

⑫ **BREVET D'INVENTION** **B1**

⑤④ Noyau de fonderie.

②② Date de dépôt : 08.12.22.

③③ Priorité :

⑥⑥ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

☐ Demande(s) d'extension :

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

④③ Date de mise à la disposition du public
de la demande : 14.06.24 Bulletin 24/24.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 02.05.25 Bulletin 25/18.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑦② Inventeur(s) : *LORRIAUX Amandine et SABOUNDJI
Amar.*

⑦③ Titulaire(s) : *SAFRAN SOCIETE ANONYME.*

⑦④ Mandataire(s) : *CABINET BEAU DE LOMENIE.*



Description

Titre de l'invention : Noyau de fonderie

Domaine technique

- [0001] Le présent exposé concerne les outils de fonderie pour la fabrication de pièces métalliques et plus précisément les noyaux de fonderie utilisés pour la réalisation de pièces creuses.
- [0002] Le présent exposé concerne encore un procédé de fabrication d'un tel noyau de fonderie, et un procédé de fonderie d'une pièce creuse en matériau métallique utilisant un noyau de fonderie.

Technique antérieure

- [0003] Le procédé de fonderie à la cire perdue est connu de la littérature, et permet d'obtenir une pièce métallique directement aux dimensions souhaitées grâce à l'utilisation d'un modèle en cire de la pièce à obtenir, en formant un moule autour du modèle et en retirant la cire pour obtenir dans le moule une cavité à la forme du modèle de cire, et donc de la pièce souhaitée.
- [0004] Lorsque la pièce est creuse, c'est-à-dire lorsqu'elle comporte des évidements, il est possible de créer ces derniers au moyen d'un noyau de fonderie ayant la forme de l'évidement voulu. Le noyau de fonderie est positionné dans le moule, de sorte que le métal fondu introduit dans le moule ne puisse pas occuper l'espace du noyau de fonderie.
- [0005] Le retrait ultérieur du noyau permet d'obtenir dans la pièce métallique un évidement ayant la forme du noyau de fonderie en lieu et place du noyau de fonderie initialement présent.
- [0006] L'utilisation d'un tel noyau de fonderie permet d'éviter un usinage ultérieur d'une pièce métallique massive pour créer l'évidement souhaité, permettant ainsi de créer simplement des évidements aux géométries complexes.
- [0007] Toutefois, le noyau de fonderie est au contact du métal qui est coulé dans le moule, et doit à ce titre, supporter les températures mises en jeu. En outre, il est important que le noyau soit facilement éliminable une fois la pièce en matériau métallique obtenue, afin de créer la porosité souhaitée.
- [0008] Des compositions de noyaux sont connues, comme par exemple le molybdène ou les alliages de molybdène (parfois dits RMC pour l'acronyme anglais « Refractory Metal Core »).
- [0009] Néanmoins, ces alliages ne présentent pas une résistance à l'oxydation en température suffisante pour une application directe dans des procédés de fonderie et sont en outre solubles dans les superalliages base nickel. C'est pourquoi il est généralement

proposé de les revêtir avec un revêtement protecteur contre l'oxydation.

[0010] Toutefois, même avec un tel revêtement, les noyaux de fonderie actuels ne donnent pas une entière satisfaction. En effet, il a été constaté que les parties nécessaires au positionnement du noyau dans le moule de fonderie sont plus sujettes à des frottements avec le moule ou au cours des manutentions. De tels frottements peuvent abîmer le revêtement qui ne permet alors plus une protection suffisante de la pièce. En conséquence, le noyau de fonderie s'oxyde, et la pièce coulée n'est pas conforme à ce qui était attendu.

[0011] A l'inverse, vouloir éviter ces frottements par une manutention minutieuse impose de ralentir drastiquement les étapes de positionnement du noyau, ce qui nuit à la compétitivité industrielle de ce mode de réalisation.

[0012] Il demeure donc un besoin pour de nouveaux noyaux de fonderie qui soient plus résistants à l'oxydation que ceux de l'art antérieur.

Exposé de l'invention

[0013] La présente invention vise précisément à répondre au problème exposé plus haut.

[0014] Pour cela, elle propose dans un mode de réalisation, un noyau de fonderie comprenant une partie principale en molybdène ou en alliage de molybdène, caractérisé en ce qu'il comprend à la surface de la partie principale au moins deux protubérances composées d'un matériau réfractaire, l'ensemble de la partie principale et des protubérances étant recouvertes d'un revêtement protecteur à l'oxydation.

[0015] Les inventeurs ont en effet constaté qu'un tel noyau répondait aux problèmes des noyaux de l'art antérieur.

[0016] D'une part, la partie principale du noyau reste conforme aux noyaux de l'art antérieur et ne nécessite donc pas un changement complet des outillages et procédés de fonderie à la cire perdue.

[0017] D'autre part, les protubérances permettent un ancrage aisé du noyau dans le moule et donc un positionnement précis de la partie principale du noyau pour le procédé de fonderie.

[0018] Egaleme nt, les protubérances en matériau réfractaire ne sont pas sujettes à l'oxydation. De ce fait, quand bien même le revêtement protecteur présent sur les protubérances serait dégradé à cause de la manipulation et lors de son contact avec le moule, l'intégrité du noyau n'est pas compromise.

