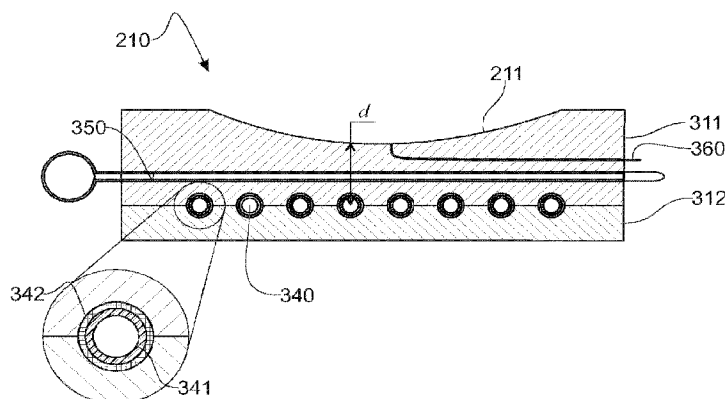




(86) **Date de dépôt PCT/PCT Filing Date:** 2017/04/26
(87) **Date publication PCT/PCT Publication Date:** 2017/11/02
(45) **Date de délivrance/Issue Date:** 2023/09/26
(85) **Entrée phase nationale/National Entry:** 2018/09/15
(86) **N° demande PCT/PCT Application No.:** EP 2017/059998
(87) **N° publication PCT/PCT Publication No.:** 2017/186824
(30) **Priorité/Priority:** 2016/04/26 (FR1670196)

(51) **Cl.Int./Int.Cl.** **B22C 9/06** (2006.01),
B22D 17/02 (2006.01), **B22D 17/22** (2006.01)
(72) **Inventeur/Inventor:**
FEIGENBLUM, JOSE, FR
(73) **Propriétaire/Owner:**
ROCTOOL, FR
(74) **Agent:** LAVERY, DE BILLY, LLP

(54) **Titre : PROCÉDE ET DISPOSITIF POUR LE MOULAGE EN COQUILLE D'UN ALLIAGE METALLIQUE**
(54) **Title: METHOD AND DEVICE FOR SHELL-MOULDING A METAL ALLOY**



(57) **Abrégé/Abstract:**

Procédé pour le moulage en coquille d'un métal dans une cavité, mettant en oeuvre un moule comprenant : a. deux matrices (210, 220) comprenant chacune un bloc (311) portant une surface moulante (211, 221), de sorte que lesdites surfaces moulantes délimitent une cavité moulante; b. dans au moins une des matrices, un inducteur (341, 441) cheminant dans un boyau (340) pratiqué dans le bloc (311) portant la surface moulante; c. un générateur pour alimenter par un courant à haute fréquence ledit inducteur (341, 441) de sorte à chauffer les parois du boyau (340); d. l'inducteur (341, 41) étant placé à une distance d de la surface moulante de sorte que la conduction de chaleur de la paroi du boyau (340) comprenant l'inducteur à la surface moulante, à travers l'épaisseur dudit bloc (311), conduise à une distribution uniforme de la température sur la surface moulante; le procédé comprenant les étapes de : i. remplissage (110) la cavité moulante par injection du métal dans ladite cavité, ladite cavité étant préchauffée à une température nominale de préchauffage T_i (105) par la circulation d'un courant électrique à haute fréquence dans l'inducteur (341); ii. solidification du métal dans la cavité moulante; iii. ouverture (120) du moule et éjection (130) de la pièce; v. aspersion (140) des surfaces moulantes de la cavité moulante, le moule étant ouvert, par un agent démoulant; vi. fermeture du moule et chauffage (150) de la cavité à la température T_i (105); caractérisé en ce qu'il comprend après l'étape iii) d'ouverture du moule et avant l'étape v) d'aspersion des surfaces moulantes, une étape consistant à : iv. chauffer par induction les surfaces moulantes de la cavité alors que la pièce n'est plus en contact avec lesdites surfaces, et poursuivre ce chauffage durant étape v) d'aspersion.

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

(19) Organisation Mondiale de la
Propriété Intellectuelle
Bureau international(10) Numéro de publication internationale
WO 2017/186824 A1(43) Date de la publication internationale
02 novembre 2017 (02.11.2017)

WIPO | PCT

(51) Classification internationale des brevets :
B22C 9/06 (2006.01) B22D 17/22 (2006.01)
B22D 17/02 (2006.01)(72) Inventeur : FEIGENBLUM, José ; Le Clos Leysin,
SAINT-PAUL SAINT PAUL (FR).(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2017/059998(74) Mandataire : HAMANN, Jean-Christophe ; IPSIDE, 25,
allée cavalière, 44500 LA BAULE (FR).(22) Date de dépôt international :
26 avril 2017 (26.04.2017)(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, DJ, DK, DM, DO, DZ,
EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR,
HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW,
KZ, LA, LC, LK, LR, LS, 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.

