

(19)



(11)

EP 3 645 191 B1

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:
03.11.2021 Bulletin 2021/44

(51) Int Cl.:
B22C 9/04 (2006.01) B22D 27/04 (2006.01)
B22C 9/12 (2006.01) B22D 21/02 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **18749852.2**

(86) Numéro de dépôt international:
PCT/FR2018/051617

(22) Date de dépôt: **29.06.2018**

(87) Numéro de publication internationale:
WO 2019/002797 (03.01.2019 Gazette 2019/01)

(54) PROCEDE DE FONDERIE AVEC COULEE EN MOULE CHAUD

GIESSVERFAHREN MIT HEISSFORMGIESSEN

FOUNDRIY PROCESS WITH HOT MOLD CASTING

(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

- **TENNE, Serge**
77550 Moissy-Cramayel (FR)
- **COYEZ, Dominique**
77550 Moissy-Cramayel (FR)

(30) Priorité: **29.06.2017 FR 1755990**

(74) Mandataire: **Cabinet Beau de Loménie**
158, rue de l'Université
75340 Paris Cedex 07 (FR)

(43) Date de publication de la demande:
06.05.2020 Bulletin 2020/19

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

(56) Documents cités:
EP-A2- 2 727 669 WO-A1-2016/125575
GB-A- 2 102 317 JP-A- H08 174 145
JP-A- 2013 252 566 US-A- 3 981 344
US-A- 5 072 771

(72) Inventeurs:
• **FARGEAS, Serge Alain**
77550 Moissy-Cramayel (FR)

EP 3 645 191 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

Arrière-plan de l'invention

[0001] La présente invention concerne le domaine de la fonderie du métal. On entend par « métal », dans le présent contexte, tant des métaux purs que des alliages métalliques.

[0002] Avec les procédés de fonderie connus, comportant au moins une étape de coulée d'un métal à l'état liquide dans un moule, suivie du refroidissement et de la solidification du métal dans le moule avant le démoulage du métal solidifié, on peut rencontrer des défauts, en particulier lors de la production de pièces avec des parties particulièrement fines, comme par exemple les bords de fuite des aubes de turbomachine. En effet, la différence de température entre le métal et le moule au moment de la coulée peut provoquer un refroidissement et une solidification prématurés d'une partie du métal aux passages les plus étroits de la cavité de moulage, pouvant provoquer des criques, vides ou autres défauts dans la pièce ainsi moulée.

[0003] Afin de réduire le choc thermique au moment de la coulée, il a été proposé de procéder à une première étape de préchauffage du moule dans un four dédié. Toutefois, l'utilisation d'un tel four de préchauffage dédié impose l'extraction du moule du four de préchauffage et son transport vers l'endroit de la coulée. Pendant cette extraction et ce transport, le moule commence à refroidir, ce qui accroît à nouveau la possibilité de défauts. En outre, ces opérations supplémentaires avec un moule chaud compliquent le procédé de fonderie et exigent du temps et de l'espace additionnels, tout en augmentant aussi les risques d'accidents du travail.

[0004] La publication de demande de brevet EP 2 727 669 A2 et les brevets US 5,072,771 et US 3,981,344 divulguent des procédés de fonderie à grains équiaxes, tandis que la publication de demande de brevet WO 2016/125575 A1 divulgue un procédé de fonderie d'une pièce comportant des grains monoaxiaux et équiaxes.

Objet et résumé de l'invention

[0005] La présente divulgation vise à remédier à ces inconvénients, en proposant un procédé de fonderie qui permette d'éviter plus efficacement les défauts, tout en réduisant les déplacements du moule et en simplifiant le procédé.

[0006] Ce but est atteint grâce au fait que, après le préchauffage du moule jusqu'à une première température, la coulée d'un métal à l'état liquide, à une deuxième température supérieure à la première température et, par exemple, au moins égale à 1250°C, est effectuée dans le moule maintenu dans un four principal à la première température depuis le préchauffage, l'écart entre la première et la deuxième température n'étant pas supérieur à 170°C, et de préférence pas supérieur à 100°C, voire 80°C, et que le refroidissement et solidification du métal en grains équiaxes dans le moule s'effectue alors que le moule est maintenu dans le four principal à une pression inférieure à 0,1 Pa au moins depuis la coulée, avec un taux de refroidissement du four inférieur ou égal à 7°C/min, avant l'extraction du moule du four principal.

[0007] Grâce à ces dispositions, le choc thermique de la coulée est réduit et la vitesse de refroidissement du métal est ensuite restreinte, limitant ainsi le risque de défauts dus à une solidification prématurée du métal aux passages les plus étroits de la cavité de moulage, tout en limitant aussi les déplacements du moule et le nombre d'opérations du procédé.

[0008] Un tel refroidissement contrôlé permet d'éviter l'apparition de criques et autres défauts similaires, en particulier provoqués par les différents taux de contraction thermique du métal et du matériau du moule.

[0009] Ce procédé est bien applicable aux alliages métalliques traditionnels polycristallins équiaxes qui forment, à l'état solide, une pluralité de grains de taille sensiblement identique, typiquement de l'ordre de 1 mm, mais d'orientation plus ou moins aléatoire.

[0010] Afin de restreindre la durée d'occupation du four principal par le moule, et ainsi augmenter la cadence de production, l'étape de préchauffage du moule peut être effectuée au moins en partie dans un four de préchauffage différent du four principal.

[0011] Le moule peut notamment être un moule carapace formé autour d'une cavité de moulage, par exemple par le procédé dit à cire perdue ou modèle perdu. Dans ce cas, afin d'éviter de manière encore plus efficace la formation de défauts dans la pièce issue de ce procédé, au moins une première partie du moule autour de la cavité de moulage peut présenter une épaisseur de paroi inférieure à une deuxième partie du moule autour de la cavité de moulage. En particulier, quand le moule est formé par une pluralité de couches superposées, comme le sont en général les moules carapaces formés en trempant plusieurs fois un modèle dans un bain de barbotine, la deuxième partie du moule peut présenter un plus grand nombre de couches que la première partie du moule. En modulant ainsi l'épaisseur de paroi du moule, notamment en fonction de l'épaisseur de la cavité au même endroit, il est possible d'éviter que les différents taux de contraction thermique du métal et du matériau du moule causent des contraintes mécaniques excessives sur le métal lors de son refroidissement et solidification, contraintes qui pourraient provoquer l'apparition de criques et autres défauts similaires. Une réduction locale de l'épaisseur de paroi du moule, en particulier autour des parties les plus vulnérables du métal dans la cavité de moulage, permet de réduire les contraintes que le moule peut transmettre à ces endroits au

métal sous-jacent, lors de leur refroidissement.

[0012] Afin d'éviter une solidification prématurée du métal pendant la coulée, celle-ci peut avoir une durée inférieure à 2 secondes, voire égale ou inférieure à 1 seconde.

[0013] Ce procédé de fonderie peut notamment être utilisé pour former, avec le métal solidifié, des pièces avec des parties particulièrement fines comme par exemple au moins une aube de turbomachine.

Brève description des dessins

[0014] L'invention sera bien comprise et ses avantages apparaîtront mieux, à la lecture de la description détaillée qui suit, d'un mode de réalisation représenté à titre d'exemple non limitatif. La description se réfère aux dessins annexés sur lesquels :

- la figure 1 illustre une grappe de modèles en cire créée dans une première étape d'un procédé de fonderie suivant un premier mode de réalisation de l'invention ;
- les figures 2A et 2B illustrent deux étapes suivantes du procédé, dans lesquelles la grappe est plongée entièrement dans un bain de barbotine et ensuite saupoudrée pour former une couche d'un moule carapace ;
- les figures 3A et 3B illustrent deux étapes suivantes du procédé, dans lesquelles la grappe est plongée partiellement dans le bain de barbotine et ensuite saupoudrée pour former une couche supplémentaire du moule carapace ;
- la figure 4 illustre une étape suivante de cuisson du moule carapace ;
- la figure 5A illustre le moule carapace après cuisson ;
- la figure 5B illustre le moule carapace de la figure 5A après l'adjonction d'un écran thermique
- les figures 6A, 6B et 6C illustrent des étapes consécutives de préchauffage du moule carapace, coulée, et refroidissement contrôlé, effectuées dans un même four principal ;
- la figure 7 illustre une étape finale de démoulage ;
- la figure 8 illustre une étape de préchauffage suivant un mode de réalisation alternatif, dans lequel le moule est initialement préchauffé dans un four de préchauffage avant d'être introduit dans un four principal, différent du four de préchauffage, dans lequel sont effectuées les étapes de coulée et refroidissement contrôlé.

