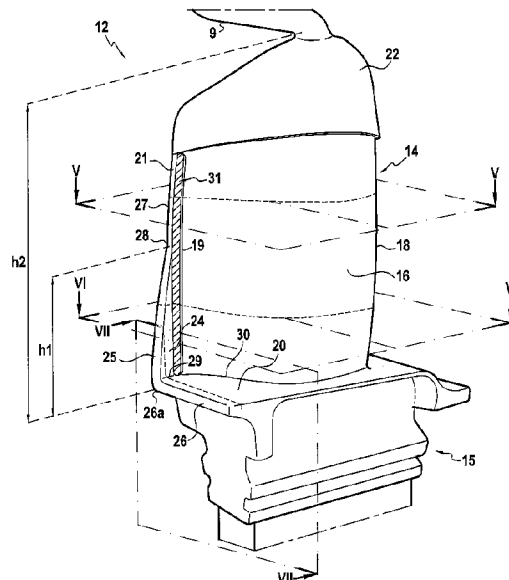




(86) **Date de dépôt PCT/PCT Filing Date:** 2013/09/06
(87) **Date publication PCT/PCT Publication Date:** 2014/03/20
(45) **Date de délivrance/Issue Date:** 2020/05/05
(85) **Entrée phase nationale/National Entry:** 2015/03/09
(86) **N° demande PCT/PCT Application No.:** FR 2013/052064
(87) **N° publication PCT/PCT Publication No.:** 2014/041288
(30) **Priorité/Priority:** 2012/09/11 (FR1258526)

(51) **Cl.Int./Int.Cl.** *B22D 27/04* (2006.01),
B22C 7/02 (2006.01), *B22C 9/04* (2006.01),
C30B 11/00 (2006.01)
(72) **Inventeurs/Inventors:**
COYEZ, DOMINIQUE, FR;
FARGEAS, SERGE, FR
(73) **Propriétaire/Owner:**
SNECMA, FR
(74) **Agent:** LAVERY, DE BILLY, LLP

(54) **Titre : MODELE DE FONDERIE**
(54) **Title: FOUNDRY MODEL**



(57) **Abrégé/Abstract:**

L'invention concerne le domaine de la fonderie, et en particulier un modèle (12) pour fonderie à modèle perdu, en forme de pale de turbomachine avec un pied (15) et un corps (14) séparés par une plateforme (20) sensiblement perpendiculaire à un axe principal de la pale. Le corps (14) de pale présente un intrados (17), un extrados (16), un bord d'attaque (18) et un bord de fuite (19). Le modèle (12) comprenant en outre une barrette de dilatation (21) adjacente au bord de fuite (19), et un noyau réfractaire (23), noyé dans le modèle (12) mais présentant, tant du côté de l'intrados (17) que de celui de l'extrados (16), une surface vernie (31) affleurant entre le bord de fuite (19) et la barrette de dilatation (21). Un voile (24) s'étend entre la plateforme (20) et ladite barrette de dilatation (21) et présente un bord libre (25) entre les deux. L'invention concerne également un procédé de production d'un moule carapace à partir de ce modèle (12), ainsi qu'un procédé de fonderie utilisant ce moule carapace.

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la
Propriété Intellectuelle
Bureau international(43) Date de la publication internationale
20 mars 2014 (20.03.2014)

WIPO | PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2014/041288 A3(51) Classification internationale des brevets :
B22D 27/04 (2006.01) B22C 9/04 (2006.01)
B22C 7/02 (2006.01) C30B 11/00 (2006.01)(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2013/052064(22) Date de dépôt international :
6 septembre 2013 (06.09.2013)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
1258526 11 septembre 2012 (11.09.2012) FR(71) Déposant : SNECMA [FR/FR]; 2 boulevard du Général
Martial Valin, F-75015 Paris (FR).(72) Inventeurs : COYEZ, Dominique; c/ SNECMA PI (AJI),
Rond-point René Ravaud-Réau, F-77550 Moissy-cramayel
Cedex (FR). FARGEAS, Serge; c/ SNECMA PI (AJI),
Rond-point René Ravaud-Réau, F-77550 Moissy-cramayel
Cedex (FR).(74) Mandataires : CALVO DE NO, Rodrigo et al.; Cabinet
BEAU DE LOMENIE, 158 rue de l'Université, F-75340
Paris Cedex 07 (FR).(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre
de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM,
AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY,
BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM,
DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR,
KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME,
MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ,
OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA,
SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM,
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM,
ZW.(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre
de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH,
GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ,
UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ,
TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK,
EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV,
MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM,
TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW,
KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

— avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : FOUNDRY MODEL

(54) Titre : MODELE DE FONDERIE

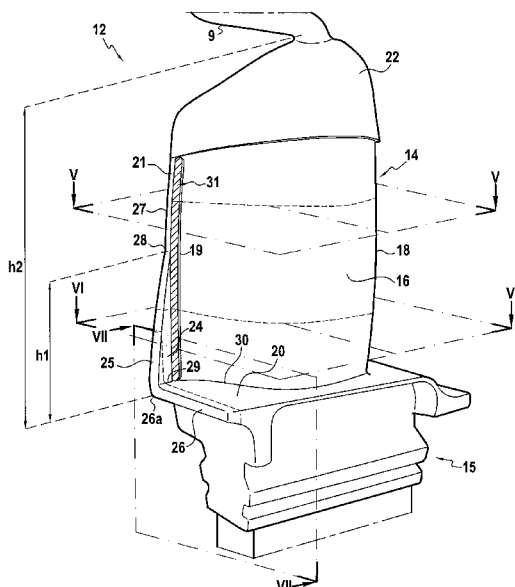


FIG.3

(57) Abstract : The invention pertains to the field
of foundry, and more particularly relates to a model
(12) for lost-model foundry, in the shape of a
turbine engine blade having a base (15) and a
body (14) separated by a platform (20) substan-
tially perpendicular to a main axis of the blade.
The blade body (14) has a lower surface (17), an
upper surface (16), a leading edge (18), and a trailing
edge (19). The model (12) further includes a
heat expansion rod (21) adjacent to the trailing
edge (19), and a refractory core (23) imbedded in
the model (12) but having, both on the lower sur-
face (17) side and on the upper surface (16) side,
a lacquered surface (31) flush between the trailing
edge (19) and the heat expansion rod (21). A web
(24) extends between the platform (20) and said
heat expansion rod (21), and has a free edge (25)
therebetween. The invention also relates to a method
for making a shell mold from said model (12), and
to a foundry method using said shell mold.(57) Abrégé : L'invention concerne le domaine de
la fonderie, et en particulier un modèle (12) pour
fonderie à modèle perdu, en forme de pale de tur-
bomachine avec un pied (15) et un corps (14)