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
1670196 26 avril 2016 (26.04.2016) FR(71) Déposant : ROCTOOL [FR/FR] ; Savoie Technolac, 34
Allée du Lac d'Aiguebelette, 73370 Le Bourget du Lac (FR).

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR SHELL-MOULDING A METAL ALLOY

(54) Titre : PROCÉDÉ ET DISPOSITIF POUR LE MOULAGE EN COUILLE D'UN ALLIAGE MÉTALLIQUE

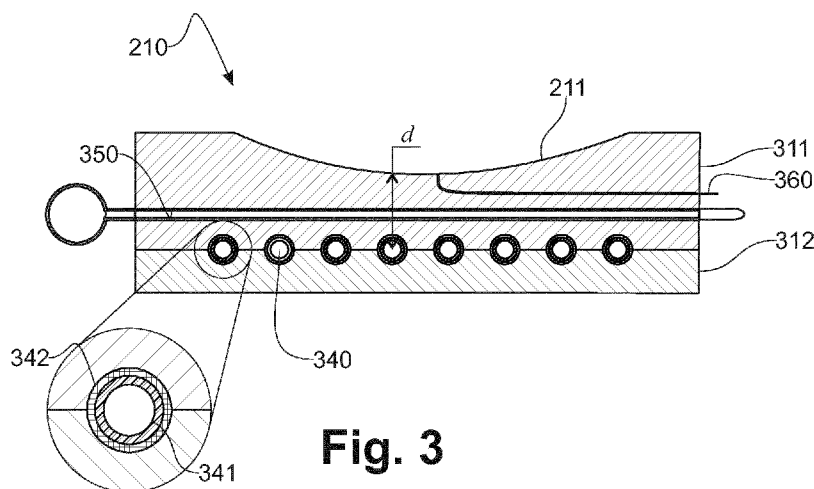


Fig. 3

(57) **Abstract:** A method for shell-moulding a metal in a cavity, implementing a mould comprising: a. two dies (210, 220) each comprising a block (311) carrying a moulding surface (211, 221), such that said moulding surfaces delimit a moulding cavity; b. in at least one of the dies, an inductor (341, 441) running through a pipe (340) provided in the block (311) carrying the moulding surface; c. a generator for powering said inductor (341, 441) with a high-frequency current so as to heat the walls of the pipe (340); d. the inductor (341, 41) being positioned at a distance d from the moulding surface such that the conduction of heat from the wall of the pipe (340) comprising the inductor to the moulding surface, through the thickness of said block (311), produces a uniform distribution of the temperature over the moulding surface; the method comprising the steps of: i. filling (110) the moulding cavity by injecting metal into said cavity, said cavity being preheated to a nominal preheating temperature T_I (105) by circulating a high-frequency electric current through the inductor (341); ii. solidifying the metal in the moulding cavity; iii. opening (120) the mould and ejecting (130) the part; v. spraying (140) the moulding surfaces of the moulding cavity, the mould being open, with a demoulding agent; vi. closing the mould and heating (150) the cavity to the temperature T_I (105); characterised in that it comprises, after the step iii) of opening the mould and before the step v) of spraying the moulding surfaces, a step consisting of: iv. heating the moulding surfaces of the cavity by induction when the part is no longer in contact with said surfaces, and continuing said heating during the spraying step v).

WO 2017/186824 A1

(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, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasién (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).

Déclarations en vertu de la règle 4.17 :

— *relative au droit du déposant de demander et d'obtenir un brevet (règle 4.17(ii))*

Publiée:

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

(57) Abrégé : Procédé pour le moulage en coquille d'un métal dans une cavité, mettant en oeuvre un moule comprenant : a. deux matrices (210, 220) comprenant chacune un bloc (311) portant une surface moulante (211, 221), de sorte que lesdites surfaces moulantes délimitent une cavité moulante; b. dans au moins une des matrices, un inducteur (341, 441) cheminant dans un boyau (340) pratiqué dans le bloc (311) portant la surface moulante; c. un générateur pour alimenter par un courant à haute fréquence ledit inducteur (341, 441) de sorte à chauffer les parois du boyau (340); d. l'inducteur (341, 41) étant placé à une distance d de la surface moulante de sorte que la conduction de chaleur de la paroi du boyau (340) comprenant l'inducteur à la surface moulante, à travers l'épaisseur dudit bloc (311), conduise à une distribution uniforme de la température sur la surface moulante; le procédé comprenant les étapes de : i. remplissage (110) la cavité moulante par injection du métal dans ladite cavité, ladite cavité étant préchauffée à une température nominale de préchauffage T₁ (105) par la circulation d'un courant électrique à haute fréquence dans l'inducteur (341); ii. solidification du métal dans la cavité moulante; iii. ouverture (120) du moule et éjection (130) de la pièce; v. aspersion (140) des surfaces moulantes de la cavité moulante, le moule étant ouvert, par un agent démoulant; vi. fermeture du moule et chauffage (150) de la cavité à la température T₁ (105); caractérisé en ce qu'il comprend après l'étape iii) d'ouverture du moule et avant l'étape v) d'aspersion des surfaces moulantes, une étape consistant à : iv. chauffer par induction les surfaces moulantes de la cavité alors que la pièce n'est plus en contact avec lesdites surfaces, et poursuivre ce chauffage durant étape v) d'aspersion.