Description détaillée de l'invention

[0015] Une première étape d'un procédé de fonderie suivant un premier mode de réalisation de l'invention est la création d'une grappe non permanente 21 comprenant une pluralité de modèles 22 reliés par un arbre 23 soutenu par un plateau 19, comme celle illustrée sur la figure 1. Les parties de l'arbre 23 destinées à former des volumes creux dans le moule 1 sont formées en une matière à basse température de fusion, comme une cire ou résine de modelage, tandis que d'autres parties de l'arbre 23, formant des raidisseurs, peuvent être en matériau réfractaire (hachuré sur la figure 1). Les modèles 22, qui vont former des cavités de moulage dans le moule, sont également formés en une matière à basse température de fusion. Lorsque la production de grands nombres de pièces est envisagée, il est notamment possible de produire ces éléments par injection de la cire ou résine de modelage dans un moule permanent. Dans le mode de réalisation illustré, destiné à la production d'aubes de turbomachine, les modèles 22 représentent des telles aubes, avec la tête d'aube orientée vers le bas.

[0016] Pour produire un moule, plus spécifiquement un moule carapace à partir de cette grappe non permanente 21, on procède au trempé de la grappe 21 dans une barbotine, pour ensuite la saupoudrer avec un sable réfractaire, c'est-à-dire des grains de matière réfractaire. Les matériaux utilisés pour la barbotine et le sable réfractaire, ainsi que la granulométrie du sable réfractaire peuvent être par exemple ceux divulgués dans les publications de demande de brevet français FR 2 870 147 A1 et FR 2 870 148 A1. Ainsi, la barbotine peut par exemple contenir des particules de matériaux céramiques, notamment en forme de farine, avec un liant colloïdal minéral et éventuellement des adjuvants en fonction de la rhéologie désirée pour la barbotine, tandis que le sable réfractaire peut également être céramique. Parmi les matériaux céramiques pouvant être considérés pour la barbotine et/ou le sable réfractaire, on compte l'alumine, la mullite et le zircon. Le liant colloïdal minéral peut être par exemple une solution colloïdale minérale base eau, telle que notamment la silice colloïdale. Les adjuvants peuvent comprendre un agent mouillant, un fluidifiant et/ou un texturant. Ces étapes de trempé et saupoudrage peuvent être répétées plusieurs fois, éventuellement avec des barbotines et sables différents, jusqu'à former une carapace de sable imprégné de barbotine d'une épaisseur souhaitée autour de la grappe 21.

[0017] Dans le procédé suivant ce premier mode de réalisation, on vise à produire un moule dans lequel au moins une première partie du moule présente, autour des cavités de moulage, une épaisseur de paroi inférieure à celle qu'une deuxième partie du moule présente autour des mêmes cavités de moulage. Plus spécifiquement, dans ce premier mode de réalisation, tel qu'illustré, on vise à obtenir des parois plus fines au niveau des têtes d'aubes qu'au niveau des pieds d'aubes. Pour obtenir cette différence d'épaisseur, après des trempés initiaux, illustrés dans la figure 2A, dans lesquels la grappe 21 est trempée entièrement dans la barbotine B, comme illustré sur la Fig. 2A, avant d'être saupoudrée de

sable comme illustré sur la Fig. 2B, on procède à des trempés partiels, illustrés sur la Fig. 3A dans lesquels la grappe 22 n'est plongée, inversée, que jusqu'à mi-hauteur d'aube avant d'être saupoudrée comme illustré sur la Fig. 3B. La partie supérieure de la carapace ainsi formée va donc comprendre un plus grand nombre de couches que sa partie inférieure. Alternativement, toutefois, il est également envisageable de commencer par les trempés partiels, et finir par les trempés intégraux : seulement l'ordre des couches changera, mais la distribution des épaisseurs de paroi restera la même. Il est également envisageable de procéder à des trempés à plus de deux niveaux différents.

[0018] La grappe 21 enrobée de cette carapace peut ensuite être chauffée, par exemple dans un autoclave à une température entre 160 et 180 °C et à une pression de 1 MPa, pour faire fondre et évacuer de l'intérieur de la carapace la matière à basse température de fusion de la grappe 21. Ensuite, dans une étape de cuisson à plus haute température, par exemple entre 900 et 1200°C, la barbotine se solidifie de manière à consolider le sable réfractaire pour former les parois réfractaires du moule 1, comme illustré sur la figure 4.

[0019] Le moule 1 ainsi formé, illustré aussi sur la figure 5A, est un moule carapace comportant un fût central 4 s'étendant, en direction de l'axe principal X, entre un godet de coulée 5 et une base 6 en forme de plateau.

[0020] Le moule 1 comprend aussi une pluralité de cavités de moulage 7 arrangées en grappe autour du fût central 4. Chaque cavité de moulage 7 est reliée au godet de coulée 5 par un canal d'amenée 8 au travers duquel le métal en fusion s'y est introduit lors de sa coulée. La base 6 du moule 1 est en forme de plateau. En outre, des raidisseurs 20 en forme de colonnes inclinées relient le sommet de chaque cavité de moulage 7 à celui du godet de coulée 5, et d'autres raidisseurs 30 en forme de colonnes verticales relient le fond de chaque cavité de moulage 7 à la base 6. A cause du plus grand nombre de couches de barbotine cuite et sable réfractaire dans la partie supérieure la du moule 1 par rapport à sa partie inférieure 1b, l'épaisseur d_a des parois de la partie supérieure la du moule 1 autour de chaque cavité de moulage 7 est plus grande que l'épaisseur d_b des parois de la partie inférieure 1b du moule 1 autour des mêmes cavités de moulage 7. Ainsi, l'épaisseur d_a peut être, par exemple, entre 2,5 et 9 mm, tandis que l'épaisseur d_b peut être, par exemple, entre 1,5 et 6 mm.

[0021] Par ailleurs, comme illustré sur la figure 5B, on peut ajouter à ce moule 1 au moins un écran thermique 40, par exemple en graphite, perpendiculaire à l'axe principal X, ainsi que des isolants réfractaires 50 localement situés dans des zones préférentielles du moule 1.

[0022] Dans ce premier mode de réalisation, avant de procéder à la coulée du métal à l'état liquide dans ce moule 1, on procède à une étape de préchauffage de ce moule 1, illustrée sur la figure 6A. Dans cette étape, après introduction du moule 1 dans un four principal 100, situé dans une chambre à vide 101 dans laquelle une pression p_v est maintenue égale ou inférieure à, par exemple, 0,1 Pa, le moule 1 est chauffé dans le four principal 100, qui atteint une première température T_1 . Ensuite, sans sortir le moule 1 du four principal 100, tout en maintenant le four principal 100 à la première température T_1 et à la pression p_v , on procède à la coulée du métal à l'état liquide dans le moule 1, comme illustré sur la figure 6B, de manière à remplir les volumes creux du moule 1, et en particulier ses cavités de moulage 7. Le métal est versé dans le moule à une deuxième température T_2 , supérieure à la première température T_1 . Toutefois, l'écart de température ΔT entre la deuxième température T_2 et la première température T_1 est limité, par exemple non supérieur à 170°C, voire 100°C, voire même 80°C. Ainsi, si le métal est, par exemple, un alliage équiaxe à base nickel de type René 77, avec un solidus à environ 1240°C et un liquidus à environ 1340 °C, la deuxième température T_2 peut être, par exemple, de 1450°C, et la première température T_1 être alors 1350°C, avec un écart ΔT non supérieur à 170°C. Ainsi, on évite un choc thermique excessif au métal fondu versé dans le moule 1, réduisant ainsi notamment le risque de solidification prématurée et intempestive du métal dans les passages les plus étroits du moule 1, solidification qui pourrait causer des blocages et des défauts locaux dans les pièces ainsi produites. La coulée du métal liquide est effectuée rapidement et complétée ainsi en un temps t_v , qui peut par exemple être d'environ 2 secondes, voire une seule seconde.