[0019] Les inventeurs ont aussi constaté qu'il était particulièrement avantageux de déposer le revêtement protecteur sur l'ensemble du noyau après avoir fixé les protubérances, car cela assure la continuité du revêtement et évite en particulier que la fixation des protubérances ne risque de dégrader le revêtement de la partie principale du noyau.

[0020] Pour l'ensemble des raisons ci-dessus, on parvient ainsi à un noyau qui a

d'excellentes propriétés de résistance à l'oxydation tout en étant utilisable simplement dans les procédés de fonderie à la cire perdue déjà développés.

- [0021] Dans un mode de réalisation, le revêtement protecteur à l'oxydation est choisi parmi des revêtements comprenant au moins, depuis le noyau et vers l'extérieur, une couche d'accroche et une couche protectrice.
- [0022] De préférence, la couche d'accroche est choisie pour avoir un coefficient de dilatation thermique proche du substrat. Par exemple, la couche d'accroche peut être choisie parmi une couche de nitrocarbure de titane TiCN, de carbure de titane TiC, de nitrure de TiN, de carbure de silicium SiC, de carbure d'hafnium HfC, ou de nitrure d'aluminium AlN.
- [0023] De préférence, la couche protectrice est une couche d'alumine Al_2O_3 .
- [0024] Ainsi, dans un mode de réalisation, le revêtement protecteur à l'oxydation comprend au moins, depuis le noyau et vers l'extérieur, une couche d'accroche et une couche protectrice, la couche d'accroche étant choisie parmi une couche de nitrocarbure de titane TiCN, de carbure de titane TiC, de nitrure de TiN, de carbure de silicium SiC, de carbure d'hafnium HfC, ou de nitrure d'aluminium AlN et la couche protectrice étant une couche d'alumine Al_2O_3 .
- [0025] Dans un tel mode de réalisation, l'épaisseur de la couche d'accroche peut être comprise entre 2 et 10 μm .
- [0026] Dans un tel mode de réalisation, l'épaisseur de la couche de protection peut être comprise entre 5 et 50 μm .
- [0027] Les inventeurs ont constaté qu'avec un revêtement protecteur tel que décrit plus haut, il était possible d'obtenir d'une part un revêtement remplissant parfaitement sa fonction de protection du noyau, et d'autre part que le revêtement ne présentait pas de fissure du fait de la dilatation différentielle du fait du coefficient de dilatation thermique de la couche d'accroche, proche de celui du substrat.
- [0028] Dans un mode de réalisation, le revêtement est choisi parmi les revêtements comprenant deux couches et notamment ceux comprenant : une couche de carbonitrure de titane TiCN et une couche d'alumine Al_2O_3 ; une couche de nitrure d'aluminium AlN et une couche d'alumine Al_2O_3 ; une couche de carbure de silicium SiC et une couche d'alumine Al_2O_3 ; ou bien une couche de carbure d'hafnium HfC et une couche d'alumine Al_2O_3 .
- [0029] Dans un mode de réalisation, le revêtement protecteur est choisi parmi des revêtement comprenant trois couches, par exemple comprenant depuis le noyau et vers l'extérieur une couche de carbure de titane TiC, une couche de nitrure de titane TiN et une couche d'alumine Al_2O_3 ; ou une couche de nitrure de titane TiN, une couche carbure de titane TiC et une couche d'alumine Al_2O_3 .
- [0030] De préférence, le revêtement protecteur à l'oxydation est un revêtement comprenant

depuis le noyau et vers l'extérieur une couche de carbonitrure de titane TiCN et une couche d'alumine Al_2O_3 .

- [0031] Les éléments proposés permettent une excellente protection de la partie principale du noyau contre l'oxydation.
- [0032] Dans un mode de réalisation, les protubérances sont précisément au nombre de deux.
- [0033] En effet, les inventeurs ont constaté que la fixation du noyau en deux points du moule permet d'assurer une fixation hypostatique, c'est-à-dire qui laisse au noyau au moins un degré de liberté. Ceci est particulièrement avantageux car cela permet une dilatation thermique du noyau par exemple au moment de la verse du métal fondu, sans créer de contraintes résiduelles. En effet, la dilatation différentielle entre le noyau et le moule carapace ne crée pas de contrainte durant les étapes en température, car le degré de liberté accordé au noyau lui permet de coulisser le long de la carapace.
- [0034] Dans un mode de réalisation, les protubérances sont formées par une unique tige en matériau réfractaire traversant la partie principale du noyau de part en part.
- [0035] Une telle tige doit s'entendre au sens vernaculaire de ce terme comme un élément dont l'une dimension est plus grande que les autres.
- [0036] Par exemple, la plus grande dimension de la tige est au moins 5 fois supérieure aux autres dimensions de la tige.
- [0037] Par exemple, la tige peut être cylindrique de révolution ou encore cylindrique avec une surface hexagonale ou triangulaire.
- [0038] Former ainsi les protubérances simplifie grandement le procédé de fabrication du noyau, car ces dernières peuvent être formées par fretage d'une tige en matériau réfractaire dans une ouverture cylindrique traversant la partie principale du noyau de part en part.
- [0039] Dans un mode de réalisation, la tige en matériau réfractaire est une tige creuse. Cela permet de simplifier le procédé de revêtement, en particulier lorsque celui-ci est réalisé par dépôt chimique en phase vapeur.
- [0040] Les protubérances sont présentes en saillie de la surface de la partie principale. Dans un mode de réalisation, les protubérances ont une longueur supérieure ou égale à 1,0 mm, par exemple comprise entre 1,0 mm et 5,0 mm.
- [0041] Il est entendu que la longueur d'une protubérance est mesurée à partir de la surface de la partie principale et perpendiculairement à celle-ci.
- [0042] Dans un mode de réalisation, le matériau réfractaire de la tige en matériau réfractaire peut être une céramique, par exemple choisie parmi l'alumine ou la zircone.
- [0043] Dans un mode de réalisation, la partie principale du noyau a la forme des circuits de refroidissement d'une aube de turbomachine.
- [0044] En effet, les aubes de turbomachines sont généralement réalisées par fonderie, en particulier pour les aubes de partie chaude de turbomachine, c'est-à-dire celles situées