[Suite sur la page suivante]

WO 2014/041288 A3

— avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont reçues (règle 48.2.h))

(88) Date de publication du rapport de recherche internationale :

8 mai 2014

séparés par une plateforme (20) sensiblement perpendiculaire à un axe principal de la pale. Le corps (14) de pale présente un intrados (17), un extradados (16), un bord d'attaque (18) et un bord de fuite (19). Le modèle (12) comprenant en outre une barrette de dilatation (21) adjacente au bord de fuite (19), et un noyau réfractaire (23), noyé dans le modèle (12) mais présentant, tant du côté de l'intrados (17) que de celui de l'extrados (16), une surface vernie (31) affleurant entre le bord de fuite (19) et la barrette de dilatation (21). Un voile (24) s'étend entre la plateforme (20) et ladite barrette de dilatation (21) et présente un bord libre (25) entre les deux. L'invention concerne également un procédé de production d'un moule carapace à partir de ce modèle (12), ainsi qu'un procédé de fonderie utilisant ce moule carapace.

MODELE DE FONDERIE

Arrière-plan de l'invention

5 La présente invention concerne le domaine de la fonderie, et plus particulièrement un modèle pour fonderie à modèle perdu, ainsi que des procédés de fabrication de moules carapaces et de fonderie utilisant un tel modèle.

10 Des procédés de fonderie dits à cire perdue ou à modèle perdu sont connus depuis l'antiquité. Ils sont particulièrement adaptés pour la production de pièces métalliques avec des formes complexes. Ainsi, la fonderie à modèle perdu est notamment utilisée pour la production de pales de turbomachines.

15 Dans la fonderie à modèle perdu, la première étape est normalement la réalisation d'un modèle en matériau à température de fusion comparativement peu élevée, comme par exemple une cire ou résine, sur laquelle est ensuite surmoulé un moule. Après évacuation du matériau du modèle de l'intérieur du moule, ce qui donne son nom à ces procédés, un métal en fusion est coulé dans ce moule, afin de remplir la cavité formée
20 par le modèle dans le moule après son évacuation. Une fois que le métal se refroidit et solidifie, le moule peut être ouvert ou détruit afin de récupérer une pièce métallique conforme à la forme du modèle. On entend par « métal », dans le présent contexte, tant des métaux purs que, surtout, des alliages métalliques.

25 Afin de pouvoir produire plusieurs pièces simultanément, il est possible de réunir plusieurs modèles dans une seule grappe dans laquelle ils sont reliés par un arbre formant, dans le moule, des canaux de coulée pour le métal en fusion.

30 Parmi les différents types de moules pouvant être utilisés dans la fonderie à modèle perdu, on connaît notamment les moules dits moules carapace, formés par trempage du modèle ou de la grappe de modèles dans une barbotine, suivi d'un saupoudrage du modèle ou de la grappe enduits de barbotine avec du sable réfractaire pour former une carapace autour du modèle ou de la grappe, et de la cuisson de cette carapace pour
35 solidifier la barbotine de manière à consolider l'ensemble. Plusieurs trempages et saupoudrages successifs peuvent être envisagés afin

d'obtenir une carapace d'une épaisseur suffisante avant sa cuisson. On entend par « sable réfractaire », dans le présent contexte, tout matériau granulaire avec une granularité suffisamment fine pour satisfaire aux tolérances de production souhaitées, capable de résister, à l'état solide, 5 les températures du métal en fusion, et pouvant être consolidé en une seule pièce solide par la barbotine lors de la cuisson de la carapace.

Afin d'obtenir des propriétés thermomécaniques particulièrement avantageuses dans une pièce produite par fonderie, il peut être souhaitable d'assurer une solidification dirigée du métal dans le moule. On 10 entend par « solidification dirigée », dans le présent contexte, comme la maîtrise de la germination et croissance de cristaux solides dans le métal en fusion lors de son passage de l'état liquide à l'état solide. L'objet d'une telle solidification dirigée est celui d'éviter les effets négatifs des joints de grains dans la pièce. Ainsi, la solidification dirigée peut être colonnaire ou 15 monocristalline. La solidification dirigée colonnaire consiste à orienter tous les joints de grains dans une même direction, de manière à ce qu'ils ne puissent pas contribuer à la propagation de fissures. La solidification dirigée monocristalline consiste à assurer la solidification de la pièce en un seul cristal, de manière à supprimer totalement les joints de grains.

20 La solidification dirigée est particulièrement souhaitable dans la production de pièces destinées à subir de grandes contraintes thermomécaniques, comme les pales de turbomachines. Toutefois, les formes complexes de ces pales peuvent interférer avec la solidification dirigée, générant des grains parasites notamment à proximité d'angles vifs 25 de la pale. En particulier, dans une pale de turbomachine avec un pied et un corps séparés par une plateforme sensiblement perpendiculaire à un axe principal de la pale, ledit corps présentant un intrados, un extrados, un bord d'attaque et un bord de fuite, la transition brusque entre le corps de la pale et la plateforme peut générer la formation de tels grains parasites, notamment au niveau du bord de fuite. 30

Afin de réduire la masse des pales de turbomachine, mais surtout de permettre leur refroidissement, il est courant de noyer des noyaux réfractaires dans le modèle non-permanent. Un tel noyau réfractaire reste 35 dans le moule carapace après l'évacuation du matériau du modèle, la coulée et le refroidissement du métal, formant ainsi un volume creux dans la pièce métallique. En particulier, pour assurer un bon refroidissement du

bord de fuite, dont l'épaisseur réduite le rend particulièrement vulnérable aux hautes températures, il est courant qu'un tel noyau affleure à la surface du modèle au bord de fuite, de manière à former une fente de refroidissement du bord de fuite. Toutefois, la faible épaisseur du noyau à cet endroit le rend fragile. En outre, afin de maintenir le positionnement correct du noyau dans le moule carapace pendant la coulée et le refroidissement du métal, il est souhaitable d'assurer le guidage de sa dilatation thermique. Pour cela, le modèle peut comprendre une barrette de guidage adjacente au bord de fuite, avec une surface vernie du noyau réfractaire affleurant de chaque côté du modèle entre le bord de fuite et la barrette de dilatation. Le vernis sur ces surfaces, qui peut être évacué du moule carapace avec le matériau du modèle, assure un faible jeu (de l'ordre de quelques centièmes de millimètre) entre le noyau réfractaire et le moule carapace, de manière à guider la dilatation du noyau à cet endroit perpendiculairement à son épaisseur. A l'intérieur de la barrette de dilatation, le noyau peut avoir une plus grande épaisseur, ce qui accroît sa robustesse.

