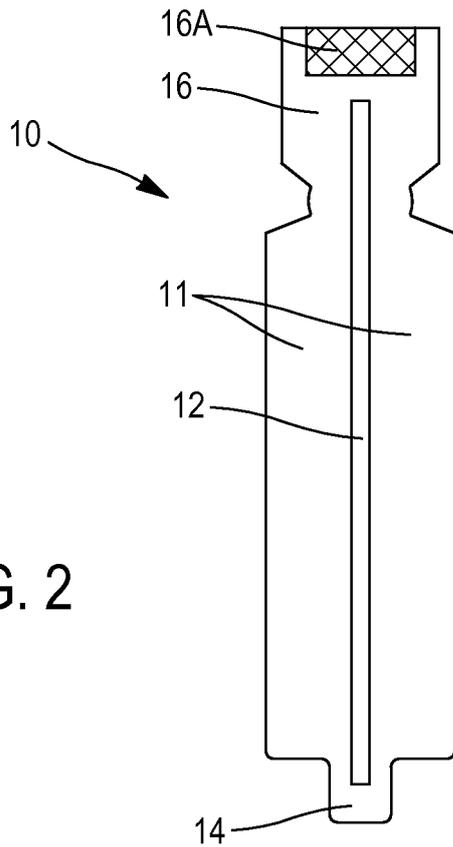


FIG. 2

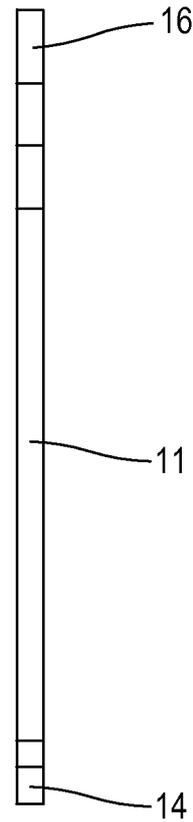


FIG. 3

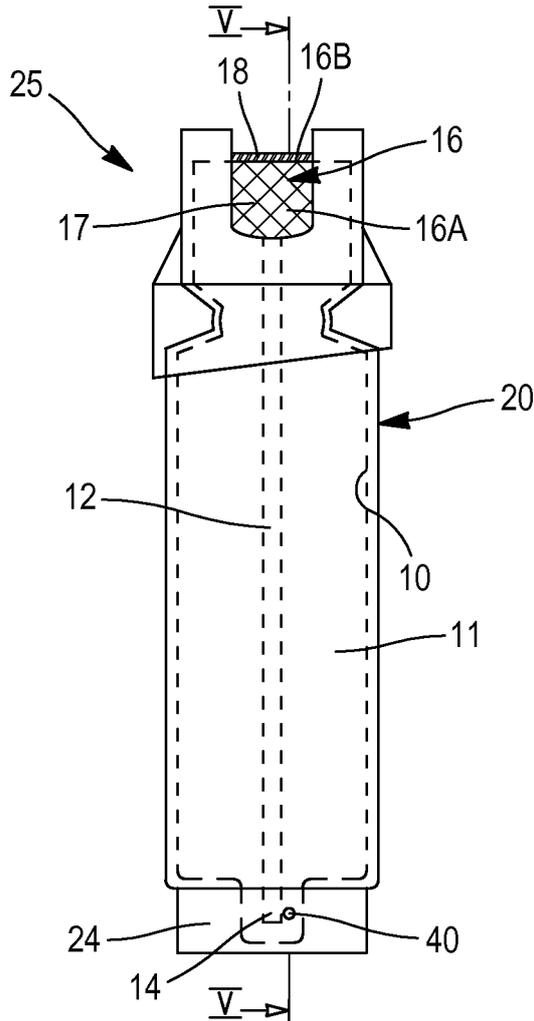


FIG. 4

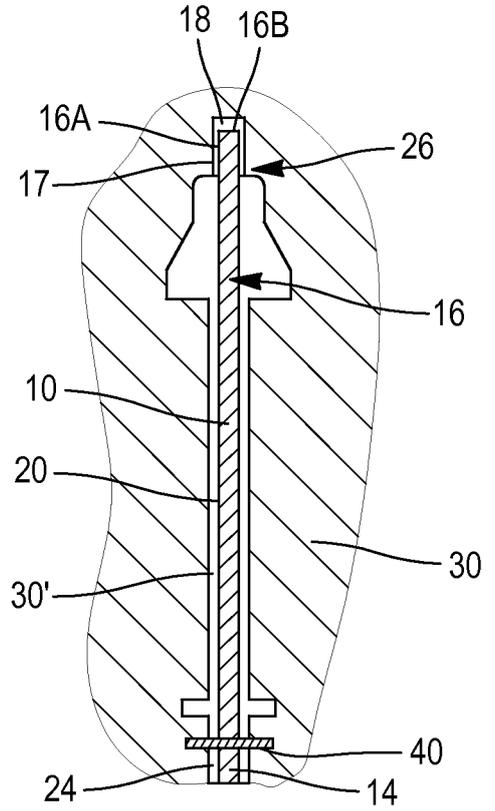


FIG. 5

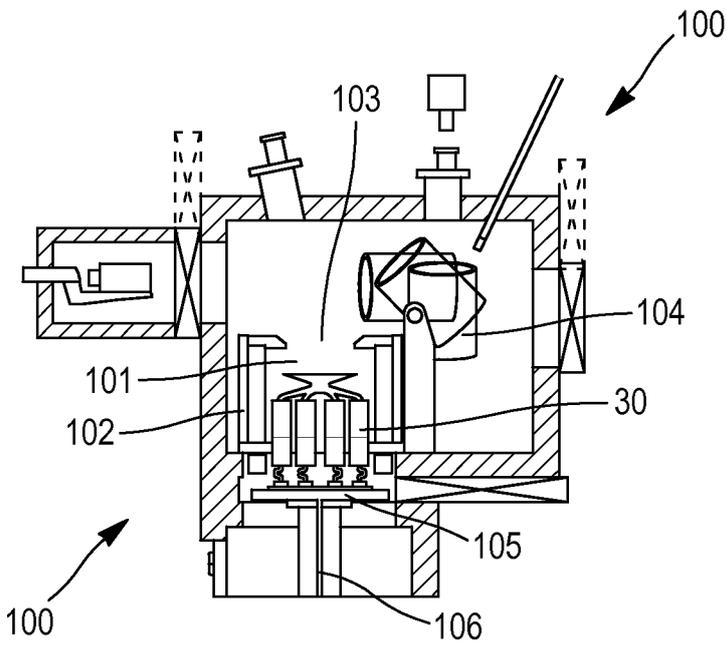


FIG. 6

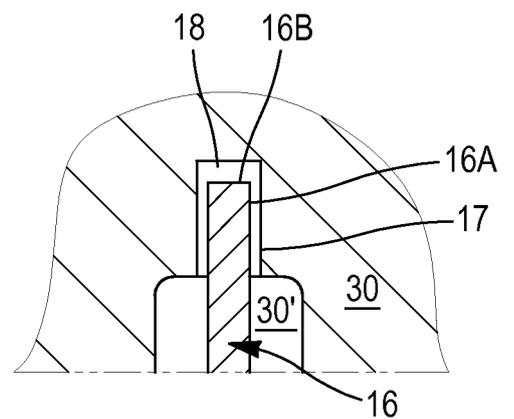


FIG. 7