après la chambre de combustion.

- [0045] Il est alors particulièrement avantageux d'utiliser un noyau de fonderie plutôt qu'un usinage ultérieur pour fabriquer les circuits de refroidissement d'une aube de turbomachine.
- [0046] En effet, la géométrie particulièrement complexe des circuits de refroidissement d'une aube de turbomachine n'est pas nécessairement atteignable par un usinage après fabrication de la pièce. En outre, pour les aubes de turbomachines monocristallines, un tel usinage n'est pas envisageable, et il est donc préférable d'utiliser des noyaux de fonderie.
- [0047] Le noyau de fonderie décrit permet alors d'obtenir les circuits de refroidissement dans une telle aube, sans complexifier le procédé de fonderie.
- [0048] Selon un autre de ses aspects, l'invention concerne un procédé de fabrication d'un noyau de fonderie comprenant les étapes suivantes :
 - la formation d'une partie principale du noyau en molybdène ou en alliage de molybdène à la forme souhaitée ;
 - la disposition d'au moins deux protubérances en matériau réfractaire à la surface de la partie principale ;
 - le revêtement de la partie principale et des protubérances par un revêtement protecteur à l'oxydation.
- [0049] Dans un mode de réalisation, la formation de la partie principale du noyau de fonderie est réalisée par fabrication additive, par exemple par un procédé de jet de liant (dit aussi « binder jetting » dans l'appellation anglaise). Les procédés peuvent être choisis parmi déposition laser de métal (dit « LMD » pour l'acronyme anglais « Laser Melting Deposition »), par fusion de faisceau d'électrons (dit « EBM » pour l'acronyme anglais « Electron Beam Melting »), par frittage sélectif par laser (dit « SLS » pour l'acronyme anglais « Selective Laser Sintering »), par fusion sélective par laser (dit « SLM » pour l'acronyme anglais « Selective Laser Melting »), par fusion sur lit de poudre (dit « PBM » pour l'acronyme anglais « Powder Bed Melting »), par un procédé multi jet, par frittage laser direct de métal (dit « DMLS » pour l'acronyme anglais « Direct Melting Laser Sintering »).
- [0050] La fabrication additive permet d'obtenir facilement des formes aux géométries complexes, ce qui permet un gain de coût dans la fabrication du noyau.
- [0051] Dans un mode de réalisation, la formation de la partie principale du noyau de fonderie est réalisée par moulage par injection de métal (ou MIM pour l'acronyme anglais « Metal Injection Molding »).
- [0052] Dans un mode de réalisation, la disposition des protubérances est réalisée par frettage d'une tige en matériau réfractaire dans une ouverture traversante de la partie principale.
- [0053] La formation des protubérances par frettage d'une tige dans une ouverture traversante

de la partie principale simplifie les procédés de disposition des protubérances comparativement à d'autres méthodes de fixation des protubérances.

- [0054] En outre, cette méthode permet d'assurer que deux protubérances soient directement en regard l'une de l'autre, ce qui permet un positionnement plus précis du noyau de fonderie dans le moule de fonderie.
- [0055] Egalement, cette méthode assure l'absence de jeu entre les protubérances et la partie principale.
- [0056] Dans un mode de réalisation, le matériau réfractaire des protubérances peut être une céramique, par exemple choisie parmi l'alumine ou la zircone.
- [0057] Dans un mode de réalisation, le revêtement du noyau peut être réalisé par un procédé dépôt chimique en phase vapeur (en anglais « Chemical Vapor Deposition » ou CVD), par un dépôt physique en phase vapeur (en anglais « Physical Vapor Deposition » ou PVD) ou encore par voie liquide, par exemple par électro-dépôt.
- [0058] De tels modes de réalisation du revêtement permettent d'assurer que le revêtement soit continu entre la partie principale et les protubérances.
- [0059] Cette continuité assure une protection optimale de la partie principale du noyau contre l'oxydation, et en conséquence une excellente résistance du noyau de fonderie à l'oxydation pendant la coulée de métal fondu.
- [0060] Selon un autre de ses aspects, l'invention concerne un procédé de fabrication d'une pièce creuse en matériau métallique par fonderie comprenant au moins les étapes suivantes :
 - la disposition d'un noyau de fonderie décrit plus haut dans un moule de fonderie, le noyau de fonderie étant disposé dans le moule de sorte que les protubérances soient au contact du moule ;
 - le coulage d'un matériau métallique fondu dans la cavité de moulage du moule comprenant le noyau ; et
 - le décochage du moule et le retrait du noyau.
- [0061] Ce procédé de fabrication permet d'obtenir des pièces creuses en matériau métallique de manière simplifiée et avec un taux de rebut plus faible que les procédés de l'art antérieur.
- [0062] Dans un mode de réalisation, le matériau métallique peut être un superalliage de nickel ou de cobalt, éventuellement monocristallin.
- [0063] Dans un mode de réalisation, la pièce métallique creuse est une aube de turbomachine, par exemple une aube de partie chaude de turbomachine comprenant des canaux de refroidissement.