PROCÉDÉ ET DISPOSITIF POUR LE MOULAGE EN COQUILLE D'UN ALLIAGE MÉTALLIQUE

L'invention concerne un procédé et un dispositif pour le moulage en coquille sous pression, couramment désigné par le terme anglo-saxon de « *die casting* », d'un alliage métallique. L'invention est plus particulièrement, mais non exclusivement, dédiée au domaine du moulage en phase liquide ou en thixomoulage d'un alliage
5 léger à base de magnésium ou d'aluminium. Le thixomoulage consiste à couler sous pression le métal dans un état semi-solide c'est-à-dire à une température de coulée à laquelle les phases liquides et solides coexistent.

Le moulage en coquille sous pression d'un alliage métallique permet d'obtenir une pièce finie directement au moulage et est utilisé en très grande série pour la
10 fabrication de nombreuses pièces entrant dans des produits de grande consommation tels que des supports ou des carters, notamment de téléphone intelligent, de tablette ordinateur, d'appareil photo, mais également des pièces soumises à des contraintes élevées, notamment dans l'industrie automobile, telles que des rampes d'injection de carburant, ou des distributeurs hydrauliques sans que
15 ces exemples ne soient limitatifs. Typiquement, les pièces redevables de ce procédé sont de forme complexe, combinant des zones d'épaisseur très variables et comportant des zones de faible épaisseur. Ces pièces doivent être réalisées en respectant des contraintes d'aspect et de précision serrées, tout en maintenant des cadences de production compatibles avec la fabrication en grande série. Selon ce
20 procédé, la matière constituant la future pièce est portée à une température adaptée, puis est injectée sous pression dans la cavité d'un moule résistant à la température de moulage et comprenant deux coquilles métalliques, ou plus. Le moule est préchauffé à une température inférieure à la température de la matière injectée, de sorte que ladite matière se refroidit au contact des parois du moule. La pièce est
25 refroidie dans le moule jusqu'à une température de démoulage, température à laquelle le moule est ouvert et la pièce, solidifiée, est éjectée du moule. Avant de réaliser une nouvelle pièce, le moule étant ouvert, les surfaces constituant la cavité dudit moule sont aspergées d'un produit démoulant, généralement un produit aqueux, assurant l'absence d'accrochage ou de collage de la future pièce moulée sur

les parois du moule. Le moule est alors refermé et le cycle recommence. À titre d'exemple de mise en œuvre, le métal est injecté à une température comprise entre 550 °C et 650 °C selon la nuance de matière et le type de moulage : en phase liquide ou en thixomoulage, alors que le moule est préchauffé à une température de 300 °C.

- 5 La figure 1, relative à l'art antérieur représente, figure 1A, un exemple de cycle thermique correspondant au procédé décrit ci-avant, montrant l'évolution de la température (102) à la surface de la cavité d'un moule en fonction du temps (101), évolution obtenue en installant une sonde de température sur une des surfaces délimitant la cavité du moule, ou encore au moyen d'une thermographie infrarouge
- 10 de ladite surface, ledit moule étant constitué d'un acier à outillage de type DIN 1.2343 (AISI H11, EN X38CrMoV5-1) et étant destiné au moulage d'une pièce fine en alliage de magnésium, la surface projetée de l'empreinte étant de 200 x 300 mm². Selon cet art antérieur, le moule est préchauffé au moyen d'une circulation d'huile dans des conduits pratiqués à cet effet dans le moule. Au cours de l'étape (110) de coulée, le
- 15 métal est injecté dans le moule. Ledit moule est préchauffé à une température (105) nominale de préchauffage, fréquemment de l'ordre de 1/3 à 1/2 de la température de coulée exprimée en °C, de sorte que ledit métal se solidifie au contact des parois du moule. Au cours d'une étape (120) de démoulage, le moule est ouvert, puis la pièce est extraite du moule au cours d'une étape (130) d'éjection. Au cours de ces
- 20 étapes, la température de la cavité est maintenue proche de la température de préchauffage. Au cours d'une étape (140) d'aspersion, un agent démoulant est pulvérisé sur les surfaces de la cavité moulante. Le moule est ensuite refermé et les moyens de régulation en température de celui-ci entrent en œuvre au cours d'une
- 25 étape de chauffage (150) pour amener celui-ci à la température (105) nominale de préchauffage, étape de chauffage qui se poursuit jusqu'au recommencement du cycle. L'étape d'aspersion (140) réduit considérablement la température des surfaces de la cavité moulante, de sorte que les moyens conventionnels de chauffage du moule, notamment par circulation d'huile, ne permettent pas d'atteindre la température (105) nominale de préchauffage adaptée, tout en respectant les
- 30 cadences de production visées.