[0023] Dans l'étape suivante, illustrée sur la figure 6C, le moule 1 est encore maintenu dans le four principal 100 pendant une première étape de refroidissement et solidification du métal dans le moule 1, dans laquelle la pression p_v est maintenue et le taux de refroidissement dT/dt du four est contrôlé et limité, par exemple, à environ 7°C/min maximum. La pression p_v , proche du vide, régnant à l'intérieur du four principal 100 permet de restreindre, voire supprimer, tout refroidissement convectif du moule 1, de telle manière que le refroidissement du moule 1 pendant cette étape soit essentiellement radiatif, et donc plus facile à réguler à l'intérieur du four principal 100. Par ailleurs, l'écran thermique 40 permet de diviser l'intérieur du four principal 100 en deux zones thermiquement indépendantes, pour assurer un refroidissement plus homogène du moule 1 et du métal à l'intérieur de celui-ci. La limite supérieure au taux de refroidissement permet de limiter également les efforts exercés sur le métal par la différence de contraction thermique entre le moule 1 et le métal qui refroidit. Que, autour des cavités de moulage 7, l'épaisseur d_b des parois de la partie inférieure 1b du moule 1 soit inférieure à l'épaisseur d_a des parois de la partie supérieure la du moule 1 permet également de limiter ces efforts sur le métal dans les parties les plus étroites des cavités de moulage 7, qui sont celles correspondant aux têtes d'aube, en particulier à proximité du bord de fuite. Les parois plus étroites du moule 1 à ces endroits céderont sous les contraintes, plutôt que le métal. Ainsi, des éventuelles criques se formeront dans le moule 1, plutôt que dans le métal.

[0024] Dans ce premier mode de réalisation, comme l'alliage René 77 est un alliage polycristallin équiaxe, le métal formera, lors de sa solidification, une pluralité de grains de taille sensiblement identique, typiquement de l'ordre de 1

mm, mais d'orientation plus ou moins aléatoire.

[0025] Après la solidification du métal dans le moule 1, quand le moule 1 a suffisamment refroidi, jusqu'à atteindre une troisième température T_3 de, par exemple, de 800°C à 900°C, il est possible de le retirer du four principal 100 et de la chambre à vide 101, dans une étape d'extraction, pour qu'il continue ensuite à refroidir naturellement à pression et température ambiantes normales après avoir été placé sous une cloche isolante entourée de tissu réfractaire, jusqu'à l'étape de décochage de la carapace, illustrée sur la figure 7, dans laquelle le moule est détruit pour en retirer le métal solidifié, comprenant les aubes 200 de turbomachine ainsi formées, sur lequel des étapes subséquentes de découpage et finition pourront ensuite être effectuées.

[0026] Grâce à la réduction des efforts thermiques sur le métal dans ce procédé de fonderie, il se révèle possible de produire des pièces, notamment des aubes, tournantes ou directrices, de turbomachine, particulièrement fines. Ainsi, sur le tableau ci-dessous, des dimensions d'aube pouvant être atteintes avec un procédé de fonderie conventionnel sont comparées avec celles atteintes avec le procédé de ce premier mode de réalisation sur base du même matériau :

Dimension	Procédé avec préchauffage jusqu'à T_1 et refroidissement à p_v	Exemple comparatif
Hauteur du pied d'aube à la tête d'aube	160 - 190 mm	160 mm
Longueur de corde	25 - 40 mm	25 - 30mm
Epaisseur à 1 mm du bord de fuite	0,25 - 0,45 mm	0,5 - 0,6 mm
Epaisseur maximale du profil d'aube	1 - 2 mm	1,8 - 3mm

[0027] Bien que, dans le premier mode de réalisation décrit ci-dessus l'étape de préchauffage du moule 1 s'effectue intégralement dans le four principal 100, il est également envisageable d'effectuer ce préchauffage, en partie ou intégralement, dans un four de préchauffage différent, avant d'introduire le moule dans le four principal, de manière à réduire la durée de temps que le moule va occuper le four principal, et ainsi augmenter la cadence de production.

[0028] Ainsi, comme illustré sur la Fig. 8, dans un procédé de fonderie suivant un deuxième mode de réalisation, le moule 1, qui peut être équivalent à celui de la Fig. 5, et produit par des étapes analogues à celles des Figs. 1 à 4, peut être introduit dans un four de préchauffage 200, qui peut être à pression atmosphérique normale à l'extérieur de la chambre de vide 101, pour être initialement préchauffé jusqu'à une température de préchauffage T_0 , inférieure ou égale à la première température T_1 , avant d'être transféré au four principal 100, où il peut être encore chauffé pour atteindre et/ou maintenir le moule 1 à la première température T_1 , jusqu'à l'étape de coulée du métal, qui peut être aussi analogue à celle du premier mode de réalisation, tout comme les étapes subséquentes.

[0029] Quoique la présente invention ait été décrite en se référant à un exemple de réalisation spécifique, il est évident que des différentes modifications et changements peuvent être effectués sans sortir de la portée générale de l'invention telle que définie par les revendications. Par conséquent, la description et les dessins doivent être considérés dans un sens illustratif plutôt que restrictif.

Revendications

1. Procédé de fonderie comprenant les étapes suivantes :

préchauffage d'un moule (1) jusqu'à une première température ;
coulée d'un métal à l'état liquide, à une deuxième température supérieure à la première température, dans le moule maintenu dans un four principal (100) à la première température depuis le préchauffage, l'écart entre la première et la deuxième température n'étant pas supérieur à 170°C ;
refroidissement et solidification du métal en grains équiaxes, dans le moule (1) maintenu dans le four principal (100) à une pression inférieure à 0,1 Pa au moins depuis la coulée, avec un taux de refroidissement du four (100) inférieur ou égal à 7°C/min ;
extraction du moule (1) du four principal (100) ; et
démoulage du métal solidifié en grains équiaxes.

2. Procédé de fonderie suivant la revendication 1, dans lequel l'écart entre la première température et la deuxième température n'est pas supérieur à 100°C.

3. Procédé de fonderie suivant la revendication 2, dans lequel l'écart entre la première température et la deuxième température n'est pas supérieur à 80°C.
- 5 4. Procédé de fonderie suivant l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel l'étape de préchauffage du moule (1) est effectuée au moins en partie dans un four de préchauffage (X) différent du four principal (100).
5. Procédé de fonderie suivant l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le moule (1) est un moule carapace formé autour d'une cavité de moulage (7).
- 10 6. Procédé de fonderie suivant la revendication 5, dans lequel au moins une première partie du moule (1) autour de la cavité de moulage (7) présente une épaisseur de paroi (d_b) inférieure à une épaisseur de paroi (d_a) d'une deuxième partie du moule (1) autour de la cavité de moulage (7).
- 15 7. Procédé de fonderie suivant la revendication 6, dans lequel le moule (1) est formé par une pluralité de couches superposées, et la deuxième partie du moule (1) présente un plus grand nombre de couches que la première partie du moule (1).
8. Procédé de fonderie suivant l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'étape de coulée a une durée inférieure à 2 secondes.
- 20 9. Procédé de fonderie suivant l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la deuxième température est au moins égale à 1450 °C et inférieure à 1480°C.
- 25 10. Procédé de fonderie suivant l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le métal solidifié forme au moins une aube de turbomachine.

