



(11)

EP 3 302 853 B1

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:
11.09.2019 Bulletin 2019/37

(51) Int Cl.:
B22D 29/00 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **16733144.6**

(86) Numéro de dépôt international:
PCT/FR2016/051196

(22) Date de dépôt: **19.05.2016**

(87) Numéro de publication internationale:
WO 2016/193567 (08.12.2016 Gazette 2016/49)

(54) **PROCEDE DE DECOCHAGE D'UN NOYAU DE FONDERIE, ET PROCEDE DE FABRICATION PAR MOULAGE COMPORTANT UN TEL PROCEDE**

VERFAHREN ZUM AUSSCHLAGEN EINES GIESSKERNS UND VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG DURCH FORMEN MIT SOLCH EINEM VERFAHREN

METHOD FOR KNOCKING OUT A FOUNDRY CORE, AND METHOD FOR MANUFACTURING BY MOULDING INCLUDING SUCH A METHOD

(84) Etats contractants désignés:
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**

(30) Priorité: **29.05.2015 FR 1554911**

(43) Date de publication de la demande:
11.04.2018 Bulletin 2018/15

(73) Titulaire: **Safran Aircraft Engines
75015 Paris (FR)**

(72) Inventeurs:
• **BALLANT, Didier
77550 Moissy-Cramayel Cedex (FR)**

- **FAUVELIERE, Patrick
77550 Moissy-Cramayel Cedex (FR)**
- **KALETA, Vincent
77550 Moissy-Cramayel Cedex (FR)**
- **MARGUTTI, Yann
77550 Moissy-Cramayel Cedex (FR)**
- **PARLANGE, Jean-Paul
77550 Moissy-Cramayel Cedex (FR)**

(74) Mandataire: **Gevers & Orès
41 avenue de Friedland
75008 Paris (FR)**

(56) Documents cités:
**EP-A2- 1 710 029 DE-A1-102013 003 303
RU-C1- 2 414 326**

EP 3 302 853 B1

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la publication de la mention de la délivrance du brevet européen au Bulletin européen des brevets, toute personne peut faire opposition à ce brevet auprès de l'Office européen des brevets, conformément au règlement d'exécution. L'opposition n'est réputée formée qu'après le paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

Description

[0001] L'invention concerne un procédé de décochage d'un noyau de fonderie, et un procédé de fabrication par moulage comportant un tel procédé de décochage.

[0002] De nombreuses pièces utilisées dans l'industrie mécanique sont obtenues par un procédé de moulage, et notamment par un procédé de moulage à cire perdue. C'est le cas notamment d'aubes de turbomachine, dont certaines comportent une ou plusieurs cavités internes qui sont destinées à permettre, par exemple, une circulation d'air de refroidissement.

[0003] En effet, une turbomachine, telle qu'utilisée pour la propulsion dans le domaine aéronautique, comprend une entrée d'air atmosphérique qui communique avec un ou plusieurs compresseurs, entraînés en rotation autour d'un même axe. Le flux primaire de cet air, après avoir été comprimé, alimente une chambre de combustion disposée annulairement autour de cet axe et est mélangé à un carburant qui est brûlé pour fournir des gaz chauds, en aval, à une ou plusieurs turbines à travers lesquelles ceux-ci sont détendus, les rotors de turbine entraînant les rotors des compresseurs. Les moteurs fonctionnent à une température des gaz en entrée de turbine, que l'on cherche aussi élevée que possible, car cette température conditionne les performances de la turbomachine. Dans ce but, les matériaux des parties chaudes sont sélectionnés pour résister à ces conditions de fonctionnement et les parois des pièces balayées par les gaz chauds, telles que les parois des distributeurs ou des roues à aubes de turbine, sont pourvues de moyens de refroidissement, et notamment de cavités internes qui sont destinées à permettre l'acheminement d'un flux d'air de refroidissement. Dans le cas des aubes de mobiles de turbine, notamment, ce flux d'air provient d'une partie interne du rotor.

[0004] Dans le cadre d'un procédé de moulage à cire perdue de telles aubes connu de l'état de la technique, on crée un modèle en cire perdue emprisonnant des noyaux qui sont utilisés lors de la coulée du métal afin de créer une cavité qui servira au refroidissement de l'aube dans la turbomachine. Lors de la coulée du métal, celui-ci remplace le volume occupé préalablement par la cire en emprisonnant le ou les noyaux. Ces noyaux doivent donc être éliminés à l'issue de la solidification du métal au cours d'une opération dite "de décochage".

[0005] Selon une première conception connue du document EP1.710.029A2, on effectue une dissolution des noyaux dans un liquide de dissolution dont l'agitation et la température sont contrôlées. Une telle opération ne garantit pas une bonne dissolution des noyaux dans les cavités.

[0006] Selon une deuxième conception connue du document DE10.2013.003303-A1, on effectue une dissolution des noyaux dans une solution aqueuse soumise à des moyens d'agitation. Une telle opération ne garantit pas une bonne dissolution des noyaux à cire perdue.

[0007] Selon une troisième conception connue du do-

cument EP1.710.029-A2, on effectue une dissolution des noyaux montés sur un tambour rotatif dans une solution alcaline soumise à des moyens d'agitation, notamment par ultrasons. Une telle opération ne garantit pas une bonne accessibilité des noyaux à cire perdue à la solution alcaline.

[0008] Selon une quatrième conception connue, on utilise à cet effet une enceinte autoclave soumise de manière connue à une pression d'air comprimé de l'ordre de 4 à 20 bars, remplie d'une solution basique, généralement à base de soude.

[0009] En fonction de l'aspect du dépôt de soude restant sur les pièces à l'issue de l'opération de décochage, l'opérateur en charge de l'élimination des noyaux peut décider d'injecter dans la ou les cavités de l'eau sous une pression de 70 et 130 bars. Cette injection d'eau permet de nettoyer la surface interne de la pièce et elle contribue en théorie à enlever les résidus céramiques restants dans la cavité, qui sont le plus souvent situés dans des zones dites de fond de cavité qui sont difficiles d'accès, même pour des bains basiques sous pression.

[0010] Toutefois, on a constaté dans la pratique que, malgré une opération de décochage sous solution basique et une injection d'eau sous pression, il peut survenir que des résidus constitués de céramique et de solution basique subsistent au fond de la cavité précédemment occupée par le noyau.

[0011] Il n'est par ailleurs pas possible d'effectuer une injection d'eau sous une pression supérieure, car une pression trop élevée dans la ou les cavités pourrait causer des défauts métallurgiques qui pourraient se révéler par la suite nuisibles lors d'un traitement thermique ultérieur de l'aube.

[0012] Il n'est par ailleurs pas possible non plus de répéter l'opération de décochage autoclave sous solution basique, car, outre que le résultat d'une telle opération n'est pas garanti et pourrait s'avérer sans effet, une telle opération est d'une durée élevée et de ce fait, le nombre de cycles de décochage autoclave sous solution basique est limité par des procédures visant à optimiser l'occupation et l'utilisation des enceintes autoclaves.

[0013] L'invention remédie aux inconvénients connus de l'état de la technique en proposant un nouveau mode de décochage des noyaux permettant d'éliminer les résidus demeurant notamment en fond de cavité de manière simple, rapide, et efficace.

[0014] Dans ce but, l'invention propose un procédé de décochage d'un noyau de fonderie emprisonné dans une cavité interne d'une pièce à l'issue d'une opération de moulage, notamment une opération de moulage à cire perdue du type décrit précédemment, qui comporte de manière connue au moins une étape primaire de décochage chimique au cours de laquelle on soumet la pièce à une solution chimique de dissolution du noyau, dans une enceinte fermée.