En effet, dans le cas d'un chauffage par circulation d'huile, l'énergie thermique transmise par l'huile au moule est fonction de la différence de température entre le

moule et l'huile, de sorte que plus la température du moule se rapproche de la température de l'huile et moins ce transfert est efficace. L'huile circulant à une température égale ou légèrement supérieure à la température nominale de préchauffage, le temps pour atteindre de nouveau cette température est conditionné
5 par les échanges thermiques entre l'huile et le moule, lesquels se réalisent sur des durées non compatibles avec les cadences visées.

Ainsi, figure 1B, la température atteinte sur les surfaces de la cavité moulante après l'étape de préchauffage, diminue de cycle en cycle. À titre d'exemple, pour une température d'huile en circulation de 250 °C, et une température nominale de
10 préchauffage visée de 230 °C, la température (106) effective de préchauffage lors du 10^{ème} cycle n'est plus que de 195 °C et de 185 °C lors du 14^{ème} cycle. À titre d'exemple, la durée du cycle est de l'ordre de la minute, la durée de l'étape d'éjection (130) est de l'ordre de 8 secondes et la durée de l'étape (140) d'aspersion et de fermeture du moule est de l'ordre de 10 secondes. Ces durées étant variables selon
15 la matière moulée, le volume et la complexité de la pièce ainsi que les moyens mis en œuvre. Les cadences correspondant à ces temps ne permettent pas la remontée en température du moule par échange thermique avec l'huile en circulation. En effet, la remontée à la température de préchauffage visée, dans le temps considéré, implique une puissance de transfert thermique de plusieurs dizaines de KW, ce qui
20 ne peut pas être atteint par échange avec l'huile en circulation, plus particulièrement lorsque la différence de température entre l'huile de chauffage et le moule est réduite. Il n'est pas non plus possible d'atteindre la dissipation d'une telle puissance de chauffage sur les surfaces moulantes par échange conductif avec des résistances chauffantes.

25 Ainsi, selon ces mêmes mesures, la vitesse maximale de chauffage des surfaces moulantes au cours de l'étape (150) se réduit à mesure que la différence de température entre l'huile et le moule se réduit, pour descendre à des vitesses de l'ordre de quelques degrés par minute sur les dernières dizaines de degrés de préchauffage.

30 La température des surfaces moulantes de la cavité étant plus froide, le métal se refroidit plus rapidement au contact de celles-ci et perd plus rapidement en fluidité ce qui se traduit par des défauts de qualité de la pièce réalisée, notamment des

défauts d'aspect ou des manques de matière, plus particulièrement dans les zones de faible épaisseur.

Le document US 2016/101460 divulgue un procédé de moulage comportant une étape d'aspersion par un agent démoulant des surfaces moulantes d'une cavité délimitée par les deux parties d'un moule. Durant l'étape d'aspersion, afin d'éviter les chocs thermiques sur la surface moulante et les risques de fissuration, du fait de la forte vitesse de refroidissement imposée par l'aspersion de l'agent démoulant, ce document préconise un pré-refroidissement desdites surfaces au moyen de la circulation d'un fluide dans le moule.

Le document US2016/101551 décrit un moule à chauffage et refroidissement autonomes, le chauffage étant réalisé par induction au moyen d'inducteurs s'étendant dans des boyaux pratiqués dans le moule. Ce document ne décrit pas d'opérations d'aspersion des surfaces moulantes, ni de contrôle du refroidissement de ces surfaces durant leur aspersion.