Toutefois, la complexité de la géométrie de la cavité du moule au niveau des intersections du bord de fuite et de la barrette de dilatation avec la plateforme de la pale accroît sensiblement le risque de génération de grains

Objet et résumé de l'invention

La présente invention vise à remédier à ces inconvénients. Notamment, l'invention vise à proposer un modèle qui permette d'éviter la formation de grains parasites à proximité des intersections du bord de fuite et de la barrette de dilatation avec la plateforme d'une pale de turbomachine produite à partir de ce modèle dans un procédé de fonderie à modèle perdu.

Dans au moins un mode de réalisation de la présente invention, ce but est atteint grâce au fait que le modèle comprend aussi un voile s'étendant entre la plateforme et ladite barrette de dilatation et présentant un bord libre entre les deux. On entend par « voile », dans le présent contexte, une paroi très fine, dont l'épaisseur est donc sensiblement

inférieure aux autres dimensions. L'épaisseur du voile n'est toutefois pas nécessairement inférieure à celle de la barrette de dilatation.

Grâce à ces dispositions, il est possible d'assurer une transition plus graduelle entre le bord de fuite et la plateforme, évitant les angles vifs pouvant être à l'origine de grains parasites. Comme la pièce brute résultant du procédé de fonderie utilisant un tel modèle doit en tout cas être ultérieurement usinée pour éliminer la barrette de dilatation, ce voile sera éliminé dans la même étape d'usinage sans engendrer d'opérations supplémentaires.

10 Avantageusement, le bord libre du voile peut s'étendre d'un bord de la plateforme à la barrette de dilatation, de manière à éviter la germination de grains parasites non seulement entre la plateforme et le bord de fuite, mais aussi sur le bord de la plateforme.

15 Afin de mieux éviter la formation de grains parasites, le modèle peut présenter une transition progressive entre un bord libre de la barrette de dilatation et le bord libre du voile. En outre, le voile peut être d'épaisseur moindre ou égale à une épaisseur de la barrette de dilatation, et le bord libre du voile être arrondi dans un plan transversal.

20 Le modèle peut aussi comprendre un segment hors-pièce en prolongation du corps sur une extrémité opposée au pied de pale, notamment afin de permettre une transition douce entre un canal sélecteur et le corps de la pale. Dans ce cas, le voile peut présenter une hauteur non supérieure à une moitié de la hauteur du corps avec le segment hors-pièce.

25 Afin aussi de limiter le nombre d'angles pouvant générer des grains parasites, une jonction entre le voile et la plateforme peut être en prolongation d'une jonction entre l'intrados et la plateforme.

30 Afin de faciliter la solidification dirigée, ce modèle pour fonderie peut comprendre aussi un modèle de canal sélecteur relié à une extrémité du corps de pale opposée au pied de pale. Dans un procédé de fonderie utilisant un moule formé autour de ce modèle pour fonderie, en refroidissant progressivement le métal en fusion dans le moule à partir d'une cavité starter reliée à la cavité en forme de pale par un canal sélecteur, par exemple en forme de chicane, il est possible d'assurer qu'un
35 seul des grains ayant germiné dans la cavité starter se propage jusqu'à la cavité conformant la pale.

L'invention concerne également une grappe d'une pluralité de tels modèles pour fonderie, reliés par un arbre de manière à pouvoir assurer la production simultanée de plusieurs pales.

5 L'invention concerne également un procédé de fabrication d'un moule carapace, comprenant les étapes de trempage d'au moins un tel modèle de fonderie dans une barbotine, saupoudrage de l'au moins un modèle enduit de barbotine avec du sable réfractaire pour former une carapace autour de l'au moins un modèle, évacuation de l'au moins un modèle, et cuisson de la carapace. En outre, elle concerne aussi un
10 procédé de fonderie dans lequel cette fabrication du moule carapace est suivie d'une coulée de métal en fusion dans le moule carapace, le refroidissement et solidification dirigée du métal, le décochage pour récupérer une pièce métallique brute, et la finition de la pièce brute. Cette
15 étape de finition peut notamment comporter l'usinage d'éléments hors-pièce de la pièce brute.

Brève description des dessins

20 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 schématiquement la mise en œuvre d'un procédé de fonderie à solidification dirigée ;
- 25 – la figure 2 illustre schématiquement une grappe de modèles de fonderie ;
- la figure 3 est une vue d'un côté d'un modèle de fonderie suivant un mode de réalisation ;
- la figure 4 est une vue d'un côté opposé du modèle de la figure
30 3 ;
- la figure 5 est une coupe transversale du modèle des figures 3 et 4 suivant la ligne V-V ;
- la figure 6 est une coupe transversale du modèle des figures 3 à 5 suivant la ligne VI-VI ; et
- 35 – la figure 7 est une coupe longitudinale, suivant la ligne VII-VII, d'une partie du modèle des figures 3 à 6.

Description détaillée de l'invention

La figure 1 illustre comment un refroidissement progressif du métal en fusion destiné à obtenir une solidification dirigée peut typiquement être réalisé dans un procédé de fonderie.

Le moule carapace 1 utilisé dans ce procédé comporte un descendant 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. Pendant l'extraction du moule carapace 1 de la chambre de chauffage 3, cette base 6 va être directement en contact avec une sole 2. Le moule carapace 1 comprend aussi une pluralité de cavités de moulage 7 arrangées en grappe autour du descendant central 4. Chaque cavité de moulage 7 est reliée au godet de coulée 5 par un canal d'amenée 8 à travers duquel le métal en fusion est introduit lors de sa coulée. Chaque cavité de moulage 7 est aussi également reliée par le bas, à travers un canal sélecteur 9 en chicane, à un starter 10 formé par une plus petite cavité adjacente à la base 6.