Brève description des dessins

- [0064] [Fig.1] La [Fig.1] représente schématiquement un noyau de fonderie dans un premier

mode de réalisation.

[0065] [Fig.2] La [Fig.2] représente schématiquement un noyau de fonderie dans un autre mode de réalisation.

[0066] [Fig.3] La [Fig.3] représente schématique un noyau de fonderie selon un mode de réalisation de l'invention disposé dans un moule pour la fonderie à la cire perdue.

[0067] [Fig.4] La [Fig.4] représente un ordinogramme schématisant un procédé de préparation d'un noyau de fonderie dans un mode de réalisation.

[0068] [Fig.5] La [Fig.5] représente un ordinogramme schématisant un procédé de fabrication d'une pièce creuse en matériau métallique dans un mode de réalisation.

Description des modes de réalisation

[0069] L'invention est à présent décrite au moyen de figures, présentes à but descriptif pour illustrer certains modes de réalisation de l'invention et qui ne doivent pas être interprétées comme limitant cette dernière.

[0070] La [Fig.1] représente schématiquement un noyau de fonderie 101 dans un mode de réalisation.

[0071] Le noyau de fonderie comprend une partie principale 11, deux protubérances 12 à la surface de la partie principale 11, l'ensemble étant revêtu par un revêtement protecteur à l'oxydation 13.

[0072] Les protubérances 12 peuvent être figées par encastrement, par collage ou par toute autre méthode permettant d'assurer la fixation du noyau dans le moule, étant entendu que cette fixation doit résister à l'étape de verse du métal fondu.

[0073] Dans le mode de réalisation de la [Fig.1], les deux protubérances 12 sont distinctes l'une de l'autre en ce qu'elles sont formées distinctement.

[0074] La [Fig.2] représente un mode de réalisation alternatif qui diffère de la [Fig.1] en ce que les deux protubérances sont formées par une unique tige de matériau réfractaire 15.

[0075] Ce mode de réalisation permet d'obtenir de manière simplifiée deux protubérances 12. En outre, puisque cela nécessite en amont la réalisation d'une ouverture traversante dans la partie principale 11 du noyau 102, ce mode de réalisation assure un positionnement précis et simplifié des protubérances 12 sur la partie principale 11, et donc une meilleure reproductibilité.

[0076] Dans la demande, les protubérances 12 en matériau réfractaire sont en un matériau inerte chimiquement vis-à-vis du métal fondu et résistant aux températures mises en jeu lors de la coulée du métal liquide.

[0077] Par exemple, le matériau réfractaire peut être un matériau céramique, par exemple de la zircone ou de l'alumine.

[0078] Dans le mode de réalisation représenté sur les figures 1 et 2, le revêtement protecteur à l'oxydation 13 est continu, c'est-à-dire que toute la surface externe de la partie

principale 11 et des protubérances 12 est recouverte.

- [0079] Ce mode de réalisation permet d'assurer une excellente résistance à l'oxydation de la partie principale 11 et notamment à proximité des protubérances 12.
- [0080] En effet, il est du mérite des inventeurs d'avoir ainsi résolu deux problèmes que présentent les noyaux de l'art antérieur ne comprenant pas de protubérances composées d'un matériau réfractaire.
- [0081] D'une part, la fixation des protubérances, nécessaires au bon positionnement du noyau 101, 102 dans le moule, risque de dégrader le revêtement de la partie principale 11 dans la zone située à proximité des protubérances 12.
- [0082] D'autre part, la mise en place du noyau 101, 102 dans le moule peut occasionner des destructions localisées du revêtement protecteur 13 présent sur les protubérances 12. Par exemple à cause des outils de manutention, ou du fait du contact avec le moule.
- [0083] Un noyau 101, 102 selon l'invention ne souffre d'aucun de ces deux problèmes, et n'impose pas non plus de trouver d'autres méthodes de positionnement du noyau 101, 102 dans le moule.
- [0084] En effet, le revêtement 13 recouvre aussi bien la partie principale 11 que les protubérances 12. La fixation des protubérances ne peut alors pas dégrader le revêtement 13 qui est déposé après.
- [0085] En outre, lors de la mise en place du noyau 101, 102, ce sont les protubérances 12 qui sont au contact du moule. Puisque ces dernières sont composées d'un matériau réfractaire, quand bien même le revêtement 13 serait endommagé au niveau des protubérances 12, cela n'aurait pas d'incidence sur la bonne résistance à l'oxydation de la partie principale 11 du noyau 101, 102.
- [0086] La [Fig.3] représente schématiquement un noyau 102 disposé dans un moule 16 pour la préparation d'une pièce métallique creuse.
- [0087] Le moule 16 est obtenu d'une manière connue, selon un procédé de moulage à la cire perdue, et de sorte que la cavité de moulage 20 du moule, définie par sa surface interne S_{int} , ait la forme de la pièce souhaitée.
- [0088] Le positionnement du noyau 102 peut se faire, par exemple, en disposant les protubérances 12 dans des parties du moule prévues à cet effet, ici les encastrement 22.
- [0089] Dans un mode de réalisation, la cavité de moulage 20 peut comprendre une partie utile 18, et une partie non-utile 24, la pièce souhaitée étant obtenue dans la partie utile 18.
- [0090] Par exemple, les protubérances 12 et les encastrement 22 sont situés dans la partie non-utile 24. La présence d'une zone non-utile 24 permet de faciliter les étapes de démoulage et/ou d'effectuer des contrôles.
- [0091] De la sorte, la géométrie finale de la partie utile 18 de la cavité de moulage 20 du moule 16 n'est aucunement contrainte par la présence des protubérances 12 du noyau,