L'invention vise à remédier aux insuffisances de l'art antérieur et concerne à cette fin un procédé pour le moulage en coquille d'un métal dans une cavité, mettant en oeuvre un moule comprenant :

- a. deux matrices comprenant chacune un bloc portant une surface moulante, de sorte que lesdites surfaces moulantes délimitent une cavité moulante ;
- b. dans au moins une des matrices, un inducteur cheminant dans un boyau pratiqué dans le bloc portant la surface moulante ;
- c. un générateur pour alimenter par un courant à haute fréquence ledit inducteur de sorte à chauffer les parois du boyau (340) ;
- d. l'inducteur étant placé à une distance d de la surface moulante de sorte que la conduction de chaleur de la paroi du boyau comprenant l'inducteur à la surface moulante, à travers l'épaisseur dudit bloc, conduise à une distribution uniforme de la température sur la surface moulante ;

le procédé comprenant les étapes de :

- i. remplissage a cavité moulante par injection du métal dans ladite cavité, ladite cavité étant préchauffée à une température

nominale de préchauffage T1 par la circulation d'un courant électrique à haute fréquence dans l'inducteur ;

ii. solidification du métal dans la cavité moulante ;

iii. ouverture du moule et éjection de la pièce ;

5 v. aspersion des surfaces moulantes de la cavité moulante, le moule étant ouvert, par un agent démoulant ;

vi. fermeture du moule et chauffage de la cavité à la température T1 ;

10 le quel procédé comprend après l'étape iii) d'ouverture du moule et avant l'étape v) d'aspersion des surfaces moulantes, une étape consistant à :

iv. chauffer par induction les surfaces moulantes de la cavité alors que la pièce n'est plus en contact avec lesdites surfaces, et poursuivre ce chauffage durant étape v) d'aspersion.

15 Ainsi, la combinaison des moyens de chauffage par induction et le déclenchement anticipé de ce chauffage avant et pendant l'aspersion permettent de compenser au moins partiellement la perte de température liée à l'aspersion des surfaces de la cavité. Contrairement aux moyens de l'art antérieur de chauffage qui nécessitent de chauffer le moule dans sa masse, le chauffage par induction
20 concentre ses effets sur les surfaces moulantes et permet ainsi de chauffer de manière uniforme ces surfaces en un temps très bref, alors que le moule est ouvert, en dispensant dans lesdites surfaces une puissance de chauffage de plusieurs dizaines de KW, sans effet de la température desdites surfaces sur l'efficacité du chauffage. Ainsi, le temps nécessaire pour rétablir la température de préchauffage
25 adaptée sur les surfaces de la cavité est réduit et les conditions initiales de moulage sont conservées de cycle en cycle, sans interruption ni baisse de cadence.

L'invention est avantageusement mise en œuvre selon les modes de réalisation et les variantes exposés ci-après, lesquels sont à considérer individuellement ou selon toute combinaison techniquement opérante.

30 Selon un mode de réalisation du procédé objet de l'invention, celui-ci comprend entre l'étape i) et l'étape ii) un refroidissement forcé de la cavité moulante. Ce mode de réalisation permet ainsi de remplir la cavité à une température de préchauffage

élevée, assurant la fluidité de la matière et le remplissage uniforme de celle-ci, tout en contrôlant le cycle de refroidissement de la matière et en limitant l'influence du temps de refroidissement sur le temps de cycle.

Selon un mode de réalisation le refroidissement forcé est réalisé par la circulation d'un fluide caloporteur dans un conduit pratiqué dans le moule.

Avantageusement, la température T1 est comprise entre 200 °C et 400 °C, préférentiellement entre 250 °C et 300 °C. Ces températures de préchauffage, hors d'atteinte dans la durée par les systèmes de chauffage par circulation d'huile ou par résistance électrique, dans les temps de cycle visés, sont particulièrement adaptées à la mise en œuvre des alliages de magnésium, des alliages d'aluminium ou des alliages de zinc, sans que ces exemples ne soient limitatifs, les températures de préchauffage élevées ayant également un effet bénéfique sur les caractéristiques mécaniques et métallurgiques des pièces, avec notamment l'obtention de grains plus fins ou l'absence de porosité.

Avantageusement, la vitesse de chauffage au cours de l'étape vi) est supérieure à 2 °C. s⁻¹ et préférentiellement de l'ordre de 5 °C. s⁻¹. La concentration de l'action de chauffage sur les parois de la cavité moulante permet d'atteindre une telle vitesse de chauffage avec une consommation réduite d'énergie et ceci de manière indépendante de la surface du moule.

Avantageusement, la température des surfaces moulantes atteinte durant l'étape iv) et avant l'étape v) est supérieure à T1. Cette surchauffe contrôlée des surfaces moulantes alors que la pièce n'est plus en contact avec lesdites surfaces, permet de limiter la température minimale atteinte lors de l'aspersion. Ainsi le réchauffement au cours de l'étape v) est plus rapide.