[0015] Conformément à l'invention, ce procédé comporte une étape secondaire de décochage par ultrasons au cours de laquelle la pièce est soumise à des ultrasons

pour décoller des résidus de noyau de parois de la cavité.

[0016] Selon d'autres caractéristiques de l'invention :

- au cours de l'étape secondaire, la pièce est immergée dans une de l'eau ou une solution aqueuse comportant éventuellement un additif contenue dans une cuve à ultrasons, 5
- au cours de l'étape secondaire, la pièce est soumise à des ultrasons dont la direction de propagation est orientée suivant une direction générale d'orientation de la cavité, et/ou transversalement par rapport à ladite direction générale d'orientation de la cavité, 10
- au cours de l'étape secondaire, les ultrasons sont émis au moins par un transducteur placé de préférence au fond de la cuve, de façon à ce que les ultrasons soient émis vers la surface de l'eau ou de la solution aqueuse contenue dans la cuve, 15
- le procédé est adapté au décochage d'au moins un noyau d'au moins une pièce de forme générale allongée orientée suivant une direction générale et, au cours de l'étape secondaire, ladite au moins une pièce est disposée dans la cuve à ultrasons en orientant sa direction d'orientation générale selon la direction verticale, 20 25
- au cours de l'étape secondaire, la température de l'eau ou de la solution aqueuse est comprise entre 10 à 60°C, et les ultrasons sont émis sous une fréquence de 14 à 50 kHz et à une puissance de 500 à 1300 W, pendant une durée de 10 à 100 minutes, 30
- au cours de l'étape primaire de décochage, on dispose la pièce dans une enceinte autoclave soumise à une pression d'air comprimé de 4 à 20 bars et contenant une solution basique, 35
- au cours de l'étape primaire de décochage, à l'issue du traitement de la pièce dans la solution basique, on soumet la cavité de la pièce à une injection d'eau sous une pression de 70 à 130 bars. 40

[0017] L'invention concerne également plus généralement un procédé de fabrication par moulage à cire perdue d'une pièce de fonderie comportant au moins une cavité interne débouchant sur une de ses faces.

[0018] Ce procédé est caractérisé en ce qu'il comporte au moins :

- une étape de fabrication d'un noyau en matériau céramique, destiné à former au moins une cavité dans la pièce finie,
- une étape de fabrication d'un modèle en cire perdue au cours de laquelle on réalise un modèle de la pièce par injection de cire dans une presse et au cours de laquelle on inclut le noyau dans ledit modèle, 55

- une étape de montage en grappe de plusieurs modèles réalisés par répétition de la deuxième étape,
- une étape de fabrication d'un moule céramique ou carapace et de placement de la grappe de modèles dans ledit moule, 5
- une étape de coulée du métal dans le moule ou carapace,
- une étape de refroidissement,
- une étape de décochage de la carapace céramique, et 10
- les étapes du procédé de décochage selon l'une des revendications précédentes,

le procédé comprenant éventuellement une étape supplémentaire de finition, notamment par usinage grande vitesse, et de contrôle non destructif de la pièce.

[0019] L'invention concerne également une installation pour la mise en oeuvre du procédé de décochage susmentionné. Cette installation comprend :

- une première cuve ou autoclave, contenant une solution, de préférence basique, de dissolution chimique d'un noyau de fonderie, et
- une seconde cuve de bain à ultrasons, contenant de l'eau ou une solution aqueuse comportant éventuellement un additif, la seconde cuve étant équipée d'au moins un transducteur. 25

[0020] L'invention sera mieux comprise et d'autres détails, caractéristiques et avantages de la présente invention apparaîtront plus clairement à la lecture de la description qui suit faite à titre d'exemple non limitatif et en référence aux dessins annexés, dans lesquels :

- les figures 1A et 1B sont des vues schématiques de côté avec arrachement partiel d'aubes de turbomachine obtenues par un procédé de fabrication par moulage à cire perdue ; 35
- la figure 2 est une vue schématique représentant une première étape d'un procédé de fabrication par moulage à cire perdue, notamment une première étape de fabrication d'un noyau en matériau céramique, destiné à former au moins une cavité dans une aube de turbomachine ; 40 45
- la figure 3 est une vue schématique en coupe par le plan 3-3 de la figure 2, représentant une deuxième étape du procédé, notamment une deuxième étape de fabrication d'un modèle en cire perdue d'aube de turbomachine incluant le noyau ; 50
- la figure 4 est une vue schématique représentant une quatrième étape du procédé, notamment une quatrième étape de fabrication d'un moule céramique et de placement dans ledit moule d'une grappe de modèles préalablement assemblée ; 55

- la figure 5 est une vue schématique représentant une étape primaire du procédé de décochage selon l'invention ; et
- la figure 6 est une vue schématique représentant une étape secondaire du procédé de décochage selon l'invention.

[0021] Dans la description qui va suivre, des chiffres de référence identiques désignent des pièces identiques ou ayant des fonctions similaires.

[0022] On a représenté aux figures 2 à 6 un procédé de fabrication par moulage à cire perdue d'une pièce de fonderie, notamment une aube 10 de turbomachine du type de celle qui a été représentée aux figures 1A ou 1B.

[0023] De manière connue, une telle aube 10 de turbomachine comporte pour l'essentiel une pale 12 et un pied 14 solidaire de la pale 12, l'aube étant destinée à être reçue dans un disque de rotor (non représenté) pour former une roue de compresseur ou de turbine d'une turbomachine, notamment de moteur aéronautique.

[0024] Dans le cas particulier d'une aube 10 destinée à former une aube de turbine, chaque aube 10 comporte généralement au moins une cavité interne 16 de direction générale principale C qui est destinée à permettre la circulation d'un flux d'air F à l'intérieur de l'aube 10.

[0025] La cavité interne 16 peut prendre différentes formes. Sur la figure 1A, on a représenté une aube 10 comportant une cavité à deux branches sensiblement parallèles 16A et 16B, la branche 16B étant plus large que la branche 16A. Sur la figure 1B, on a représenté une aube 10 comportant une cavité à deux branches sensiblement parallèles 16A et 16B, et sensiblement identiques. Il sera compris que la forme de la cavité 16 n'est pas limitative de l'invention.

[0026] L'aube 10 peut également comprendre plusieurs cavités, mais également des canaux destinés à amener le flux d'air F à l'intérieur de la cavité 16, et à l'en extraire.

[0027] A cet effet, comme l'illustrent de manière non limitative de l'invention les figures 1A et 1B par exemple, l'aube 10 peut comporter un canal d'alimentation 15 qui débouche à la base 13 de son pied 14, qui communique avec la cavité 16, et par lequel la cavité 16 est alimentée par un flux F d'air de refroidissement sous pression provenant d'une partie interne du rotor de la turbomachine.

[0028] A cet effet, l'aube 10 peut également comporter des canaux d'évacuation 17, qui communiquent avec la cavité 16, et qui débouchent dans un bord 19 de fuite de l'aube 10, par lesquels le flux d'air de refroidissement F est évacué de la cavité 16.

[0029] Le nombre des canaux 15 et 17 n'est pas non plus limitatif de l'invention.

[0030] Ainsi, la cavité interne 16 débouche dans une des faces ou parties de l'aube 10, c'est-à-dire soit dans le bord de fuite 19 de l'aube 10 par l'intermédiaire des canaux d'évacuation 17, soit dans une face inférieure 13 de son pied 14 par l'intermédiaire du canal d'alimentation

15.