Patentansprüche

- 30 1. Gießverfahren, das die folgenden Schritte umfasst:

Vorwärmen einer Form (1) bis auf eine erste Temperatur;
Gießen eines Metalls in flüssigem Zustand in einer zweiten Temperatur über der ersten Temperatur in die Form, die in einem Hauptofen (100) ab dem Vorwärmen auf der ersten Temperatur gehalten wird, wobei der Abstand
35 zwischen der ersten und der zweiten Temperatur nicht größer als 170 °C ist;
Abkühlen und Verfestigen des Metalls zu gleichachsigen Körnern, in der Form (1), die im Hauptofen (100) bei einem Druck unter 0,1 Pa mindestens ab dem Gießen gehalten wird, mit einer Abkühlungsrate des Ofens (100) von unter oder gleich 7 °C/min;
Herausnehmen der Form (1) aus dem Hauptofen (100); und
40 Lösen des zu gleichachsigen Körnern verfestigten Metalls aus der Form.
2. Gießverfahren nach Anspruch 1, wobei der Abstand zwischen der ersten Temperatur und der zweiten Temperatur nicht größer als 100 °C ist.
- 45 3. Gießverfahren nach Anspruch 2, wobei der Abstand zwischen der ersten Temperatur und der zweiten Temperatur nicht größer als 80 °C ist.
4. Gießverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei der Schritt des Vorwärmens der Form (1) mindestens teilweise in einem Vorwärmofen (X) durchgeführt wird, der sich vom Hauptofen (100) unterscheidet.
- 50 5. Gießverfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die Form (1) eine um einen Formhohlraum (7) gebildete Schalenform ist.
6. Gießverfahren nach Anspruch 5, wobei mindestens ein erster Teil der Form (1) um den Formhohlraum (7) eine Wanddicke (d_b) unter einer Wanddicke (d_a) eines zweiten Teils der Form (1) um den Formhohlraum (7) aufweist.
- 55 7. Gießverfahren nach Anspruch 6, wobei die Form (1) von einer Vielzahl übereinanderliegender Schichten gebildet ist, und der zweite Teil der Form (1) eine größere Anzahl von Schichten als der erste Teil der Form (1) aufweist.

8. Gießverfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei der Schritt des Gießens eine Dauer von weniger als 2 Sekunden hat.
9. Gießverfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die zweite Temperatur mindestens gleich 1450 °C und unter 1480 °C beträgt.
10. Gießverfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei das verfestigte Metall mindestens eine Turbomaschinenschaufel bildet.

Claims

1. A foundry process comprising the following steps:

preheating of a mold (1) to a first temperature;
casting of a metal in the liquid state, at a second temperature higher than the first temperature, in the mold held in a main furnace (100) at the first temperature since preheating, the difference between the first and second temperatures being not more than 170°C;
cooling and solidification of the metal into equiaxed grains, in the mold (1) held in the main furnace (100) at a pressure below 0.1 Pa at least since casting, with a cooling rate of the furnace (100) lower than or equal to 7°C/min; extraction of the mold (1) from the main furnace (100); and demolding of the metal solidified into equiaxed grains.

2. The foundry process as claimed in claim 1, wherein the difference between the first temperature and the second temperature is not more than 100°C.

3. The foundry process as claimed in claim 2, wherein the difference between the first temperature and the second temperature is not more than 80°C.

4. The foundry process as claimed in any one of claims 1 to 4, wherein the step of preheating of the mold (1) is performed at least in part in a preheating furnace (X) different from the main furnace (100).

5. The foundry process as claimed in any one of the preceding claims, wherein the mold (1) is a shell mold formed around a mold cavity (7).

6. The foundry process as claimed in claim 7, wherein at least a first part of the mold (1) around the mold cavity (7) has a wall thickness (d_b) less than a wall thickness (d_a) of a second part of the mold (1) around the mold cavity (7).

7. The foundry process as claimed in claim 8, wherein the mold (1) is formed by a plurality of superposed layers, and the second part of the mold (1) has a greater number of layers than the first part of the mold (1).

8. The foundry process as claimed in any one of the preceding claims, wherein the casting step has a duration of less than 2 seconds.

9. The foundry process as claimed in any one of the preceding claims, wherein the second temperature is at least 1450°C and less than 1480°C.

10. The foundry process as claimed in any one of the preceding claims, wherein the solidified metal forms at least one gas turbine blade.