Le moule carapace 1 peut être produit par le procédé dit à cire perdue ou à modèle perdu. Une première étape d'un tel procédé est la création d'une grappe non permanente 11 comprenant une pluralité de modèles 12 reliés par un arbre 13, comme celle illustrée sur la figure 2. Tant les modèles 12 comme l'arbre 13, étant destinés à former des volumes creux dans le moule carapace 1, sont formés en une matière à basse température de fusion, comme une cire ou résine de modelage. 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 ce mode de réalisation, pour produire le moule carapace 1 à partir de cette grappe non permanente 11, on procède à tremper la grappe 11 dans une barbotine, pour ensuite la saupoudrer avec un sable réfractaire. Ces étapes de trempage et saupoudrage peuvent être répétées plusieurs fois, jusqu'à former une carapace de sable imprégné de barbotine d'une épaisseur souhaitée autour de la grappe 11.

La grappe 11 enrobée de cette carapace peut ensuite être chauffée pour faire fondre et évacuer de l'intérieur de la carapace la matière à basse température de fusion de la grappe 11. Ensuite, dans une étape de

cuisson à plus haute température, la barbotine se solidifie de manière à consolider le sable réfractaire pour former le moule carapace 1.

Le métal ou alliage métallique utilisé dans ce procédé de fonderie est coulé en fusion dans le moule carapace 1, à travers le godet de coulée 5, et remplit les cavités de moulage à travers les canaux d'amenée 8. Pendant cette coulée, le moule carapace 1 est maintenu dans une chambre de chauffage 3, comme illustré sur la figure 1. Ensuite, afin d'obtenir le refroidissement progressif du métal en fusion, ce moule carapace 1, soutenu par un support 2 refroidi et mobile, est extrait de la chambre de chauffage 3, suivant un axe principal X, vers le bas. Le moule carapace 1 étant refroidi à travers de sa base 6 par le support 2, la solidification du métal en fusion va se déclencher dans les starters 10 et se propager vers le haut suite à l'extraction progressive du moule carapace 1 de la chambre de chauffage 3 par le bas. L'étranglement formé par chaque sélecteur 9, ainsi que sa forme en chicane, vont toutefois assurer qu'un seul grain, parmi ceux ayant initialement germiné dans chaque starter 10, va pouvoir continuer à s'étendre vers la cavité de moulage 7 correspondante.

Parmi les alliages métalliques pouvant être utilisés dans ce procédé, on compte notamment les alliages monocristallins de nickel, tels que, notamment, les AM1 et AM3 de SNECMA, mais aussi d'autres comme les CMSX-2® , CMSX-4®, CMSX-6 ®, et CMSX-10 ® du C-M Group, les René® N5 et N6 de General Electric, les RR2000 et SRR99 de Rolls-Royce, et les PWA 1480, 1484 et 1487 de Pratt & Whitney, entre autres. Le tableau 1 illustre les compositions de ces alliages :

30

35

Alliage	Cr	Co	Mo	W	Al	Ti	Ta	Nb	Re	Hf	C	B	Ni
CMSX-2	8,0	5,0	0,6	8,0	5,6	1,0	6,0	-	-	-	-	-	Bal
CMSX-4	6,5	9,6	0,6	6,4	5,6	1,0	6,5	-	3,0	0,1	-	-	Bal
CMSX-6	10,0	5,0	3,0	-	4,8	4,7	6,0	-	-	0,1	-	-	Bal
CMSX-10	2,0	3,0	0,4	5,0	5,7	0,2	8,0	-	6,0	0,03	-	-	Bal
René N5	7,0	8,0	2,0	5,0	6,2	-	7,0	-	3,0	0,2	-	-	Bal
René N6	4,2	12,5	1,4	6,0	5,75	-	7,2	-	5,4	0,15	0,05	0,004	Bal
RR2000	10,0	15,0	3,0	-	5,5	4,0	-	-	-	-	-	-	Bal
SRR99	8,0	5,0	-	10,0	5,5	2,2	12,0	-	-	-	-	-	Bal
PWA1480	10,0	5,0	-	4,0	5,0	1,5	12,0	-	-	-	0,07	-	Bal
PWA1484	5,0	10,0	2,0	6,0	5,6	-	9,0	-	3,0	0,1	-	-	Bal
PWA1487	5,0	10,0	1,9	5,9	5,6	-	8,4	-	3,0	0,25	-	-	Bal
AM1	7,0	8,0	2,0	5,0	5,0	1,8	8,0	1,0	-	-	-	-	Bal
AM3	8,0	5,5	2,25	5,0	6,0	2,0	3,5	-	-	-	-	-	Bal

Tableau 1 : Compositions d'alliages de nickel monocristallins en % massique

5 Après le refroidissement et la solidification du métal dans le moule carapace 1, celui-ci pourra être décoché pour libérer les pièces métalliques, lesquelles pourront ensuite être finies par des procédés d'usinage et/ou des traitements de surface.

10 Lorsque les pièces à mouler présentent des formes complexes, celles-ci peuvent toutefois compliquer la solidification dirigée du métal dans chaque cavité de moulage 7. En particulier, les angles vifs dans la cavité 7 peuvent engendrer des grains parasites qui affaiblissent la pièce. Afin d'éviter la formation de ces grains parasites, les modèles 12 reçoivent, dans ce mode de réalisation, des éléments adjoints adoucissant

15 certains angles vifs dans les cavités de moulage 7. Un tel modèle de fonderie 12 pour la production d'une pale de turbomachine est illustré sur les figures 3 et 4. Ce modèle de fonderie 12 présente ainsi une forme de pale de turbomachine avec un corps de pale 14 et un pied de pale 15 servant à assurer la fixation de la pale à un rotor de turbomachine. Le

20 corps de pale 14 présente un extradados 16 et un intrados 17, se rejoignant au bord d'attaque 18 et au bord de fuite 19. Le corps de pale 14 et le pied de pale 15 sont séparés par une plateforme 20. Le modèle 12 comprend aussi des éléments hors-pièce, et notamment une barrette de dilatation 21 adjacente au bord de fuite 19 et un segment hors-pièce 22 en

25 prolongation du corps de pale 14 sur une extrémité opposée au pied de pale 15. Ce segment hors-pièce 22 est destiné à être relié au canal

sélecteur 9, et le pied de pale 15 est destiné à être relié au canal d'amenée 8, de telle manière que, dans la cavité de moulage 7 formée par le modèle 12 dans le moule carapace 1, le métal en fusion coule du pied de pale 15 vers le corps de pale 14 pendant la coulée, et se solidifie ensuite en direction opposée lors de sa solidification dirigée.