[0031] On remarquera que, en variante des types d'aube 10 décrits en référence aux figures 1A et 1B, l'aube 10 pourrait comporter une cavité, connue sous le nom de baignoire, qui déboucherait dans son extrémité supérieure opposée à la face inférieure 13 du pied 14, et qui communiquerait avec sa cavité interne par l'intermédiaire d'orifices de sortie.

[0032] La circulation d'un flux d'air F à l'intérieur de la cavité 16 de l'aube 10 permet de refroidir l'aube 10 au cours de son fonctionnement, et est particulièrement avantageuse dans le cas d'aubes 10 de turbine qui sont tout particulièrement soumises à des gaz chauds à température élevée issus de la chambre de combustion de la turbomachine, et pour lesquelles un refroidissement est nécessaire afin d'éviter leur détérioration.

[0033] Une telle aube 10 est obtenue par un procédé de moulage à cire perdue, dont une première étape, représentée à la figure 2, consiste en la fabrication d'au moins un noyau 18. Sur la figure 2, on a représenté la fabrication d'un noyau 18 de forme complémentaire de la cavité 16 à obtenir, pour former ladite cavité 16 lors du moulage de l'aube 10.

[0034] Comme l'illustre la figure 2, le noyau 18 est généralement réalisé en un matériau céramique, et peut, à titre d'exemple et de manière non limitative de l'invention, être moulé dans un moule 20 en deux parties 22A, 22B qui forment des empreintes complémentaires des formes du noyau 18 à obtenir.

[0035] Une fois solidifié, le noyau 18 est extrait du moule 20. Il est alors assemblé avec d'autres noyaux destinés à former les canaux 15 et 17 précédemment mentionnés.

[0036] Il sera compris que la forme du noyau 18 qui a été représentée à la figure 2 n'est pas limitative de l'invention, et que notamment le noyau 18 pourrait comporter des formes destinées à former d'une seule pièce les canaux 15 et 17, de manière à n'utiliser qu'un seul et unique noyau pour le moulage de l'aube 10.

[0037] Puis, au cours d'une deuxième étape de fabrication de l'aube 10, comme représenté à la figure 3, on réalise un modèle 24 de l'aube 10 par injection de cire dans une presse dans laquelle on a préalablement disposé le noyau 18 précédemment évoqué.

[0038] Comme on peut le voir sur la figure 3, le noyau 18 comporte deux branches 18A, 18B, complémentaires des branches 16A, 16B de la cavité 16 à obtenir dans l'aube 10.

[0039] Au cours de cette deuxième étape de fabrication, on dispose dans un moule 25 comportant une partie 25A inférieure et une partie 25B supérieure le noyau 18 décrit précédemment, ainsi que des noyaux complémentaires des cavités formant les canaux 15 et 17 de l'aube 10, qui n'ont pas été représentés dans le plan de coupe de la figure 3.

[0040] Selon le maintien proposé par les parties 25A et 25B du moule 25, le noyau peut être maintenu entre les deux parties 25A et 25B du moule directement ou par l'intermédiaire de pions qui n'ont pas été représentés. La

cire 26 est alors injectée dans le moule 25 pour enrober le noyau 18.

[0041] On obtient alors, après ouverture des parties inférieure et supérieure du moule 25, un modèle 24 en cire incluant le noyau 18.

[0042] Puis, au cours d'une troisième étape de montage, on assemble plusieurs modèles 24 identiques obtenus de la même façon qu'à la deuxième étape de la figure 3, selon une grappe 28, comme représenté à la figure 4.

[0043] La grappe 28, représentée à la figure 4, comporte pour l'essentiel un tronc central 30 en cire et des branches 32 également en cire qui rayonnent à partir du tronc central 30 et qui sont chacune reliées à au moins un modèle 24 du type décrit précédemment. Le tronc 30 et les branches 32 sont destinés à créer des cavités permettant, après décirage et lors de la coulée du métal, l'acheminement du métal en fusion dans lesdites cavités.

[0044] Puis, au cours d'une quatrième étape de fabrication du procédé qui a été représentée à la figure 4, on fabrique un moule céramique 34 ou carapace destiné à recevoir la grappe 28 de modèles 24.

[0045] De préférence, le moule céramique 34 ou carapace est coulé autour de la grappe 28 de manière que la grappe 28 en cire soit intégralement emprisonnée dans le matériau céramique du moule 34. La carapace céramique 34 est issue de l'enrobage céramique consistant à déposer sur la grappe 28 ou arbre en cire une succession de couches de céramique.

[0046] Puis au cours d'une cinquième étape, le moule céramique 34 ou carapace est déciré, c'est-à-dire qu'après retrait de la cire ou décirage, on obtient à l'intérieur de la carapace des cavités correspondant à un volume en négatif de la grappe 28 ou arbre en cire.

[0047] Puis, au cours d'une sixième étape (non représentée) on réalise la coulée du métal dans le moule 34. Le métal en fusion chemine dans le moule en cheminant successivement dans les cavités précédemment occupées par le tronc 30, les branches 32, et les modèles 24 de l'arbre en cire, le métal en fusion occupant ainsi le volume libéré par le décirage.

[0048] A l'issue de cette opération, le métal a ainsi totalement occupé le volume des modèles 24 initialement en cire et il emprisonne les noyaux 18 des modèles 24.

[0049] Au cours d'une septième étape de refroidissement (non représentée), on laisse refroidir l'ensemble du moule 34 contenant la grappe 28 jusqu'à solidification complète du métal de coulée.

[0050] Puis, au cours d'une huitième étape de décochage de la carapace céramique, on détruit le moule céramique 34 ou carapace autour de la grappe 28. Cette destruction peut être mécanique et/ou chimique.

[0051] Le résultat obtenu est une grappe d'aubes 10 moulées qui sont alors séparées les unes des autres pour être soumises à des opérations de finition.

[0052] En particulier, les aubes 10 doivent être soumises à un procédé de décochage visant à éliminer pour chacune de ces aubes 10, les derniers résidus du moule

céramique 34 et le noyau 18.

[0053] L'élimination des résidus du moule céramique 34 ne pose pas de difficultés particulières. En effet, le moule 34 est agencé au contact de surfaces externes des aubes 10, et de ce fait la majeure partie du moule 10 est éliminée en une opération lorsqu'il est détruit autour de la grappe 28. Les quelques résidus du moule 34 susceptibles de demeurer au contact des aubes 10 peuvent être éliminés au cours des mêmes opérations qui vont être décrites en référence au procédé de décochage faisant l'objet de l'invention.

[0054] De manière connue, un procédé de décochage conventionnel d'un noyau 18 de fonderie emprisonné dans une cavité interne 16 d'une aube 10 à l'issue d'une opération de moulage telle que décrite précédemment, comporte au moins une étape primaire de décochage chimique, comme représentée à la figure 5, au cours de laquelle on soumet l'aube 10 à une solution chimique 36 permettant de dissoudre le noyau 18 dans une enceinte fermée 38.

[0055] Conventionnellement, on utilise pour ce faire une enceinte fermée 38 de type autoclave.

[0056] Sur la figure 5, on a représenté de manière schématique quatre aubes 10 en cours de traitement dans une enceinte autoclave 38 verticale. Cette configuration n'est bien entendu pas limitative, et au cours de cette étape primaire de décochage, un nombre supérieur d'aubes peut être traité, tout comme une enceinte autoclave 38 verticale, de capacité supérieure, peut être également utilisée.