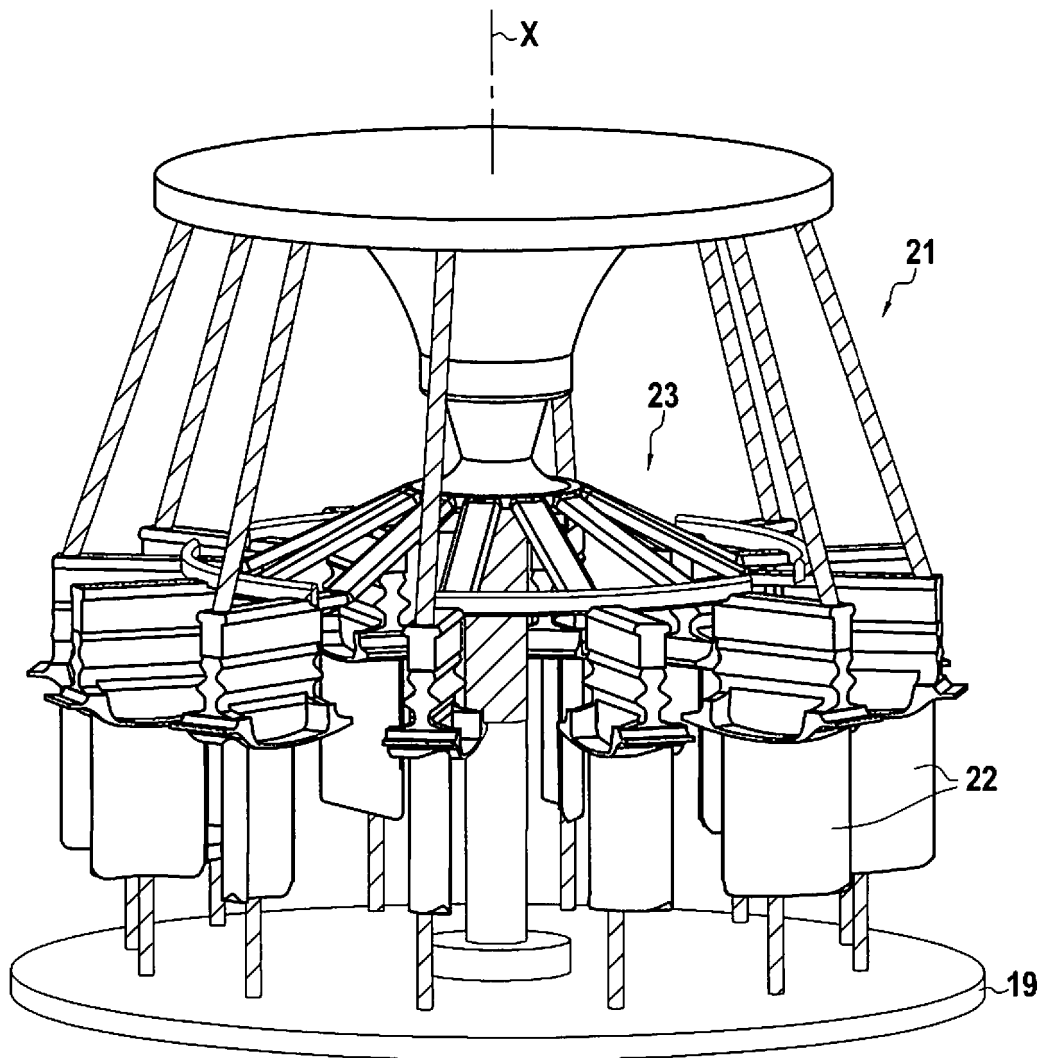


FIG.1

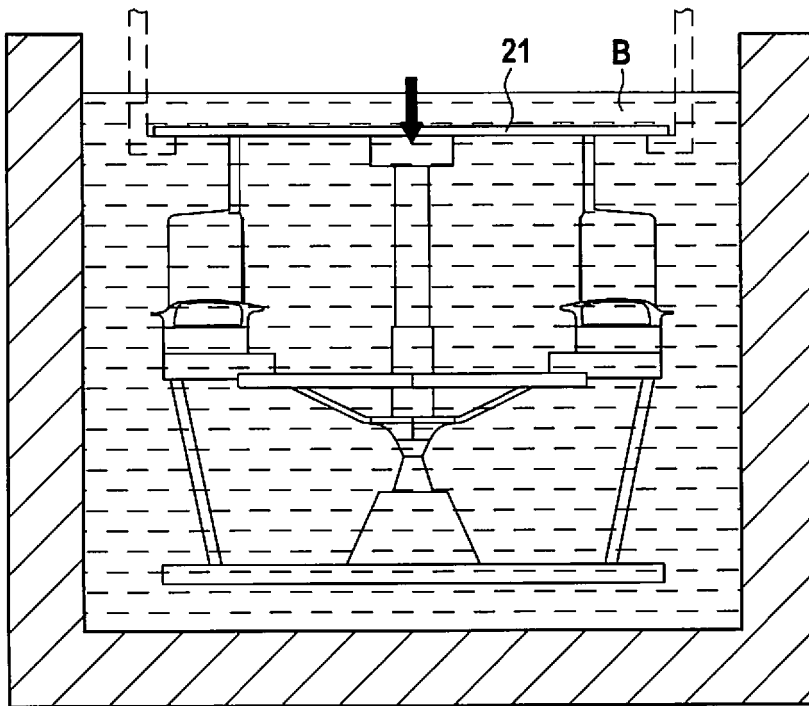


FIG. 2A

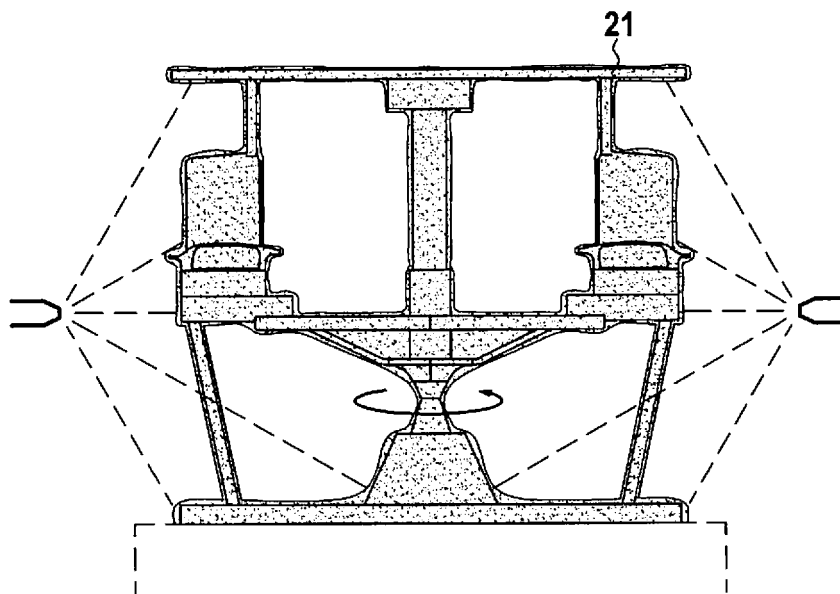


FIG. 2B

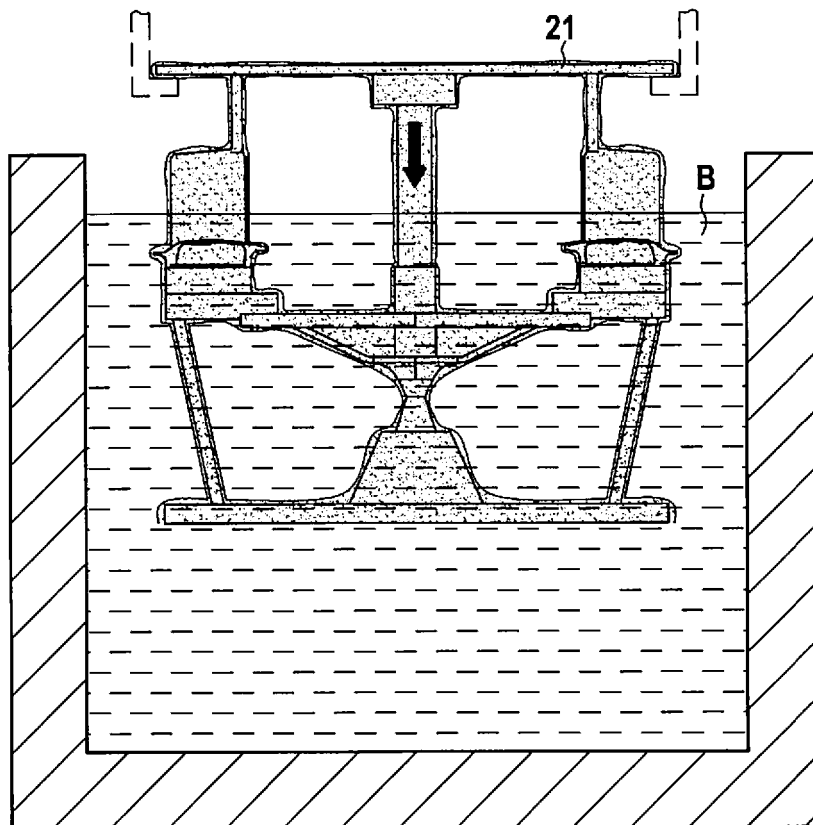


FIG. 3A