et l'on peut ainsi obtenir une pièce creuse en matériau métallique aux dimensions et aux formes souhaitées.

- [0092] La [Fig.4] représente de manière très schématique un procédé de fabrication d'un noyau de fonderie 101, 102 tel que décrit plus haut.
- [0093] Au cours d'une première étape S11, la partie principale 11 du noyau 101, 102 est formée à la forme souhaitée.
- [0094] Toute méthode peut être employée pour cette étape et en particulier la fabrication additive ou le moulage par injection de métal.
- [0095] Ces deux méthodes permettent d'obtenir une partie principale avec une géométrie parfaitement définie.
- [0096] Les procédés particuliers pour mettre en œuvre ces méthodes sont connus, et ne seront pas décrits ici.
- [0097] Dans des modes de réalisation, l'étape S11 peut également comprendre une étape particulière de création d'une ouverture traversante dans la partie principale 11, destinée à accueillir la tige en matériau réfractaire 15.
- [0098] Au cours d'une seconde étape S12, au moins deux protubérances 12 sont disposées à la surface de la partie principale 11.
- [0099] Il s'entend que, même lorsque les protubérances 12 sont créées via l'insertion d'une tige en matériau réfractaire 15 traversant la partie principale 11 de part en part, les protubérances 12 doivent être entendues comme les parties de la tige en matériau réfractaire 15 qui dépassent de la partie principale 11, et elles sont donc bien situées à la surface de la partie principale 11.
- [0100] Par exemple, la seconde étape S12 peut être réalisée par collage ou encastrement de protubérances 12 à la surface de la partie principale 11 créée précédemment.
- [0101] Dans un mode de réalisation particulier, l'étape S12 correspond à l'insertion d'une tige en matériau réfractaire 15 dans une ouverture cylindrique prévue à cet effet dans la partie principale 11 du noyau 102. Le matériau réfractaire 15 peut être un oxyde réfractaire ou une céramique réfractaire.
- [0102] Il est préféré que la tige en matériau réfractaire 15 soit frettée dans l'ouverture cylindrique de la partie principale 11.
- [0103] Le frettage s'entend ici selon sa définition habituelle en mécanique des matériaux, et consiste en l'assemblage de deux pièces grâce à un ajustement serré.
- [0104] En effet, lorsqu'elle est fixée par frettage, la tige en matériau réfractaire 15 ne présente pas de jeu avec la partie principale 11 du noyau. Les inventeurs ont constaté qu'il est préférable que la tige en matériau réfractaire 15 ne présente pas de jeu avec la partie principale 11 du noyau 102, car cela évite le mouvement relatif de la tige en matériau réfractaire 15 par rapport à la partie principale 11 du noyau. Par un tel mouvement la tige en matériau réfractaire 15 pourrait frotter sur le revêtement 13 de la

partie principale 11 à proximité des protubérances 12 et nuire à son intégrité. En outre, le positionnement du noyau 102 dans le moule 16 est ainsi plus précis.

- [0105] Le procédé de préparation du noyau de fonderie 102 comprend en outre une étape S13 de revêtement du noyau 102, formé de la partie principale 11 et des protubérances 12, par un revêtement protecteur à l'oxydation 13.
- [0106] Par exemple, cette étape peut être réalisée par un procédé de dépôt chimique en phase vapeur (en anglais « Chemical Vapor Deposition » ou CVD) ou par un procédé de dépôt physique en phase vapeur (en anglais « Physical Vapor Deposition » ou PVD), ou encore par voie liquide, par exemple par électro-dépôt.
- [0107] Dans un mode de réalisation, le revêtement peut comprendre une couche d'alumine Al_2O_3 et une couche de carbonitrure de titane TiCN, toutes deux déposées par un procédé de dépôt chimique en phase vapeur.
- [0108] Un dépôt chimique en phase vapeur permet d'assurer que le revêtement 13 recouvre l'intégralité du noyau 102 et cela quelle que soit sa géométrie.
- [0109] Dans un mode de réalisation où la tige en matériau réfractaire 15 est creuse, l'étape S13 peut être réalisée en pendant le noyau 102 dans un four de dépôt chimique en phase vapeur au moyen d'un fil traversant la tige en matériau réfractaire 15.
- [0110] Les paramètres spécifiques d'un dépôt chimique ou physique en phase vapeur permettant le dépôt d'un revêtement protecteur 13 sont connus de l'homme du métier. Il en est de même pour un procédé par électro-dépôt.
- [0111] La [Fig.5] décrit un procédé de fabrication d'une pièce creuse en matériau métallique par un procédé de fonderie à la cire perdue utilisant un noyau de fonderie tel que décrit plus haut.
- [0112] Un tel procédé comprend une étape S21 de disposition d'un noyau de fonderie 101, 102 dans un moule de fonderie 16, de sorte que les protubérances 12 du noyau soient au contact du moule 16.
- [0113] De préférence, et ainsi que cela est fréquemment réalisé dans les procédés classiques de fonderie à la cire perdue, le moule de fonderie 16 peut être obtenu via une carapace céramique formée autour d'un modèle en cire de la pièce, par exemple, par trempage du modèle de cire dans une barbotine suivi d'un traitement thermique.
- [0114] Dans un mode de réalisation, les protubérances du noyau sont disposées dans des encastrlements 22 du moule 16.
- [0115] Le procédé comprend une étape S22 de coulage d'un matériau métallique fondu dans le moule comprenant le noyau 101, 102.
- [0116] Au cours de cette étape, le métal fondu remplit la cavité de moulage 20 du moule 16, ou au moins sa partie utile 18.
- [0117] La cavité de moulage 20 a la forme de la pièce à obtenir, et le métal fondu prend donc la forme souhaitée pour la pièce.