[0057] Il sera par ailleurs compris que les caractéristiques techniques de l'enceinte autoclave 38 qui est décrite dans la suite de la présente description sont ici purement illustratives et ne sont pas limitatives des enceintes autoclaves pouvant être mises en oeuvre dans le cadre du procédé faisant l'objet de l'invention.

[0058] Pour l'essentiel, l'enceinte autoclave 38 comporte une cuve 56 qui est fermée de manière étanche par un couvercle 58, l'étanchéité étant assurée par un joint 60 qui est interposé entre la cuve 56 et le couvercle 58. Le couvercle est fixé à la cuve 56 par l'intermédiaire d'écrous à oreille basculants 62 qui permettent au couvercle de résister aux pressions élevées régnant à l'intérieur de la cuve 56.

[0059] A l'intérieur de la cuve 56 sont disposés des paniers 64 sur lesquels sont disposées les aubes 10 à traiter.

[0060] Une solution basique 36, notamment de soude, est disposée au fond de la cuve 56, qui est chauffée par l'intermédiaire d'un moyen de chauffage 68, par exemple une ou plusieurs résistances électriques.

[0061] La cuve 56 est par ailleurs soumise à une pression d'air comprimé de l'ordre de 4 à 20 Bars, qui est fournie par un conduit 70 débouchant dans la cuve 56, ledit conduit 70 étant relié à une source 72 d'air comprimé par l'intermédiaire d'un clapet anti-retour 74.

[0062] L'enceinte autoclave 38 comporte enfin un manomètre 76 permettant le contrôle de la pression dans

la cuve 56, ainsi qu'une soupape de sécurité 78 et un conduit de purge 80.

[0063] Au cours de l'étape primaire de décochage, on chauffe la cuve 56 de l'enceinte autoclave 38 de manière à vaporiser la solution basique 36 qui s'insinue sous pression dans les cavités des aubes 10 et provoque la dissolution des noyaux.

[0064] Une telle étape primaire de décochage est généralement insuffisante pour assurer un décochage parfait du noyau 18.

[0065] En effet, on a constaté qu'il subsistait généralement dans la cavité 16 de chaque aube 10 des résidus du noyau 18 amalgamés avec des traces de solution chimique 36, et ce, notamment dans des zones 40 de fond ou de recoin de la cavité 16 de l'aube 10, comme représenté aux figures 1A et 1B. Sur les figures 1A et 1B, les zones 40 de fond ou de recoin dans lesquelles subsistent des résidus du noyau 18 sont représentées à titre indicatif et non limitatif de l'invention, leur disposition dépendant des formes internes de la cavité 16.

[0066] Pour éliminer ces résidus, la cavité interne 16 de l'aube 10 est soumise à une injection d'eau sous une pression élevée, par exemple de l'ordre de 70 à 130 Bars.

[0067] L'étape primaire de décochage comporte ainsi cette étape d'injection d'eau, qui intervient après le passage des aubes 10 dans l'enceinte autoclave 38.

[0068] Cette injection d'eau permet en principe de nettoyer la surface interne de la cavité 16 de l'aube 10 et d'enlever la majeure partie des résidus céramiques demeurant dans la cavité 16.

[0069] Toutefois, on a constaté que même à l'aide d'une telle opération d'injection d'eau, des résidus de céramique et de solution basique mêlés l'un à l'autre peuvent subsister dans les zones de fond ou de recoin 40 de la cavité 16, du fait de la difficulté d'accès de l'eau sous pression à de telles zones de fond ou de recoin 40.

[0070] Or, il n'est pas possible d'augmenter la pression d'injection d'eau à l'intérieur de l'aube 10 sous risque de déformer ladite aube 10 et/ou de modifier ses caractéristiques mécaniques, ce qui la rendrait alors impropre à un traitement thermique ultérieur destiné à assurer sa résistance aux températures élevées des gaz au sein de la turbomachine à laquelle elle est destinée.

[0071] Il n'est par ailleurs pas non plus possible de répéter l'opération de décochage chimique du noyau 18, pour des raisons de procédures de fabrication visant à optimiser l'utilisation des enceintes autoclaves 38.

[0072] L'invention remédie à cet inconvénient en proposant un procédé de décochage comportant une nouvelle étape de décochage permettant d'assurer une élimination complète des résidus du noyau 18.

[0073] Dans ce but, comme l'illustre la figure 6, le procédé objet de l'invention comporte une étape secondaire de décochage par ultrasons au cours de laquelle l'aube 10 est soumise à des ultrasons pour décoller les résidus du noyau 18 des parois de la cavité 16.

[0074] Les ultrasons sont déjà utilisés dans le cadre d'autres procédés, notamment dans le cadre de procé-

dés d'usinage à grande vitesse dans le but de nettoyer les pièces. Les ultrasons permettent de soumettre les copeaux résultant de l'usinage à grande vitesse qui sont mêlés à du lubrifiant, à des vibrations qui permettent le décollement desdits copeaux.

[0075] De nombreux autres procédés mettent en oeuvre le nettoyage par ultrasons, plus particulièrement dans le cadre du nettoyage de pièces mécaniques.

[0076] L'invention propose avantageusement d'appliquer l'utilisation des ultrasons, jusqu'alors réservée au décollement de copeaux, au décollement des résidus de matériau céramique du noyau amalgamés dans une solution basique et adhérant aux parois internes des aubes 10, en les soumettant à des vibrations, propagées par ondes ultrasonores, qui permettent le décollement desdits résidus.

[0077] L'installation de mise en oeuvre du procédé selon l'invention comprend une seconde cuve 42 de bain à ultrasons contenant un panier ou support 72 destiné à recevoir les aubes 10 extraites de l'enceinte autoclave 38 précédemment décrite. La cuve 42 de bain à ultrasons contient de l'eau ou une solution aqueuse 44, comportant éventuellement un additif qui favorise la dissolution des noyaux, et elle est équipée d'au moins un transducteur 46 apte à générer des ultrasons à l'intérieur de la cuve 42.

[0078] Au cours de l'étape secondaire de décochage, l'aube 10 est intégralement immergée dans l'eau ou la solution 44 aqueuse contenue dans la cuve 42 à ultrasons.

[0079] La flèche U représente la direction de propagation des ultrasons à l'intérieur de la cuve 42. De préférence, l'aube 10 est soumise à des ultrasons orientés suivant une direction U parallèle à une direction C générale d'orientation de la cavité 16, ou transversalement par rapport à ladite direction générale d'orientation C de la cavité.

[0080] En effet, il est souhaitable que les ultrasons ne soient pas réfléchis aléatoirement par des parois verticales 54 de la cavité 16, telles qu'elles ont été représentées aux figures 1A et 1B, afin de ne pas être perturbées par des phénomènes de réflexion et d'interférences des ondes sonores sur lesdites parois verticales. En effet, une réflexion des ondes ultrasonores sur les parois verticales 54 selon un angle quelconque risquerait de favoriser la propagation d'ultrasons selon différentes directions du fait des réflexions successives, et par conséquent d'être source d'interférences qui perturberaient l'action des ultrasons.

[0081] Cette configuration est obtenue si la direction U de propagation des ultrasons est orientée parallèlement aux parois verticales 54 de la cavité interne 16 ou transversalement par rapport à celles-ci.

[0082] Sur la figure 6, on a représenté deux aubes 10 reposant verticalement sur le panier 72, dont les cavités (non représentées) présentent des orientations générales C de leurs cavités qui sont parallèles à la direction U de propagation des ultrasons.