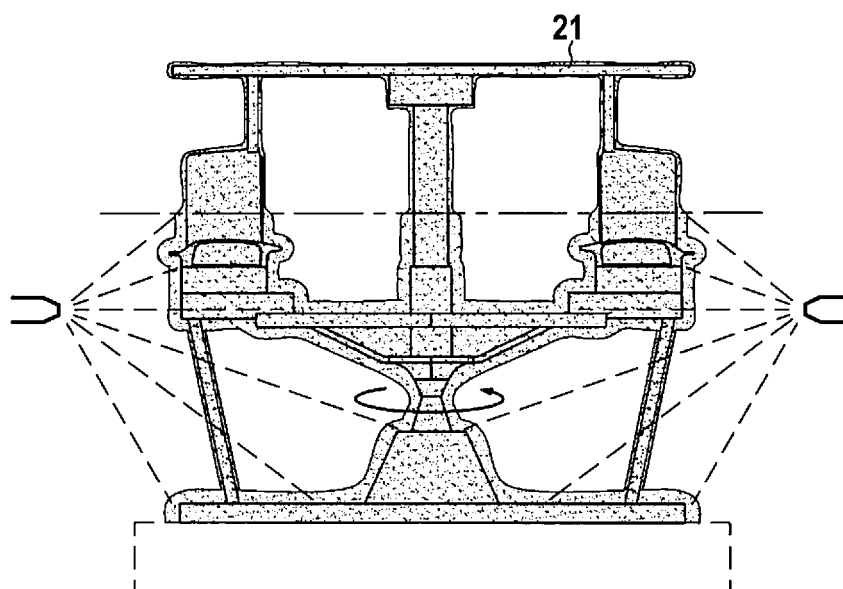


FIG. 3B

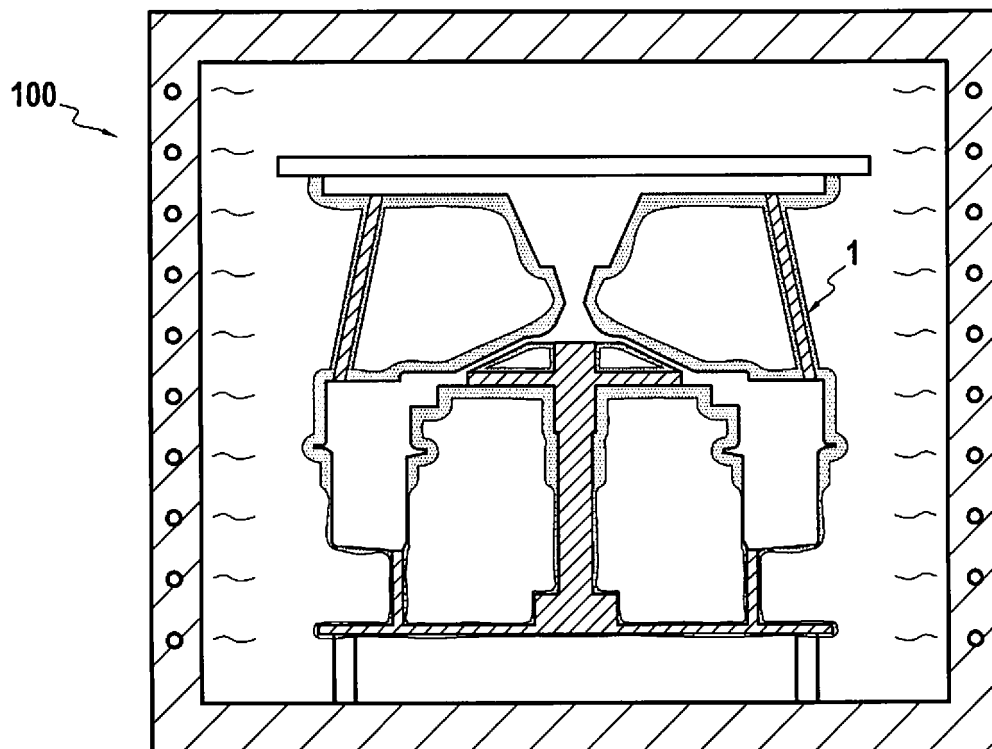


FIG.4

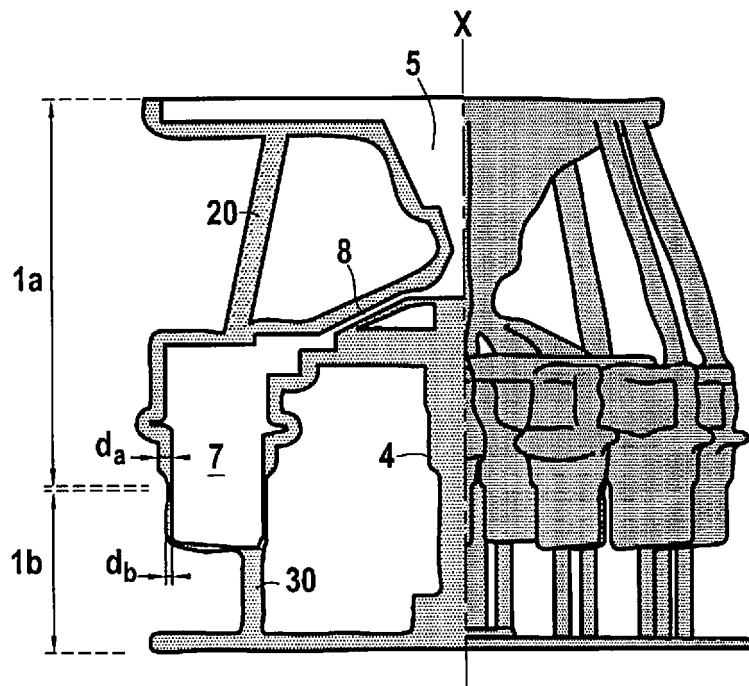


FIG. 5A

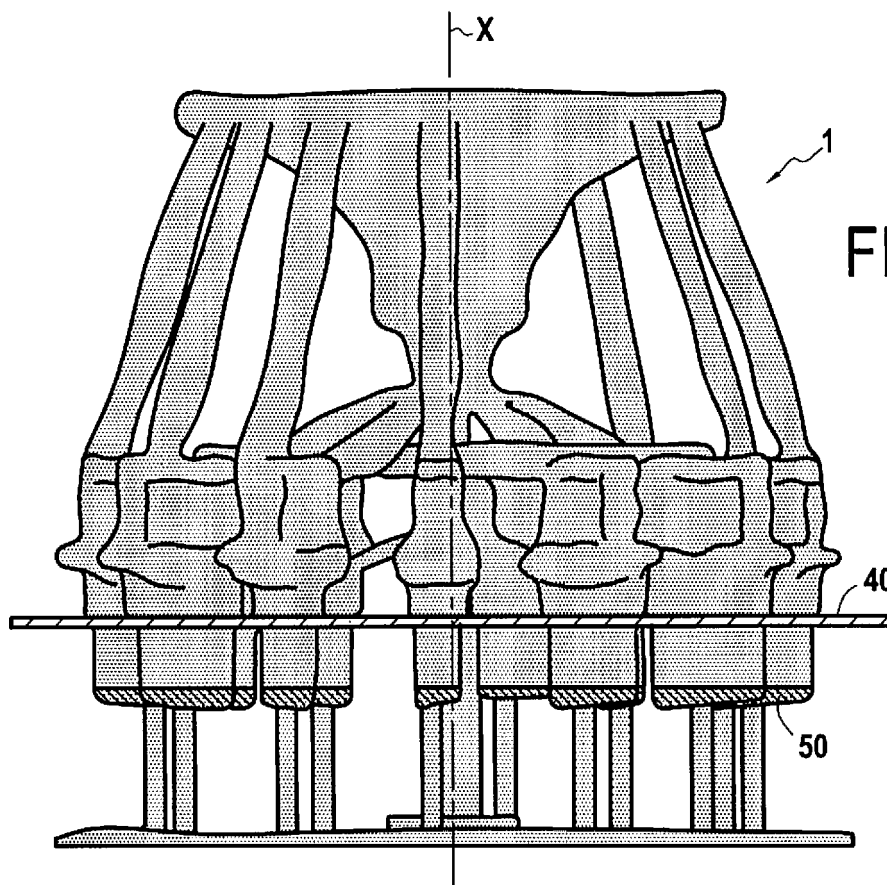


FIG. 5B