- [0118] La présence du noyau de fonderie 101, 102 dans la cavité de moulage 20 empêche le métal fondu d'accéder à l'espace qu'il occupe et la pièce en matériau métallique se forme ainsi autour du noyau.
- [0119] Au cours d'une étape ultérieure S23, le moule est décoché et le noyau retiré, au moyen de méthodes connues en tant que telles pour permettre d'obtenir finalement une pièce creuse en matériau métallique.
- [0120] Dans un mode de réalisation, une fois l'alliage monocristallin coulé et refroidi, une partie des zones non utiles sont découpées ce qui permet de mettre à nu le noyau.
- [0121] Ce dernier est alors exposé à un ou plusieurs bains chimiques et/ou un ou plusieurs traitements thermiques afin d'éliminer le noyau et les protubérances en matériau réfractaire.
- [0122] Par exemple, le moule peut être détruit mécaniquement.
- [0123] Par exemple, le noyau de fonderie peut être dissous au moyen d'une solution chimique acide ou basique. De manière alternative ou complémentaire, le noyau de fonderie peut être dissous par un traitement d'oxydation, éventuellement réalisé en température.
- [0124] Dans un mode de réalisation, le procédé de fabrication d'une pièce creuse en matériau métallique peut comprendre, après l'étape S23, une étape d'usinage, par exemple pour retirer une partie du métal qui aurait coulé dans la zone non-utile 24 du moule 16, et ne conserver que la pièce aux dimensions souhaitées.