[0083] Par ailleurs, pour favoriser la propagation des

ultrasons à l'intérieur de la cuve 42, le transducteur 46 est, de préférence, placé au fond et à une extrémité inférieure 48 de la cuve 42 de façon que les ultrasons soient émis vers l'extrémité supérieure 50 de la cuve 42, c'est-à-dire vers la surface 52 de l'eau ou de la solution aqueuse 44.

[0084] Ainsi, la direction U de propagation des ultrasons est orientée sensiblement parallèlement à la direction verticale V. Cette configuration permet avantageusement de limiter l'influence des phénomènes de réflexion des ultrasons émis par le transducteur 46 contre des parois 49 latérales de la cuve 42. En effet, une telle réflexion étant inévitable, les ondes sonores réfléchies par chaque paroi latérale 49 présentent une puissance amoindrie par rapport aux ondes émises par le transducteur 46. Ceci est dû d'une part, à un phénomène d'absorption par la paroi latérale 49 considérée de la cuve 42, et d'autre part aux interférences avec les ondes réfléchies par les autres parois de la cuve, et notamment par la paroi latérale opposée 49.

[0085] Il est avantageux que les ultrasons émis par le transducteur 46 soient émis suivant une direction U parallèle aux parois latérales 49 afin qu'ils pénètrent dans la cavité de l'aube 10 sans être réfléchis par les parois 49 de la cuve 46, c'est-à-dire suivant une direction U parallèle à la direction verticale V. Cette configuration n'est toutefois pas limitative de l'invention.

[0086] Aussi, dans le cas d'une aube 10 de turbomachine qui présente une forme générale allongée et pour laquelle la cavité 16 présente également une forme générale allongée, une configuration optimale peut être proposée pour la mise en oeuvre de l'étape secondaire, selon laquelle l'aube 10 est de préférence disposée dans la cuve 42 en orientant sa direction générale, et donc la direction générale de la cavité 16, selon la direction verticale V, correspondant avec la direction U d'émission des ondes ultrasonores, le transducteur 46 étant orienté de façon que les ultrasons soient émis vers la surface 52 de l'eau ou de la solution aqueuse 44.

[0087] Conformément à l'invention, mais de manière non limitative de celle-ci, des essais ont montré que les résultats optimaux sont obtenus pour une température de l'eau ou de la solution aqueuse 44 comprise entre 10 et 60°C, les ultrasons émis par le transducteur 46 étant émis de préférence sous une fréquence de 14 à 50 kHz et à une puissance de 500 à 1300W pendant une durée comprise entre 10 et 100 minutes. Les cuves à ultrasons utilisées en atelier de parachèvement possèdent des caractéristiques de fréquence d'environ 28kHz sous une puissance d'environ 900 W.

[0088] Bien entendu, il sera compris que cette étape secondaire peut intervenir immédiatement après une étape primaire de décochage sous solution basique, ou sous une étape primaire de décochage sous solution basique complétée par une injection d'eau sous pression, comme décrit précédemment.

[0089] Dans la grande majorité des cas, l'étape secondaire permet d'assurer un décochage complet de la pièce

10 sans détérioration de la matière de cette pièce. Cette étape secondaire est d'une grande facilité de mise en oeuvre, et peut à ce titre être appliquée dans le cadre d'un traitement en grande série des pièces 10 par le procédé. En outre, cette étape nécessaire ne nécessite pas d'investissements onéreux. Le procédé selon l'invention est donc économiquement très avantageux.

[0090] Enfin, avantageusement, le procédé de fabrication selon l'invention peut comporter une étape supplémentaire de finition réalisée par exemple à l'aide d'un centre d'usinage à grande vitesse, ladite étape comprenant un contrôle non destructif de l'aube 10.

[0091] L'invention propose donc un procédé de décochage particulièrement avantageux d'une cavité 16 d'une aube 10 de turbomachine, et plus généralement, un procédé de fabrication d'une aube 10 de turbomachine permettant un décochage rapide des noyaux 18 céramiques de fonderie par cire perdue qui ne nécessite pas l'occupation prolongée des enceintes autoclaves 38 de décochage par un même lot d'aubes 10, et qui ne présente pas de risques de déformation des aubes 10.

Revendications

1. Procédé de décochage d'un noyau (18) de fonderie emprisonné dans une cavité interne (16) d'une pièce (10) à l'issue d'une opération de moulage, notamment une opération de moulage à cire perdue, comportant au moins une étape primaire de décochage chimique au cours de laquelle on soumet la pièce (10) à une solution chimique (36) de dissolution du noyau (18), dans une enceinte fermée (38) ou autoclave, **caractérisé en ce qu'il** comporte une étape secondaire de décochage par ultrasons au cours de laquelle la pièce (10) est immergée et soumise à des ultrasons dans de l'eau ou une solution aqueuse (44) contenue dans une cuve à ultrasons (42), pour décoller des résidus de noyau (18) de parois (40) de la cavité (16).
2. Procédé de décochage selon la revendication précédente, **caractérisé en ce que**, au cours de l'étape secondaire, la pièce (10) est soumise à des ultrasons dont la direction de propagation est orientée suivant une direction générale (C) d'orientation de la cavité, et/ou transversalement par rapport à ladite direction générale d'orientation (C) de la cavité (16).
3. Procédé de décochage selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que**, au cours de l'étape secondaire, les ultrasons sont émis au moins par un transducteur (46) placé de préférence au fond de la cuve (42), de façon à ce que les ultrasons soient émis vers la surface de l'eau ou de la solution aqueuse (44).
4. Procédé de décochage selon l'une des revendica-

tions 1 à 3, **caractérisé en ce qu'il** est adapté au décochage d'au moins un noyau (18) d'au moins une pièce (10) de forme générale allongée orientée suivant une direction générale et **en ce que**, au cours de l'étape secondaire, ladite au moins une pièce est disposée dans la cuve à ultrasons (42) en orientant sa direction d'orientation générale selon la direction verticale (V).

5. Procédé de décochage selon l'une des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce que**, au cours de l'étape secondaire, la température de la solution est comprise entre 10 à 60°C, et les ultrasons sont émis sous une fréquence de 14 à 50 kHz et à une puissance de 500 à 1300 W, pendant une durée de 10 à 100 minutes.
6. Procédé de décochage selon l'une des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce que**, au cours de l'étape primaire de décochage, on dispose la pièce (10) dans une enceinte autoclave (38) soumise à une pression d'air comprimé de 4 à 20 bars et contenant une solution basique (36).
7. Procédé de décochage selon la revendication précédente, **caractérisé en ce que**, au cours de l'étape primaire de décochage, à l'issue du traitement de la pièce dans la solution basique, on soumet la cavité (16) de la pièce (10) à une injection d'eau sous une pression de 70 à 130 bars.
8. Procédé de fabrication par moulage à cire perdue d'une pièce (10) de fonderie comportant au moins une cavité interne (16) débouchant sur une de ses faces (13, 19), **caractérisé en ce qu'il** comporte au moins :
 - une étape de fabrication d'un noyau (18) en matériau céramique, destiné à former au moins une cavité (16) dans la pièce finie (10),
 - une étape de fabrication d'un modèle (24) en cire perdue au cours de laquelle on réalise un modèle de la pièce par injection de cire (26) dans une presse et au cours de laquelle on inclut le noyau (18) dans ledit modèle (24),
 - une étape de montage en grappe (28) de plusieurs modèles (24) réalisés par répétition de la deuxième étape,
 - une étape de fabrication d'un moule céramique ou carapace (34) et de placement de la grappe (28) de modèles (24) dans ledit moule (34),
 - une étape de coulée du métal dans le moule (34),
 - une étape de refroidissement,
 - une étape de décochage de la carapace, et
 - les étapes du procédé de décochage selon l'une des revendications précédentes,

le procédé comprenant éventuellement une étape supplémentaire de finition, notamment par usinage grande vitesse, et de contrôle non destructif de la pièce (10).