Le modèle 12 incorpore aussi un noyau solide réfractaire 23 afin de former une cavité dans la pale de turbomachine. De chaque côté du modèle 12, une surface vernie 31 de ce noyau 23 affleure à la surface du modèle 12 entre le bord de fuite 19 et la barrette 21, comme illustré sur les figures 5 et 6. Lors des étapes de trempage et saupoudrage du modèle 12, la carapace de sable imprégné de barbotine va se former sur les surfaces exposées du modèle 12, y compris sur ces surfaces vernies 31 du noyau 23. Lors de l'évacuation et/ou la cuisson de la carapace, le vernis recouvrant ces surfaces 31 va également être éliminé, créant ainsi un faible jeu, typiquement entre 2 et 3 centièmes de millimètre, entre ces surfaces 31 du noyau et des surfaces internes correspondantes du moule carapace 1. A cet endroit, ce faible jeu permet un déplacement du noyau 23, perpendiculairement à son épaisseur, par rapport au moule carapace 1, guidant ainsi la dilatation thermique du noyau 23 pendant la coulée et le refroidissement du métal. La faiblesse de ce jeu évite toutefois que le métal fondu se faufile entre le noyau 23 et le moule carapace 1 à cet endroit. Ainsi, dans la pièce brute, le bord de fuite et la barrette seront séparés par un écart qui facilitera ensuite l'usinage de la barrette lors de la finition de la pièce brute.

Un endroit particulièrement critique pour la formation de grains parasites est la proximité de l'intersection du bord de fuite 19 et la plateforme 20. A cet endroit peuvent se rejoindre plusieurs angles vifs, ce qui accroît le danger de formation de grains parasites. Afin d'éviter cela, dans le mode de réalisation illustré, le modèle 12 présente aussi un voile fin 24 entre la barrette 21 et la plateforme 20. Ce voile 24 présente un bord libre 25 s'étendant entre la barrette 21 et une extrémité 26a d'un bord 26 de la plateforme 20. L'épaisseur e_1 du voile 24 est égale ou inférieure à l'épaisseur e_2 de la barrette 21 adjacente. La hauteur h_1 du voile 24 est approximativement la moitié de la hauteur brute h_2 du corps de pale 14 avec le segment hors-pièce 22. Tant le bord libre 25 du voile 24 comme le bord extérieur 27 de la barrette 21 sont arrondis, comme

illustré sur les figures 5 et 6 et la transition 28 entre les deux est très progressive. La barrette 21 et le voile 24 suivent tous les deux l'éventuelle courbure du bord de fuite 19. La transition 29 entre le voile 24 et la plateforme 20 présente un arrondi dans le plan longitudinal comme illustré
5 sur la figure 7, et est en prolongation de la ligne de transition 30 entre l'extrados 17 et la plateforme 20.

Dans le procédé de fonderie servant à produire au moins une pale de turbomachine à partir d'un tel modèle, le voile et la barrette dans la pièce brute de moulage pourront être facilement éliminés par usinage de
10 manière simultanée lors de la finition de cette pièce brute de moulage. On peut ainsi obtenir une pièce nette sans devoir effectuer plus d'opérations d'usinage qu'avec un modèle qui serait dépourvu du voile 24.

Quoique la présente invention ait été décrite en se référant à un exemple de réalisation spécifique, il est évident que des différentes
15 modifications et changements peuvent être effectués sur ces exemples sans sortir de la portée générale de l'invention telle que définie par les revendications. En outre, des caractéristiques individuelles des différents modes de réalisation évoqués peuvent être combinées dans des modes de réalisation additionnels. Par conséquent, la description et les dessins
20 doivent être considérés dans un sens illustratif plutôt que restrictif.

REVENDEICATIONS

1. Modèle pour fonderie à modèle perdu, en forme de pale de turbomachine avec un pied et un corps séparés par une plateforme sensiblement perpendiculaire à un axe principal de la pale, ledit corps de la pale présentant un intrados, un extrados, un bord d'attaque et un bord de fuite, le modèle comprenant en outre une barrette de dilatation adjacente au bord de fuite, et un noyau réfractaire, noyé dans le modèle mais présentant, tant d'un côté de l'intrados que d'un côté de l'extrados, une surface vernie affleurant entre le bord de fuite et la barrette de dilatation, le modèle comprenant aussi un voile s'étendant entre la plateforme et ladite barrette de dilatation et présentant un bord libre entre les deux.

2. Modèle suivant la revendication 1, dans lequel le bord libre du voile s'étend d'un bord de la plateforme à la barrette de dilatation.

3. Modèle suivant l'une quelconque des revendications 1 et 2, présentant une transition progressive entre un bord libre de la barrette de dilatation et le bord libre du voile.

4. Modèle suivant l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel le voile est d'épaisseur moindre ou égale à une épaisseur de la barrette de dilatation.

5. Modèle suivant l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel le bord libre du voile est arrondi dans un plan transversal.

6. Modèle suivant l'une quelconque des revendications 1 à 5, comprenant aussi un segment hors-pièce en prolongation du corps sur une extrémité opposée au pied de pale, et dans lequel le voile présente une hauteur non supérieure à une moitié de la hauteur du corps avec le segment hors-pièce.

7. Modèle suivant l'une quelconque des revendications 1 à 6, dans lequel une jonction entre le voile et la plateforme est en prolongation d'une jonction entre l'extrados et la plateforme.

8. Modèle suivant l'une quelconque des revendications 1 à 7, avec un modèle de canal sélecteur relié à une extrémité du corps de pale opposée au pied de pale.