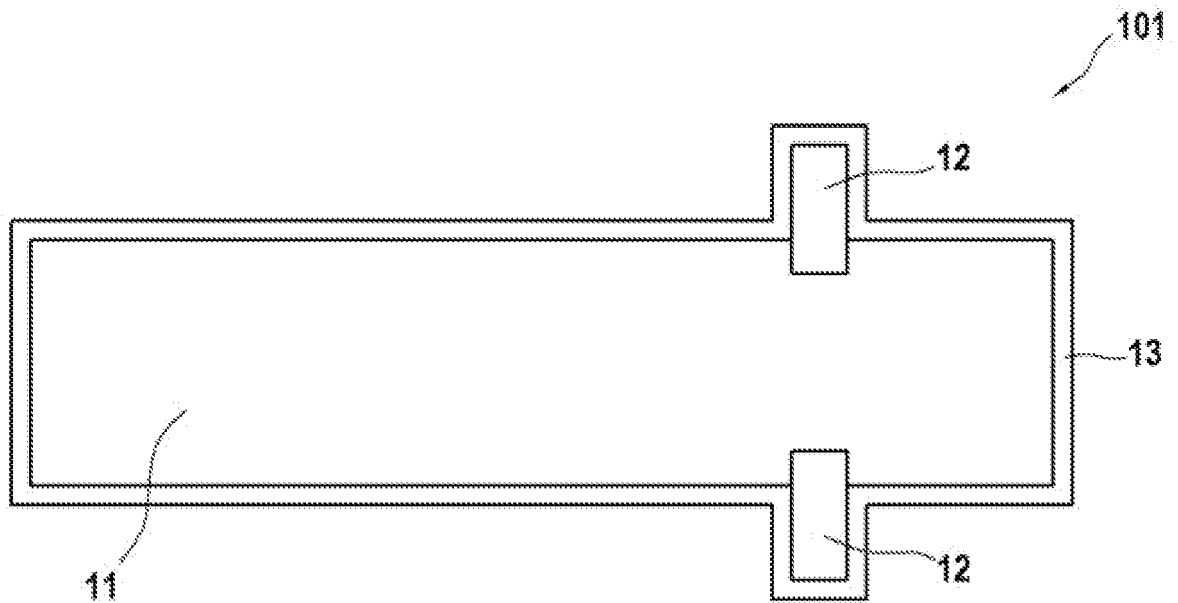
Revendications

- [Revendication 1] Noyau de fonderie (101, 102) comprenant une partie principale (11) en molybdène ou en alliage de molybdène, caractérisé en ce qu'il comprend à la surface de la partie principale au moins deux protubérances (12) composées d'un matériau réfractaire, l'ensemble de la partie principale et des protubérances étant recouvertes d'un revêtement protecteur à l'oxydation (13), le matériau réfractaire des protubérances étant une céramique.
- [Revendication 2] Noyau de fonderie (101, 102) selon la revendication 1, dans lequel le revêtement protecteur à l'oxydation (13) comprend au moins, depuis le noyau et vers l'extérieur, une couche d'accroche et une couche protectrice, la couche d'accroche étant choisie parmi une couche de nitrocarbure de titane TiCN, de carbure de titane TiC, de nitrure de TiN, de carbure de silicium SiC, de carbure d'hafnium HfC, ou de nitrure d'aluminium AlN et la couche protectrice étant une couche d'alumine Al_2O_3 .
- [Revendication 3] Noyau de fonderie (102) selon la revendication 1 ou 2, dans lequel les protubérances (12) sont formées par une unique tige en matériau réfractaire (15) traversant la partie principale (11) du noyau de part en part.
- [Revendication 4] Noyau de fonderie (101, 102) selon la revendication 3, dans lequel le matériau réfractaire de la tige en matériau réfractaire (15) est choisi parmi l'alumine ou la zircone.
- [Revendication 5] Noyau de fonderie (101, 102) selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel de la partie principale (11) du noyau a la forme des circuits de refroidissement d'une aube de turbomachine.
- [Revendication 6] Procédé de fabrication d'un noyau de fonderie (101, 102) comprenant les étapes suivantes :
- la formation d'une partie principale (11) du noyau en molybdène ou en alliage de molybdène à la forme souhaitée ;
 - la disposition d'au moins deux protubérances (12) en matériau réfractaire à la surface de la partie principale, le matériau réfractaire des protubérances étant une céramique ;
 - le revêtement de la partie principale et des protubérances par un revêtement protecteur à l'oxydation (13).
- [Revendication 7] Procédé de fabrication selon la revendication 6, dans lequel la disposition des protubérances (12) est réalisée par frettage d'une tige en

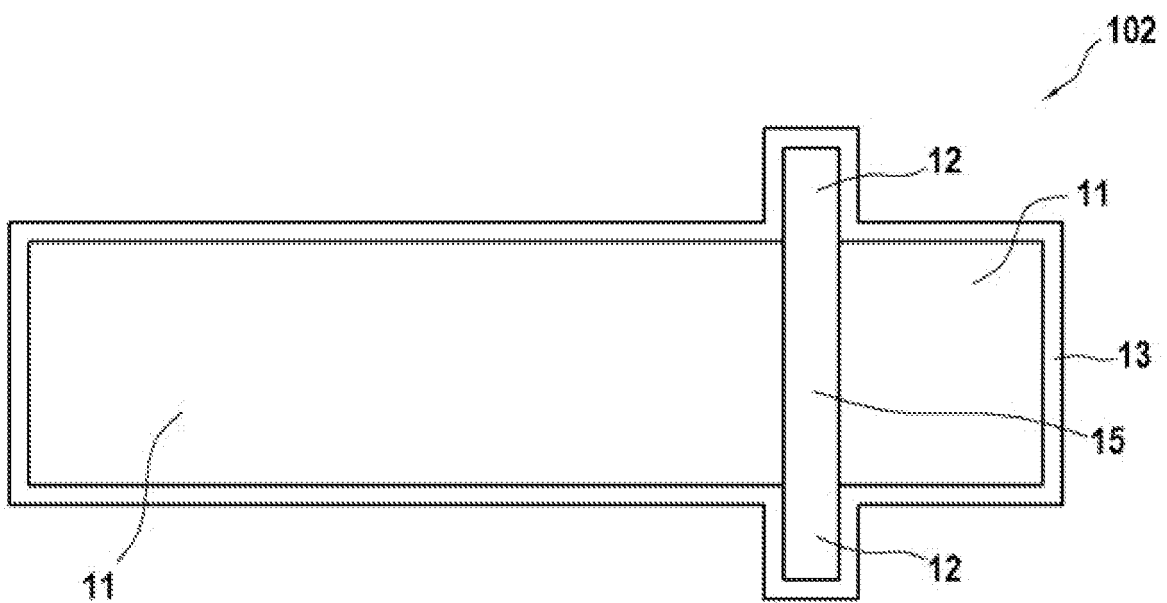
matériau réfractaire (15) dans une ouverture traversante de la partie principale (11).

- [Revendication 8] Procédé de fabrication selon la revendication 6 ou 7, dans lequel le revêtement du noyau (101, 102) est réalisé par un procédé dépôt chimique en phase vapeur ou un dépôt physique en phase vapeur.
- [Revendication 9] Procédé de fabrication selon l'une quelconque des revendications 6 à 8, dans lequel la formation de la partie principale (11) est réalisée par fabrication additive ou par moulage par injection de métal.
- [Revendication 10] Procédé de fabrication d'une pièce creuse en matériau métallique par fonderie comprenant au moins les étapes suivantes :
- la disposition d'un noyau de fonderie (101, 102) selon l'une des revendications 1 à 5 dans un moule de fonderie (16), le noyau de fonderie étant disposé dans le moule de sorte que les protubérances (12) soient au contact du moule ;
 - le coulage d'un matériau métallique fondu dans la cavité de moulage (20) du moule comprenant le noyau ; et
 - le décochage du moule et le retrait du noyau.