9. Installation de mise en oeuvre du procédé de décochage selon l'une des revendications 1 à 7, **caractérisée en ce qu'elle** comprend :

- une première cuve fermée (56) ou enceinte autoclave (38), contenant une solution, de préférence basique, de dissolution chimique d'un noyau (18) de fonderie, et
- une seconde cuve (42) de bain à ultrasons, contenant de l'eau ou une solution aqueuse (44) comportant éventuellement un additif, la seconde cuve (42) étant équipée d'au moins un transducteur (46).

Patentansprüche

1. Verfahren zum Ausschlagen eines Gießkerns (18), eingeschlossen in einem inneren Hohlraum (16) eines Teils (10) nach einem Formbetrieb, insbesondere eines Formbetriebs durch Wachsausschmelzen, mindestens einen Primärschritt zum chemischen Ausschlagen beinhaltend, im Laufe dessen das Teil (10) einer chemischen Lösung (36) zum Auflösen des Kerns (18) in einem geschlossenen Behälter (38) oder Autoklav unterzogen wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** es einen Sekundärschritt zum Ausschlagen durch Ultraschall beinhaltet, im Laufe dessen das Teil (10) in Wasser oder eine wässrige Lösung (44), die in einem Ultraschalltank (42) enthalten ist, eingetaucht wird und, Ultraschall ausgesetzt wird, um Rückstände des Kerns (18) von den Wänden (40) des Hohlraums (16) abzulösen.
2. Verfahren zum Ausschlagen nach dem vorstehenden Anspruch, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Teil (10) im Laufe des Sekundärschritts Ultraschall unterzogen wird, dessen Ausbreitungsrichtung gemäß einer allgemeinen Ausrichtungsrichtung (C) des Hohlraums ausgerichtet ist, und/oder quer in Bezug auf die allgemeine Ausrichtungsrichtung (C) des Hohlraums (16).
3. Verfahren zum Ausschlagen nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Ultraschall im Laufe des Sekundärschritts mindestens durch einen Wandler (46) emittiert wird, der vorzugsweise am Boden des Tanks (42) platziert ist, sodass der Ultraschall zur Oberfläche des Wassers oder der wässrigen Lösung (44) hin emittiert wird.
4. Verfahren zum Ausschlagen nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass**

es zum Ausschlagen mindestens eines Kerns (18) mindestens eines Teils (10) von einer allgemeinen länglichen Form, ausgerichtet gemäß einer allgemeinen Richtung geeignet ist, und dadurch, dass das mindestens eine Teil im Laufe des Sekundärschritts im Ultraschalltank (42) angeordnet ist, wobei seine allgemeine Ausrichtungsrichtung nach der vertikalen Richtung (V) ausgerichtet wird.

5. Verfahren zum Ausschlagen nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Temperatur der Lösung im Laufe des Sekundärschritts zwischen 10 bis 60 °C enthalten ist, und der Ultraschall bei einer Frequenz von 14 bis 50 kHz und bei einer Leistung von 500 bis 1300 W, während einer Dauer von 10 bis 100 Minuten emittiert wird.
6. Verfahren zum Ausschlagen nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Teil (10) im Laufe des Primärschritts des Ausschlagens in einem Autoklavbehälter (38) angeordnet wird, der einem Druckluftdruck von 4 bis 20 bar unterzogen wird und eine basische Lösung (36) enthält.
7. Verfahren zum Ausschlagen nach dem vorstehenden Anspruch, **dadurch gekennzeichnet, dass** während des Primärschritts des Ausschlagens, nach der Verarbeitung des Teils in der basischen Lösung, der Hohlraum (16) des Teils (10) einem Einspritzen von Wasser unter einem Druck von 70 bis 130 bar unterzogen wird.
8. Verfahren zur Herstellung durch Formen durch Wachsauerschmelzen eines Gießteils (10), mindestens einen inneren Hohlraum (16) beinhaltend, der auf eine seiner Flächen (13, 19) mündet, **dadurch gekennzeichnet, dass** es mindestens beinhaltet:
 - einen Schritt zum Herstellen eines Kerns (18) aus keramischem Material, dazu bestimmt, mindestens einen Hohlraum (16) im fertigen Teil (10) zu bilden,
 - einen Schritt zum Herstellen eines Modells (24) aus auszuerschmelzendem Wachs, im Laufe dessen ein Modell des Teils durch Einspritzen von Wachs (26) in eine Presse realisiert wird und im Laufe dessen der Kern (18) in das Modell (24) eingeschlossen wird,
 - einen Schritt zum Zusammensetzen zu einer Gießtraube (28) von mehreren Modellen (24), die durch Wiederholen des zweiten Schritts realisiert werden,
 - einen Schritt zum Herstellen einer keramischen Form oder Maske (34) und eines Platzierens der Gießtraube (28) der Modelle (24) in die Form (34),
 - einen Schritt zum Gießen des Metalls in die

Form (34),

- einen Schritt zum Abkühlen,
- einen Schritt zum Ausschlagen der Maske, und
- die Schritte des Verfahrens zum Ausschlagen nach einem der vorstehenden Ansprüche,

wobei das Verfahren eventuell einen zusätzlichen Schritt zur Endbearbeitung, insbesondere durch Hochgeschwindigkeitsbearbeitung, und zur zerstörungsfreien Prüfung des Teils (10) umfasst.

9. Anlage zum Umsetzen des Verfahrens zum Ausschlagen nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die umfasst:

- einen ersten geschlossenen Tank (56) oder einen Autoklavbehälter (38), eine vorzugsweise basische Lösung zum chemischen Auflösen eines Gießkerns (18) enthaltend, und
- einen zweiten Tank (42) für ein Ultraschallbad, Wasser oder eine wässrige Lösung (44), eventuell ein Additiv beinhaltend, enthaltend, wobei der zweite Tank (42) mit mindestens einem Wandler (46) ausgestattet ist.

Claims

1. Method for knocking out a foundry core (18) trapped inside an inner cavity (16) of a part (10) coming from a moulding operation, in particular a lost-wax moulding operation, comprising at least one primary step of chemical knock-out during which the part (10) is exposed to a chemical solution (36) for dissolving the core (18), in a closed enclosure (38) or autoclave, **characterised in that** it comprises a secondary step of knock-out by ultrasound during which the part (10) is immersed and subjected to ultrasounds in water or an aqueous solution (44) contained in an ultrasound tank (42), to strip core residue (18) from the walls (40) of the cavity (16).
2. Knocking out method according to the preceding claim, **characterised in that**, during the secondary step, the part (10) is subjected to ultrasounds, the direction of propagation of which is oriented along a general direction (C) of orientation of the cavity, and/or transversally with respect to said general direction of orientation (C) of the cavity (16).
3. Knocking out method according to claim 1 or 2, **characterised in that**, during the secondary step, the ultrasounds are emitted at least by a transducer (46) placed preferably at the bottom of the tank (42), such that the ultrasounds are emitted towards the surface of the water or of the aqueous solution (44).
4. Knocking out method according to one of claims 1

to 3, **characterised in that** it is suitable for knocking out at least one core (18) from at least one part (10) having a generally elongated shape oriented along a general direction and **in that**, during the secondary step, said at least one part is arranged in the ultrasound tank (42) by orienting the general direction thereof in the vertical direction (V).