Avantageusement, la cavité moulante étant portée à une température comprise entre 200 °C et 400 °C, l'alliage métallique mis en œuvre par le procédé objet de l'invention est un alliage de magnésium de type AM20, AM50, AM60 ou AZ91D. Ainsi le procédé objet de l'invention permet le moulage de tels matériaux, réputés difficile à mouler dans des conditions de temps de cycle compatibles avec une production en grande série.

Avantageusement, l'alliage métallique est un alliage d'aluminium et de silicium comprenant moins de 2 % de silicium, par exemple un alliage de type Al-Mg-Si-Mn.

Ce type d'alliage d'aluminium est anodisable, présente une température de début de solidification plus élevée que les alliages de fonderie Al-Si classiques, ce qui se traduit par de meilleures caractéristiques mécaniques et une stabilité accrue en température, au détriment de sa facilité de moulage. Le procédé objet de l'invention
5 permet la mise en œuvre d'un tel matériau de manière reproductible dans des conditions de production en grande série.

Le procédé objet de l'invention est également adapté au moulage en coquille des alliages de zinc de type Zamac, moulés par injection sous pression en chambre chaude pour la réalisation de pièces en grande série.

10 Le procédé objet de l'invention est adapté au moulage des alliages métalliques, injectés en phase liquide lors de l'étape i). Il est également adapté au thixomoulage de ces alliages, injectés en phase semi-solide lors de l'étape i).

Avantageusement, le bloc portant la surface moulante est constitué d'un acier de type HTCS 130. La conductivité thermique et la diffusivité thermique élevées de
15 cet acier permettent une régulation en température plus réactive des surfaces moulantes.

Selon une variante de réalisation de l'outillage objet de l'invention, le bloc portant la surface moulante est constitué d'un matériau non ferromagnétique, dans lequel le boyau comprenant l'inducteur est chemisé avec une couche d'un matériau
20 de perméabilité magnétique élevée. Ce mode de réalisation est plus adapté au moulage en coquille sous pression de matériaux à température de fusion élevée, ou susceptibles de réagir chimiquement avec les métaux ferreux à la température de coulée.

L'invention est exposée ci-après selon ses modes de réalisation préférés,
25 nullement limitatifs, et en référence aux figures 1 à 5, dans lesquelles :

- la figure 1, relative à l'art antérieur montre ,selon des diagrammes temps-température, l'évolution de la température des surfaces de la cavité moulante d'un moule de moulage en coquille sous pression préchauffé par une circulation d'huile, figure 1A au cours d'un cycle de moulage, et figue 1B au
30 cours d'une pluralité de cycles de moulage successifs ;
- la figure 2 est une vue schématique en coupe des matrices délimitant la cavité moulante d'un outillage adapté au moulage par injection d'un matériau

métallique ;

- la figure 3 représente, selon une vue en coupe, un exemple de réalisation de l'une des matrices d'un outillage selon l'invention adapté au moulage par injection d'un matériau métallique ;

5 - la figure 4 représente selon une vue de détail un exemple de réalisation de l'installation des inducteurs dans une matrice, telle que représentée figure 3, constituée d'un matériau non-ferromagnétique ;

- et la figure 5 illustre un cycle thermique des surfaces moulantes d'un moule de moulage en coquille sous pression par la mise en oeuvre de l'outillage et du procédé objets de l'invention en comparaison du cycle thermique représenté figure 1A.

Figure 2, selon un schéma de principe de réalisation de l'outillage objet de l'invention, celui-ci comprend deux matrices (210, 220) et des moyens (non représentés) pour rapprocher et éloigner lesdites matrices l'une de l'autre, de sorte à fermer et à ouvrir le moule. Lorsque le moule est fermé, une cavité moulante est formée, cavité délimitée par les surfaces moulantes (211, 221) desdites matrices.

Seuls les éléments de l'outillage essentiels à la mise en oeuvre de l'invention sont ici décrits les autres caractéristiques de l'outillage étant connues de l'homme du métier dans le domaine du moulage en coquille sous pression. Ainsi, les matrices de l'outillage objet de l'invention comprennent notamment des conduits d'adduction de la matière moulée dans la cavité moulante de l'outillage ainsi que des moyens d'éjection de la pièce moulée après sa solidification.

Figure 3, selon un exemple de réalisation de l'outillage objet de l'invention, l'une des matrices (210), et préférentiellement les deux matrices, comprennent des moyens de chauffage par induction comprenant une pluralité de boyaux (340) dans lesquels cheminent des inducteurs réalisant un circuit d'induction. Lesdits inducteurs (341) sont, à titre d'exemple, constitués d'un tube ou d'une tresse de cuivre, isolés des parois de la matrice par un tube (342) en céramique, par exemple une gaine en silice, transparente vis-à-vis du champ magnétique généré par lesdits inducteurs. Les inducteurs en tresse de cuivre sont préférés pour le suivi de cheminements sinueux comportant des faibles rayons de courbure. Le cheminement des inducteurs est déterminé notamment par simulation thermique afin d'obtenir une répartition uniforme

de la température sur la surface moulante, tout en assurant un temps de chauffage de ladite surface moulante le plus réduit possible.