9. Grappe comprenant une pluralité de modèles suivant l'une quelconque des revendications 1 à 8, reliés par un arbre.

10. Procédé de fabrication d'un moule carapace, comprenant les étapes suivantes :

trempage d'au moins un modèle de fonderie suivant l'une quelconque des revendications 1 à 8 dans une barbotine ;

saupoudrage de l'au moins un modèle enduit de barbotine avec du sable réfractaire pour former une carapace autour de l'au moins un modèle ;
évacuation de l'au moins un modèle ; et
cuisson de la carapace.

11. Procédé de fonderie comprenant au moins les étapes suivantes :
fabrication d'un moule carapace suivant le procédé de la revendication 10 ;
coulée de métal en fusion dans le moule carapace ;
refroidissement et solidification dirigée du métal ;
décochage du moule carapace pour récupérer une pièce métallique brute ; et
finition de la pièce brute.

1/5

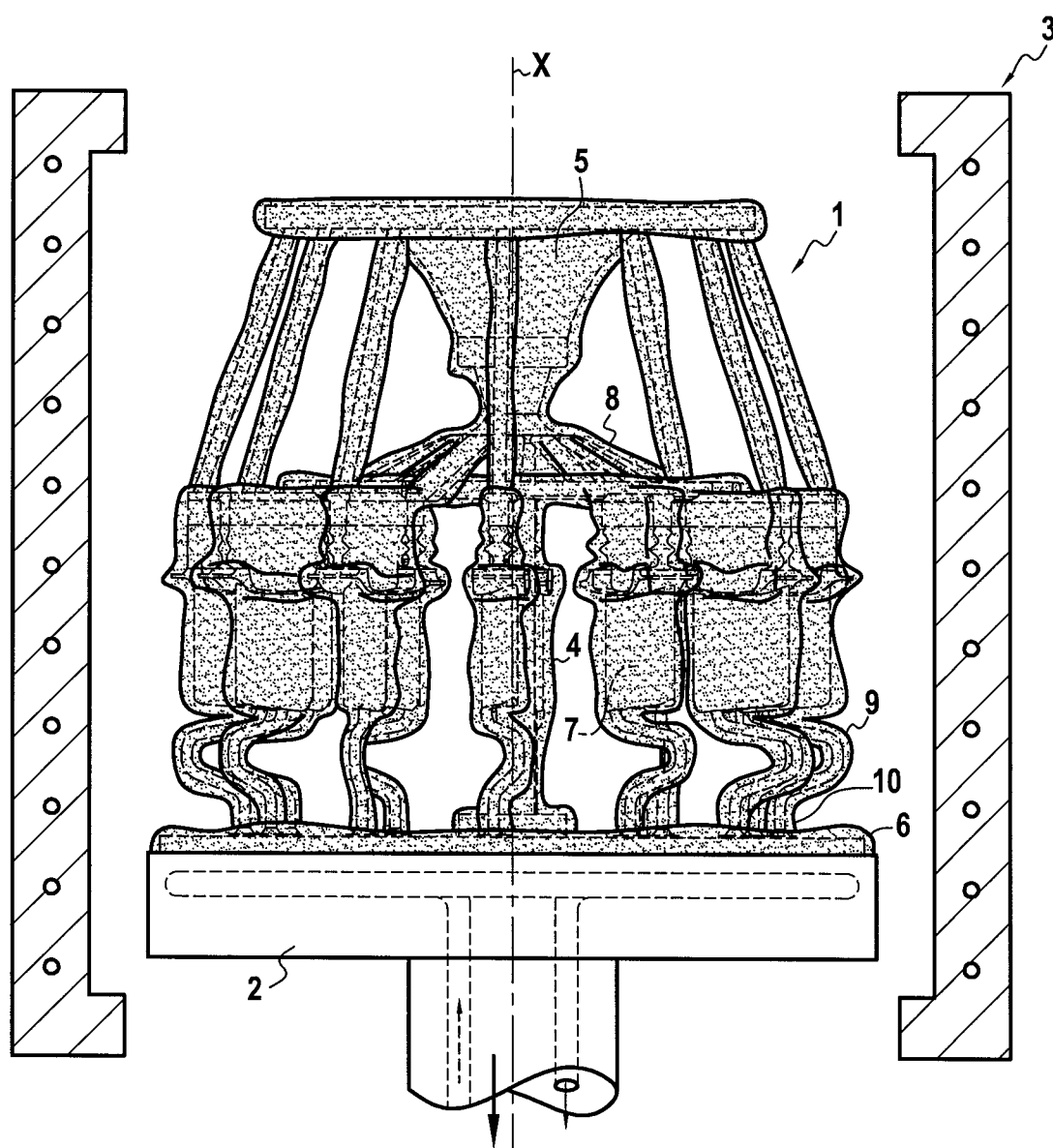


FIG.1

2/5

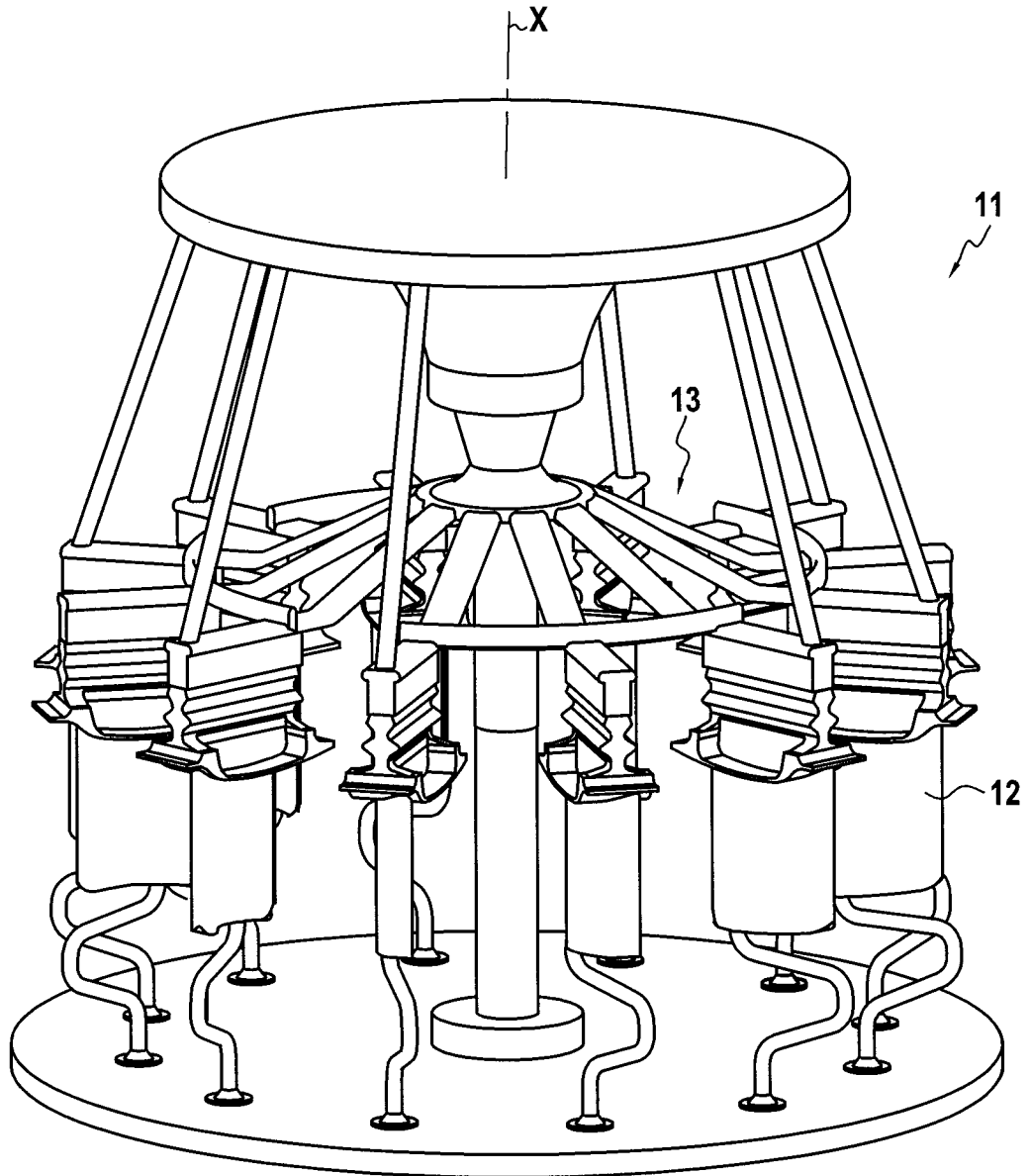


FIG.2

3/5

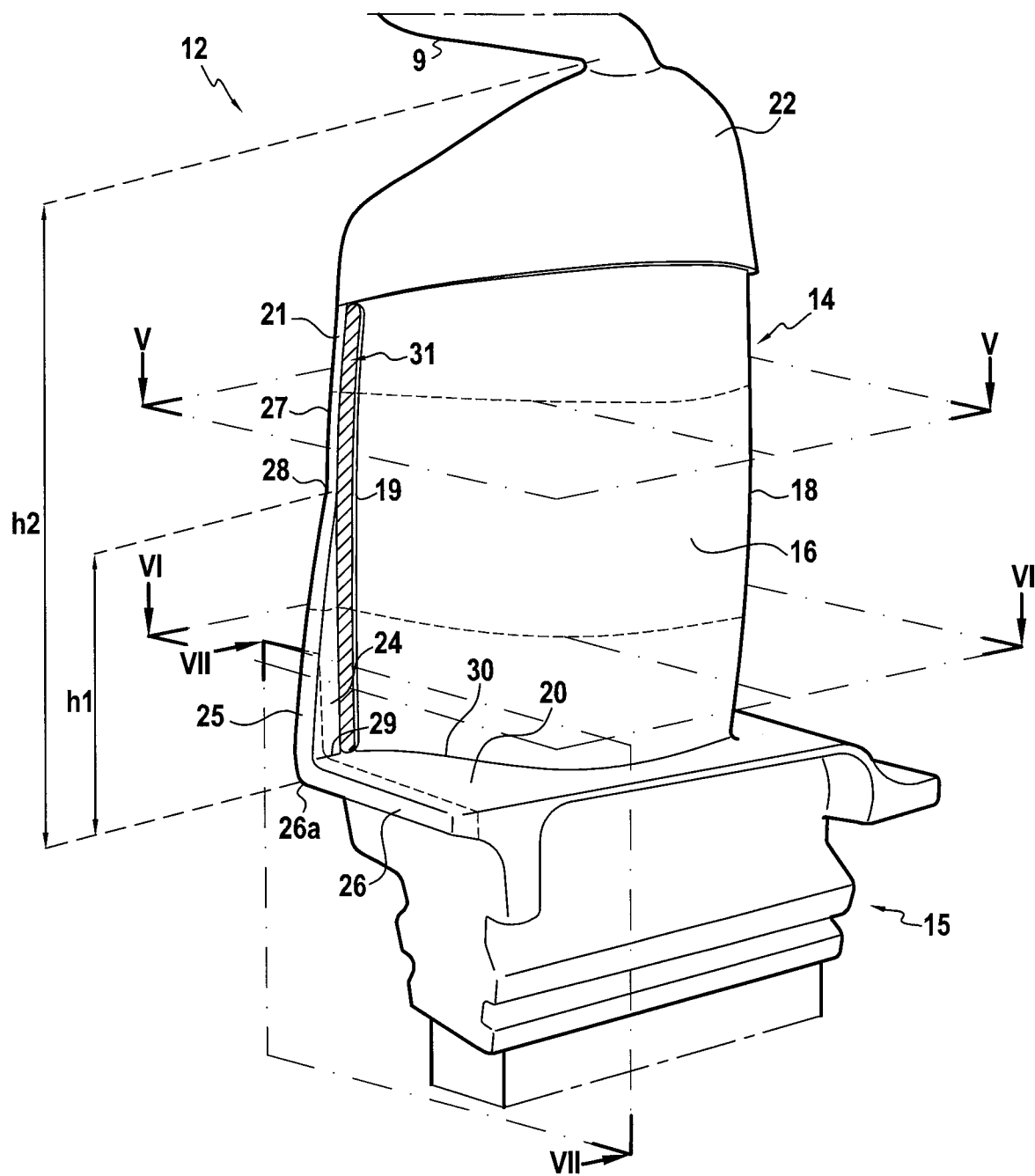


FIG.3

4/5

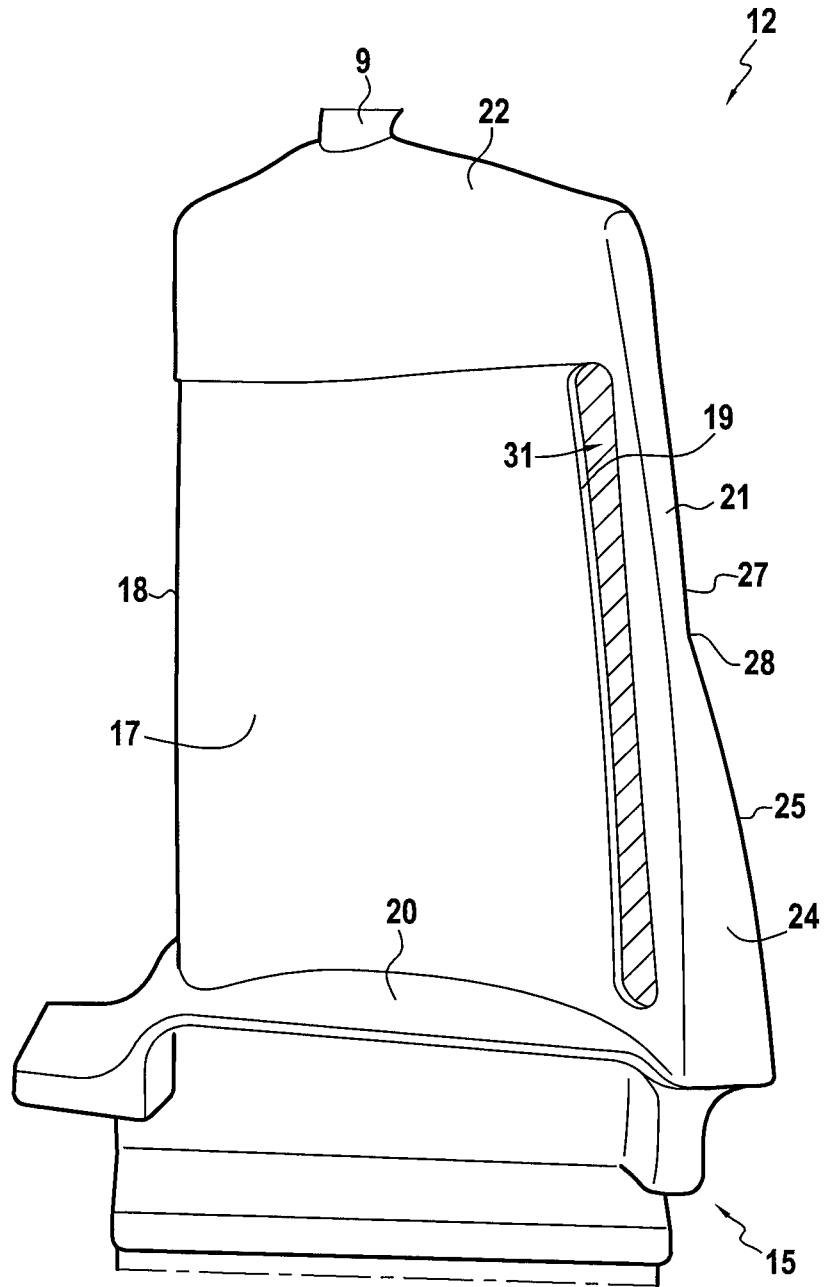


FIG.4

5/5

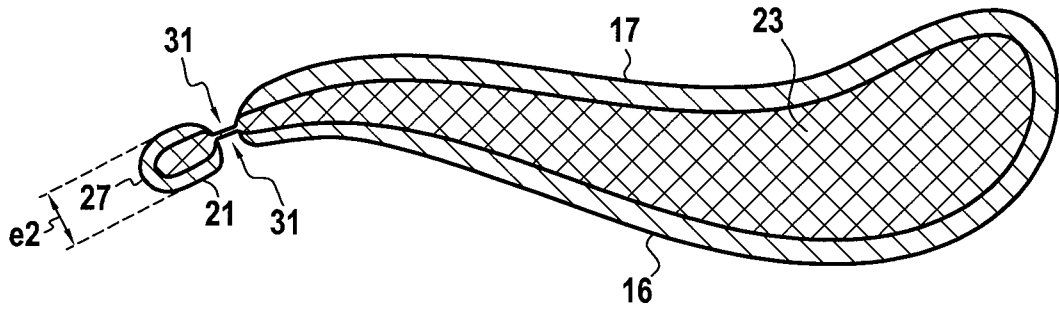


FIG. 5

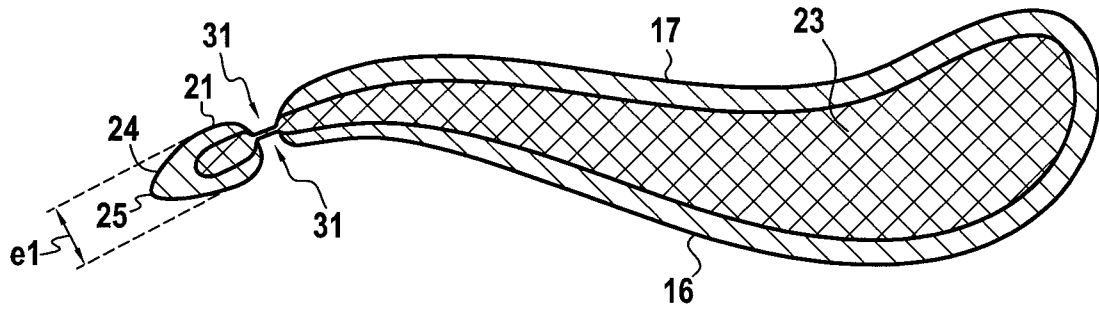


FIG. 6

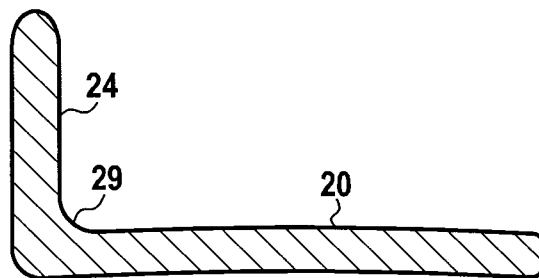


FIG. 7