5. Knocking out method according to one of claims 1 to 4, **characterised in that**, during the secondary step, the temperature of the solution is between 10 to 60°C, and the ultrasounds are emitted at a frequency of 14 to 50kHz and at a power of 500 to 1300W, for a duration of 10 to 100 minutes. 5
6. Knocking out method according to one of claims 1 to 5, **characterised in that**, during the primary knocking out step, the part (10) is arranged in an autoclave enclosure (38) subjected to an air pressure between 4 to 20 bars and containing a basic solution (36). 10
7. Knocking out method according to the preceding claim, **characterised in that**, during the primary knocking out step, coming from the treatment of the part in the basic solution, the cavity (16) of the part (10) is subjected to an injection of water under a pressure of 70 to 130 bars. 15
8. Method for manufacturing by lost-wax moulding of a foundry part (10) comprising at least one inner cavity (16) opening onto one of the faces (13, 19) thereof, **characterised in that** it comprises at least: 20
 - one step of manufacturing a core (18) made of ceramic material, intended to form at least one cavity (16) in the finished part (10), 25
 - one step of manufacturing a model (24) with lost wax during which a model of the part is carried out by injection of wax (26) in a press and during which the core (18) is included in said model (24), 30
 - one step of mounting as a cluster (28) of several models (24) carried out via repeating the second step, 35
 - one step of manufacturing a ceramic mould or shell (34) and of placing the cluster (28) of models (24) in said mould (34), 40
 - one step of casting metal in the mould (34), 45
 - one cooling step, 50
 - one step of knocking out the shell, and
 - the steps of the knocking out method according to one of the preceding claims,

the method optionally comprising an additional finishing step, in particular by high-speed machining, and a non-destructive testing of the part (10). 55

9. Installation for implementing the knocking out method according to one of claims 1 to 7, **characterised in that** it comprises:

- a first closed tank (56) or autoclave enclosure (38), containing a solution, preferably basic, for the chemical dissolution of a foundry core (18), and
- a second tank (42) with an ultrasound bath, containing water or an aqueous solution (44) that optionally comprises an additive, with the second tank (42) being provided with at least one transducer (46).