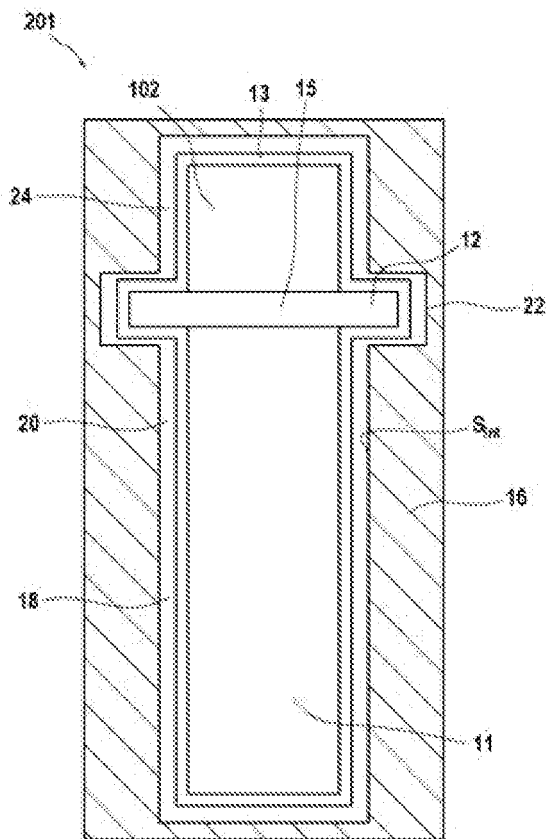
[Fig. 1]



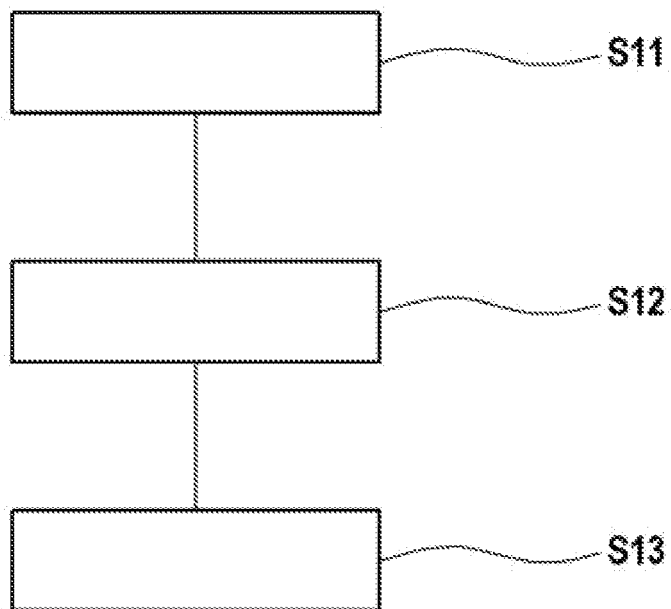
[Fig. 2]



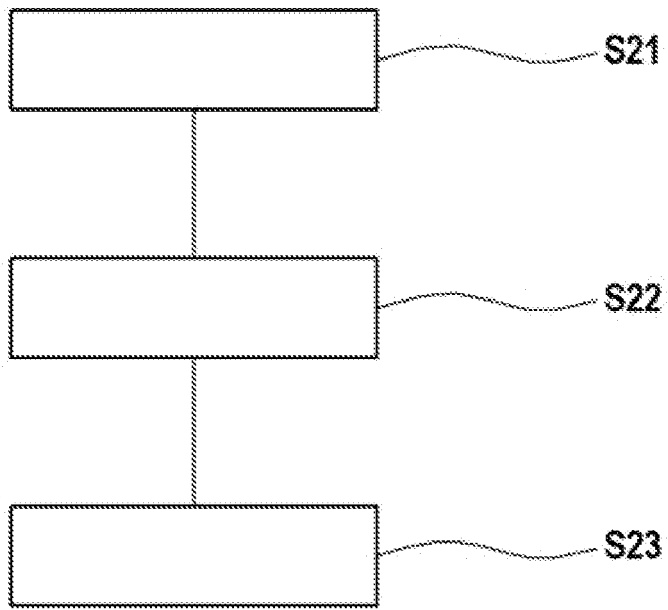
[Fig. 3]



[Fig. 4]



[Fig. 5]



RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveau) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

☒ Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

☐ Le demandeur a maintenu les revendications.

☒ Le demandeur a modifié les revendications.

☐ Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.

☐ Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.

☐ Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

☒ Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

☒ Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.

☐ Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.

☐ Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

**1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN
CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION**

US 2010/122789 A1 (PIGGUSH JUSTIN D [US]
ET AL) 20 mai 2010 (2010-05-20)

US 2009/114797 A1 (BEALS JAMES T [US] ET
AL) 7 mai 2009 (2009-05-07)

US 2007/116569 A1 (CUNHA FRANK [US] ET AL)
24 mai 2007 (2007-05-24)

**2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN
TECHNOLOGIQUE GENERAL**

GB 2 465 181 A (GEN ELECTRIC [US])
12 mai 2010 (2010-05-12)

**3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND
DE LA VALIDITE DES PRIORITES**

NEANT