Avantageusement, la matrice (210) est réalisée en deux parties (311, 312). Ainsi, les boyaux (340) pour le passage des inducteurs sont réalisés par rainurage
5 desdites parties avant leur assemblage.

Un conduit ou plusieurs conduits (350) de refroidissement sont ménagés dans la matrice (210), par perçage ou par rainurage et assemblage, comme pour les boyaux recevant les inducteurs. Ce conduit (350) permet la circulation, par des
10 moyens appropriés, d'un fluide caloporteur dans ladite matrice afin d'assurer son refroidissement. Ledit fluide caloporteur circule dans lesdits conduits à une température très nettement inférieure à la température T1 afin d'assurer un refroidissement rapide. Selon des variantes de réalisation, le fluide caloporteur circule en phase liquide, par exemple si le dit fluide est une huile, ou en phase gazeuse, si le dit fluide est de l'air ou un autre gaz caloporteur. Avantageusement le
15 circuit de refroidissement comprend un groupe frigorifique (non représenté) pour la refroidissement du fluide caloporteur à une température inférieure à la température ambiante. La circulation du fluide caloporteur permet de refroidir la matrice (210) et plus particulièrement la surface moulante (211). Selon des variantes de réalisation, le conduit (350) de refroidissement est placé sur le même plan que les inducteurs et
20 se trouve à une distance équivalente de la surface moulante, ou le conduit (350) de refroidissement est placé à une distance plus élevée de la surface moulante que les inducteurs, ces derniers étant alors compris entre le conduit de refroidissement et la surface moulante, ce mode de réalisation privilégiant la vitesse de chauffage par rapport à la vitesse de refroidissement, ou encore, le conduit de refroidissement est
25 positionné entre la surface moulante et les inducteurs, ce mode de réalisation privilégiant la vitesse de refroidissement. La circulation du fluide caloporteur et le chauffage par induction sont utilisables conjointement à des fins de régulation de la température ou de la vitesse de refroidissement. Un capteur de température (360), par exemple un thermocouple, est avantageusement placé près de la surface
30 moulante (211) afin d'en mesurer sa température et pour, le cas échéant, asservir les conditions de chauffage et de refroidissement. L'utilisation d'huile comme fluide caloporteur de refroidissement permet d'assurer le refroidissement du moule dans

les conditions de mise en œuvre d'un moulage en coquille sous pression d'un alliage léger d'aluminium, de magnésium, ou de zinc, le refroidissement en phase gazeuse est avantageux pour des températures de mise en œuvre plus élevées tels que rencontrées pour des alliages de cuivre, de titane ou de nickel.

- 5 Le bloc (311) de matière comprenant la surface moulante (211) est suffisamment épais, de sorte que les boyaux (340) dans lesquels sont placés les inducteurs (341) soient éloignés d'une distance d de ladite surface moulante, afin que celle-ci soit chauffée, au moins en partie, par conduction de la chaleur produite par l'élévation de la température sur les parois desdits boyaux (340), cette élévation
10 de température résultant de la circulation d'un courant électrique à haute fréquence dans l'inducteur (341). Ainsi, la distribution de température, résultant de la mise en œuvre du chauffage par induction, est uniforme sur ladite surface moulante. La distance d est par exemple déterminée par simulation numérique du chauffage en fonction des propriétés des matériaux en présence. Bien que le réseau de boyaux
15 (340) recevant les inducteurs (341) soit ici représenté comme s'étendant dans un plan, lesdits boyaux sont, selon l'application visée, avantageusement répartis dans l'épaisseur du bloc (311) autour de la surface moulante.

- Le bloc (311) portant la surface moulante (211) est constitué d'un matériau métallique afin de présenter une conductivité thermique et une diffusivité thermique
20 suffisantes pour la mise en œuvre des phases de chauffage et de refroidissement du procédé objet de l'invention. Avantageusement ledit matériau est ferromagnétique, par exemple un acier martensitique ou ferrito-martensitique dont la température de Curie est égale ou supérieure à la température de préchauffage visée pour le procédé de moulage. À titre d'exemple, pour le moulage en coquille sous pression
25 d'un alliage léger, le bloc (311) portant la surface moulante est constitué d'un acier de type DIN 1.2344 (AISI H13, EN X40CrMoV5-1) ou DIN 1.12343 (AISI H11, EN X38CrMoV5-1). Avantageusement, ledit bloc est constitué d'un acier d'outillage tel que décrit dans le document EP 2 236 639 et distribué commercialement sous la dénomination HTCS 130® par la société ROVALMA SA, 08228 Terrassa, Espagne.
30 Cet acier présente une conductivité thermique et une diffusivité thermique élevées, ce qui permet de réduire les temps de cycle.