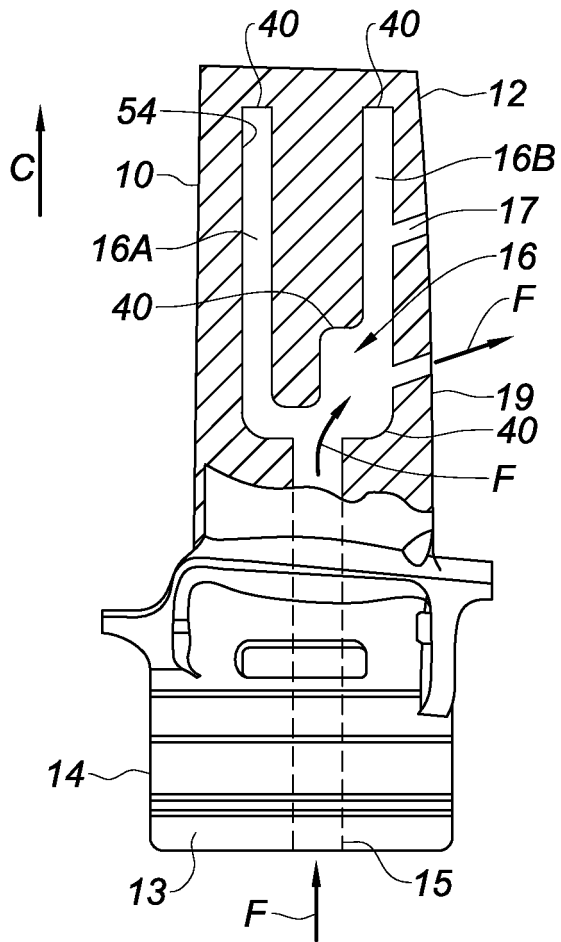


Fig. 1a

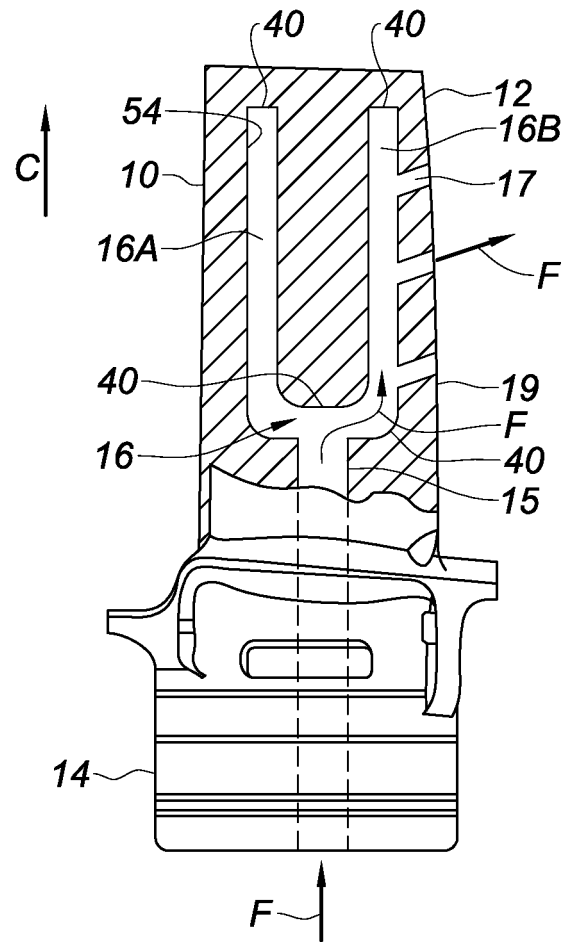


Fig. 1B

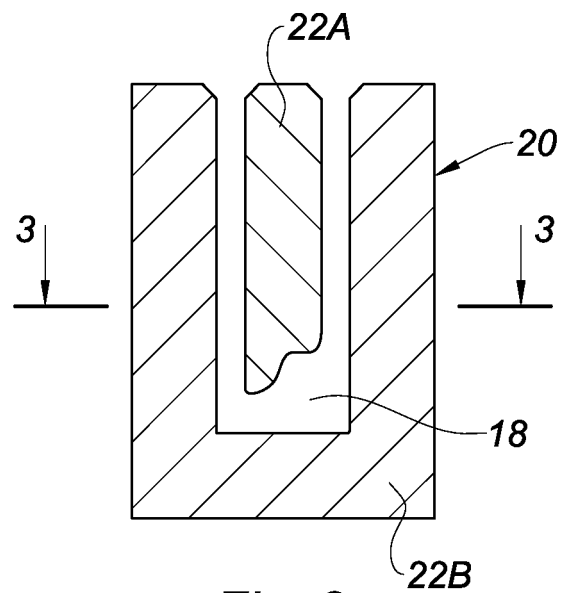


Fig. 2

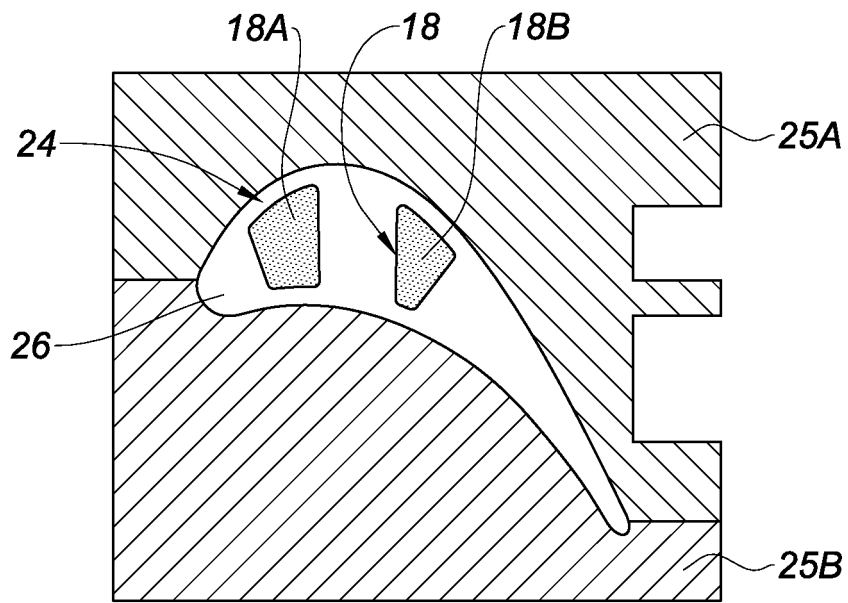


Fig. 3

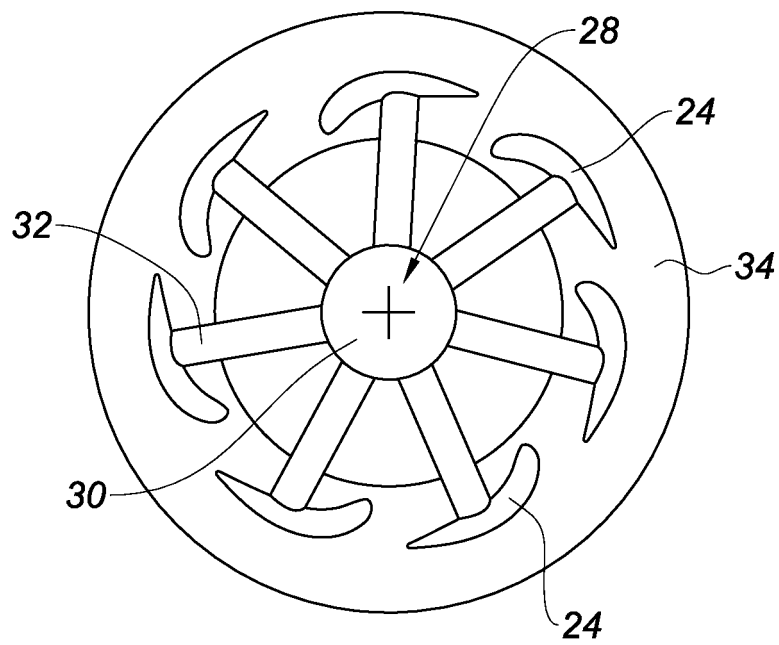


Fig. 4

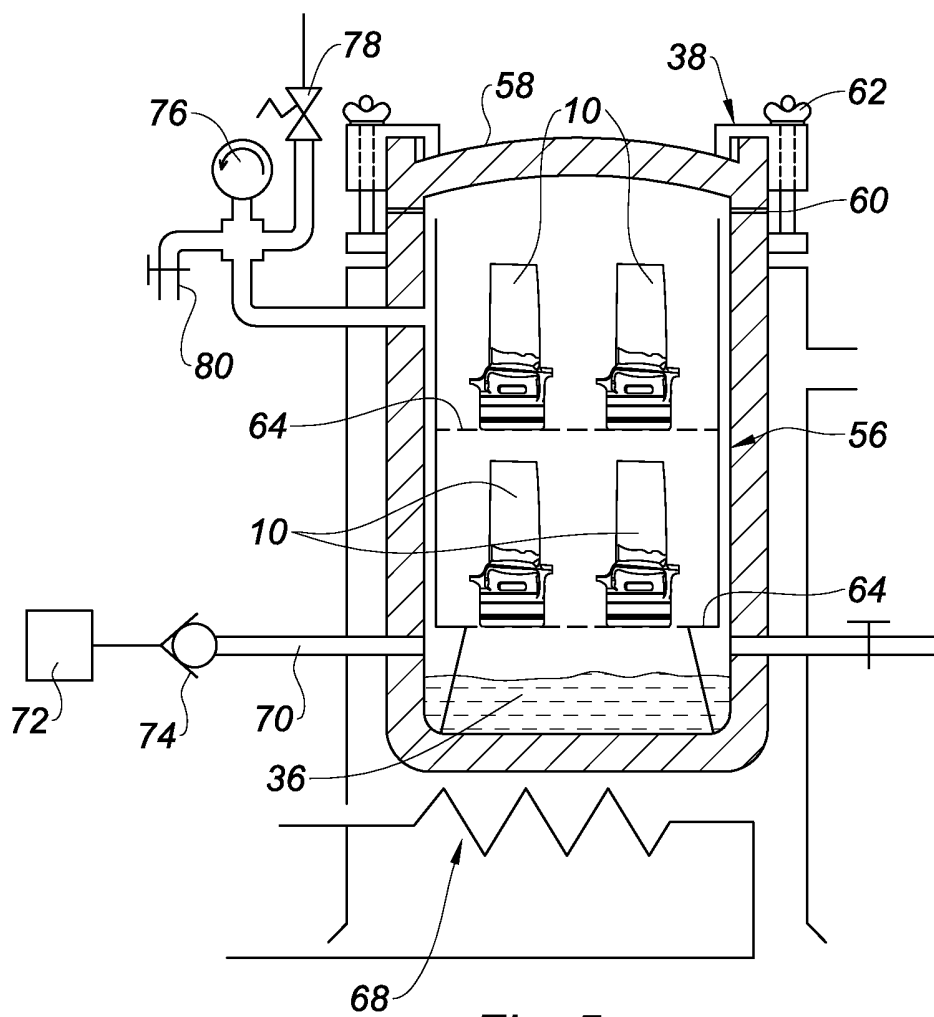


Fig. 5

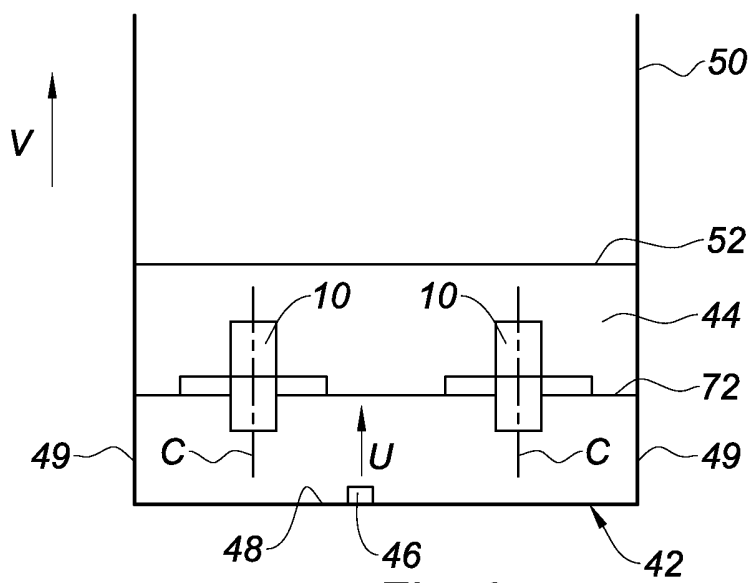


Fig. 6

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.

Documents brevets cités dans la description

- EP 1710029 A2 [0005] [0007]
- DE 102013003303 A1 [0006]