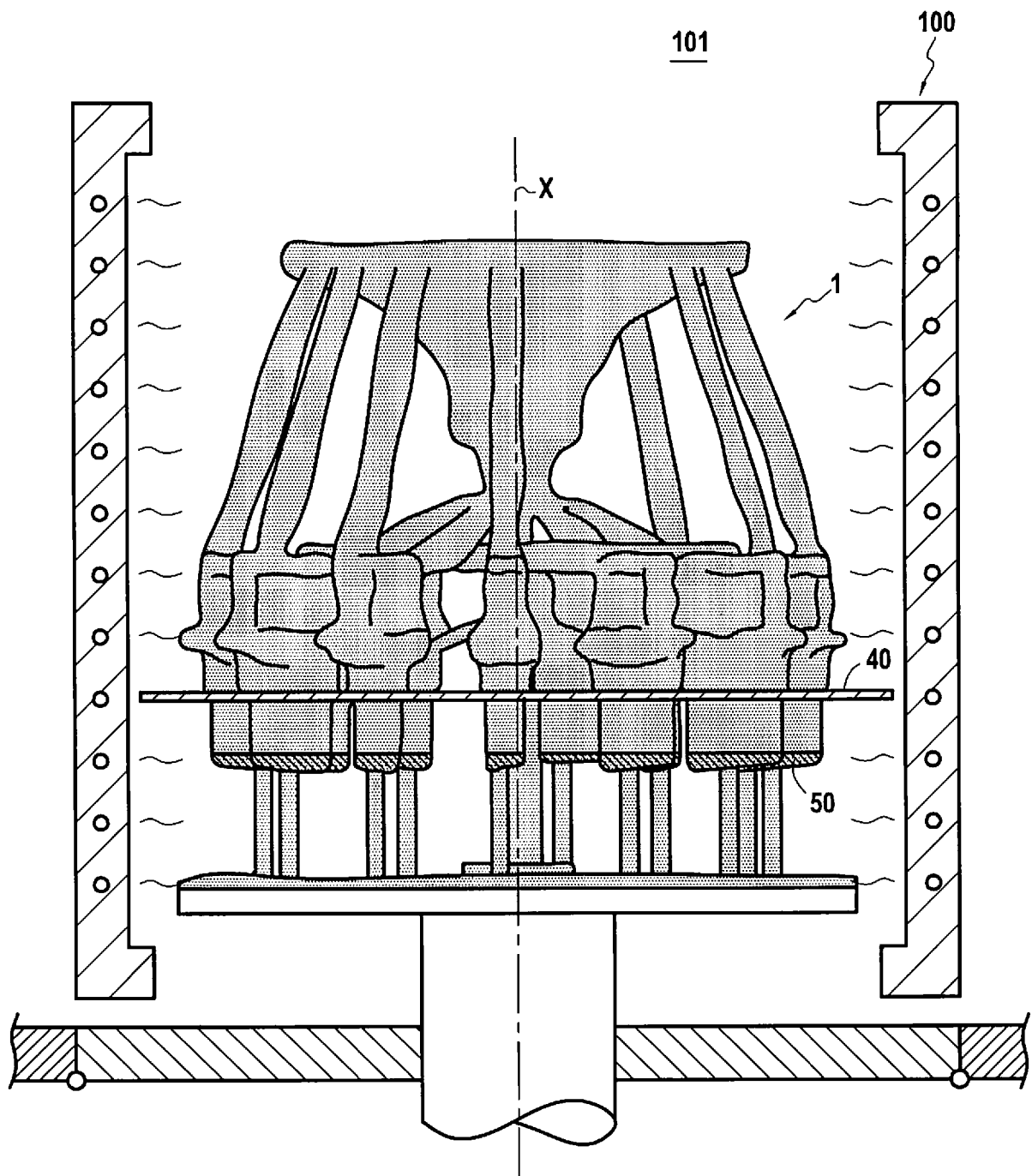


FIG.6A

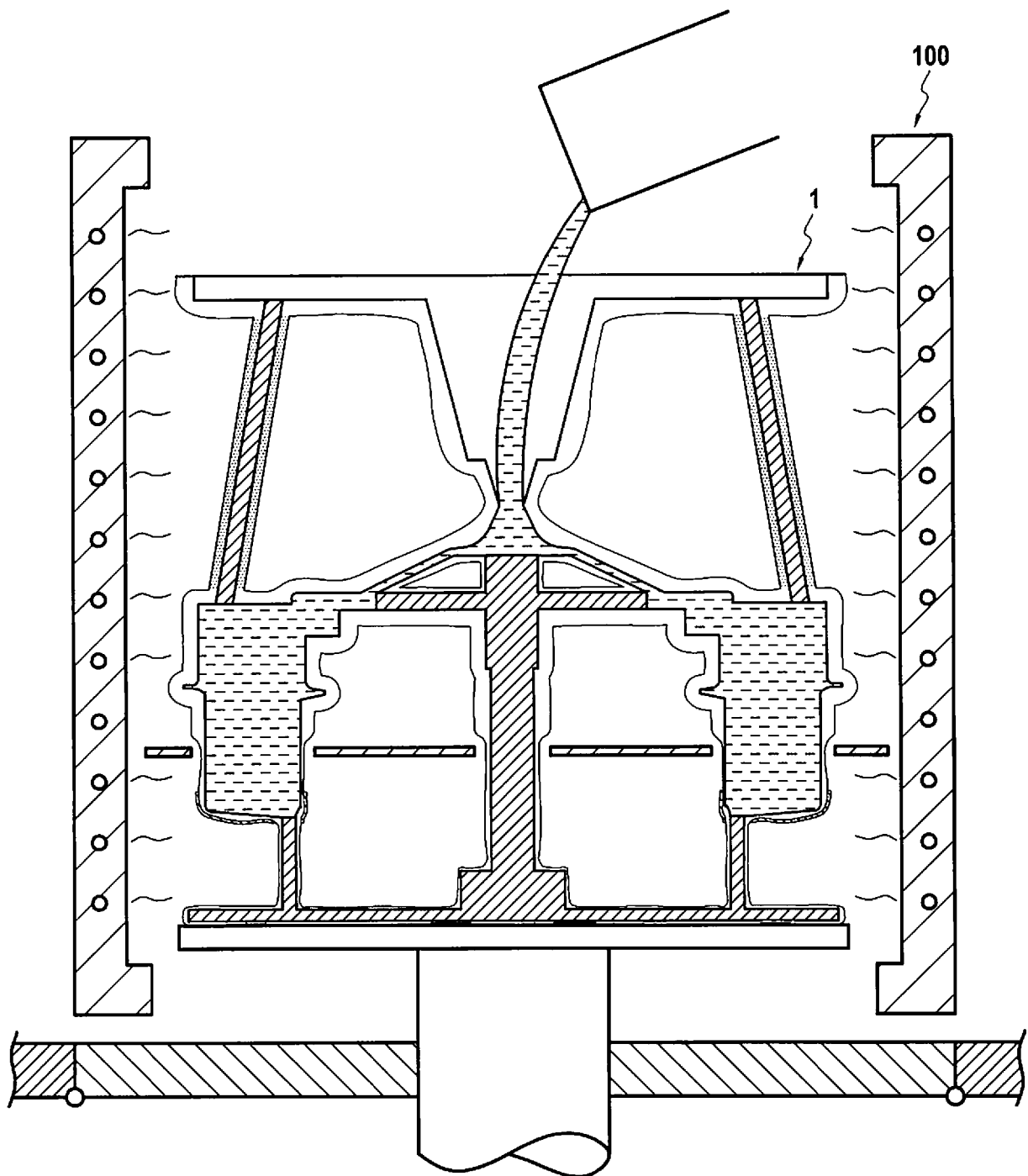


FIG.6B

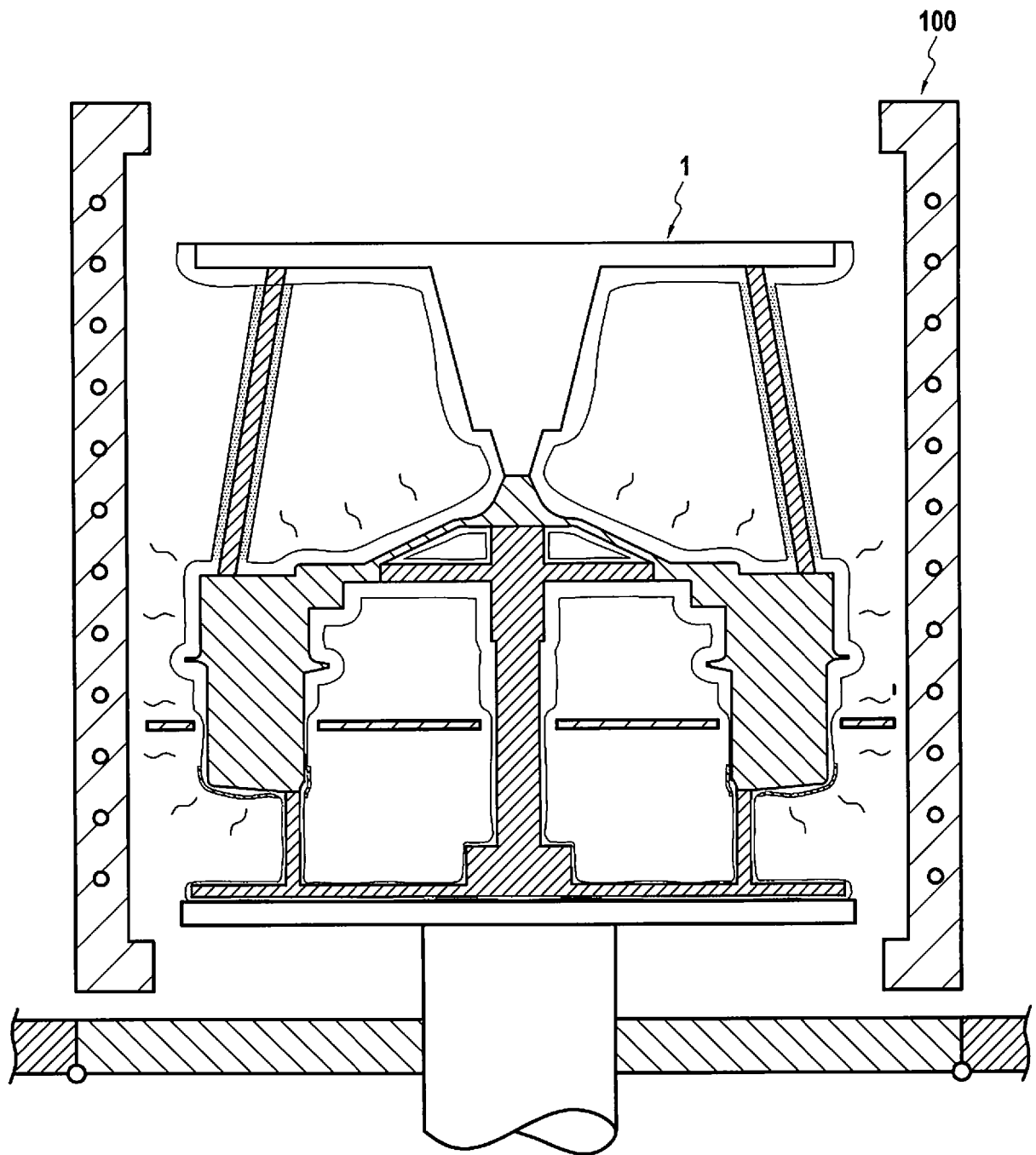


FIG.6C

FIG.7

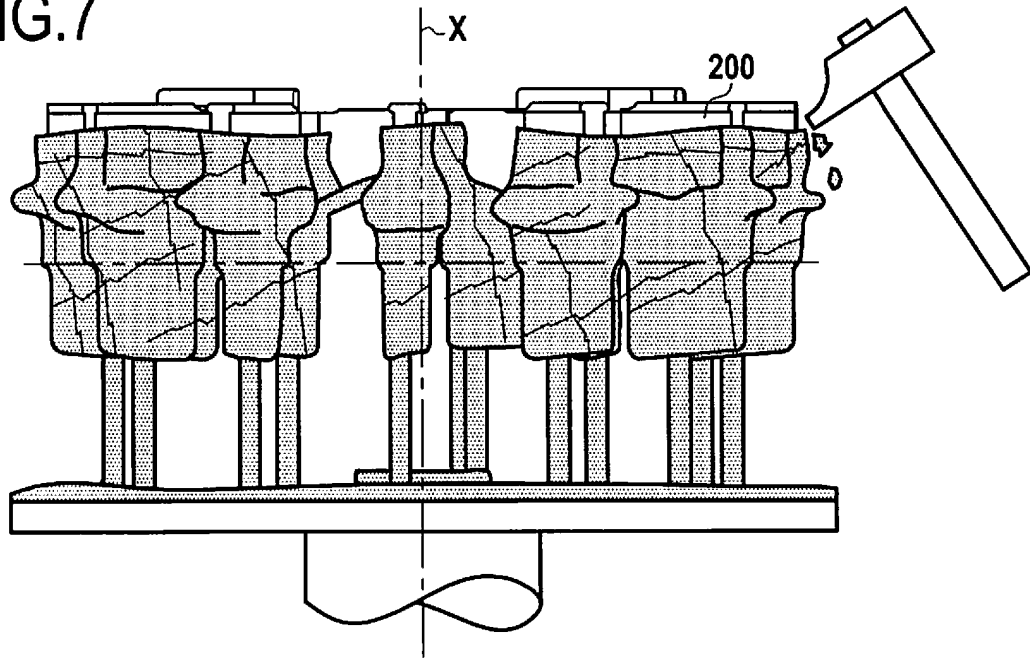
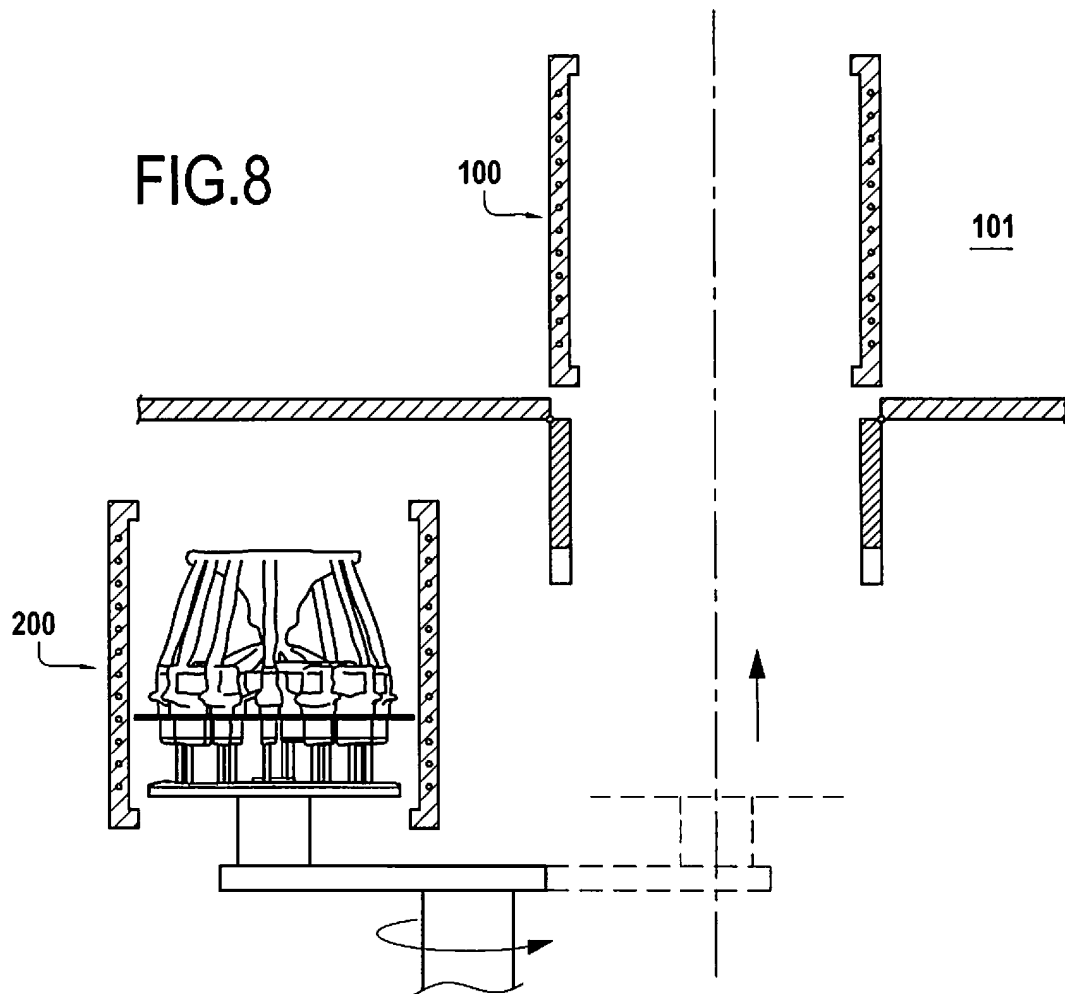


FIG.8



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 2727669 A2 [0004]
- US 5072771 A [0004]
- US 3981344 A [0004]
- WO 2016125575 A1 [0004]
- FR 2870147 A1 [0016]
- FR 2870148 A1 [0016]