Les inducteurs (341) sont connectés à un générateur de courant à haute fréquence, typiquement une fréquence comprise entre 10 kHz et 200 kHz, par des moyens (non représentés) aptes à accorder le circuit résonnant résultant, notamment, mais non exclusivement, un coffret de capacités et une bobine d'adaptation d'impédance, tels que décrits dans le document WO 2013/021055. Le générateur de courant à haute fréquence et les moyens d'accord du circuit résonnant sont sélectionnés de sorte à dispenser une puissance de chauffage par induction de la surface moulante (211) de l'ordre de 100 kW. Selon des variantes de réalisation, fonction notamment de la dimension du moule, les deux matrices constituant le moule sont connectées au même générateur à haute fréquence ou à deux générateurs différents.

Figure 4, selon un autre mode de réalisation, le matériau constituant le bloc (311) portant la surface moulante de la matrice n'est pas ferromagnétique. Dans ce cas, selon un exemple de réalisation, les boyaux comprenant les inducteurs (441) sont chemisés avec une couche (443) d'acier de perméabilité magnétique élevée et conservant avantageusement ses propriétés ferromagnétiques jusqu'à haute température, par exemple 700 °C. Ainsi, le champ magnétique produit par l'inducteur (441) est concentré dans le chemisage (443) qui monte rapidement en température et transmet cette température par conduction à la matrice. La chaleur étant transmise par conduction jusqu'à la surface moulante, la disposition judicieuse des inducteurs permet, comme précédemment, d'assurer une température uniforme sur cette surface moulante. Selon des exemples de réalisation de cette variante, le bloc (311) portant la surface moulante est constitué de cuivre, d'un acier inoxydable austénitique ou encore d'un alliage à base de nickel résistant à haute température de type INCONEL 718[®], sans que ces exemples ne soient limitatifs.

Lorsque le bloc (311) est constitué d'un acier ferromagnétique, l'action de chauffage des inducteurs se répartit entre un chauffage direct par induction des surfaces moulantes et la conduction de chaleur depuis les parois des conduits (340) comprenant les inducteurs. La répartition de l'énergie entre ces deux modes de chauffage est fonction de la distance d . Lorsque le bloc (311) est constitué d'un matériau non ferromagnétique, un effet similaire est obtenu en déposant, sur les surfaces moulantes, un revêtement ferromagnétique, par exemple un revêtement à

base de nickel.

Figure 5, la comparaison des cycles thermiques (501, 502) subits par les surfaces moulantes, entre le cycle thermique (501) résultant d'un moule à chauffage par circulation d'huile et le cycle thermique (502) résultant de la mise en œuvre de l'outillage objet de l'invention, montre que la durée (520) nécessaire pour obtenir la température (105) de préchauffage à partir du début de la phase (140) d'aspersion des surfaces moulantes est réduite. Cet effet est lié à la capacité de dispenser sur les surfaces moulantes une puissance de chauffage plus importante par les moyens de chauffage par induction, en comparaison des moyens de l'art antérieur, et d'obtenir ainsi une vitesse de chauffe plus rapide, de l'ordre de $5\text{ }^{\circ}\text{C.s}^{-1}$ sur lesdites surfaces moulantes, d'une empreinte de surface projetée de $200 \times 300\text{ mm}^2$ et une puissance de chauffage de l'ordre de 100 kW. De plus, l'utilisation du chauffage par induction permet de déclencher le chauffage des surfaces moulantes durant l'étape (130) d'éjection de la pièce à un temps (510) postérieur à l'éjection de la pièce, mais antérieur au début de l'étape (140) d'aspersion. Ce déclenchement anticipé du chauffage par induction est réalisé lorsque les surfaces moulantes sont approximativement à la température (105) nominale de préchauffage de la cavité moulante. Ledit chauffage a pour effet de porter lesdites surfaces à une température (505) supérieure à ladite température (105) de préchauffage, de sorte à limiter la chute de température consécutive à l'opération (140) d'aspersion. La puissance de chauffage dispensée par les inducteurs sur les surfaces moulantes est suffisante pour obtenir cet échauffement sans ralentir l'étape (130) d'éjection et sans retarder l'étape (140) d'aspersion. Ainsi, la combinaison du démarrage anticipé du chauffage, de la surchauffe de la surface moulante à une température (505) supérieure à la température (105) nominale de préchauffage, permet, d'une part, d'assurer l'obtention de la température (105) de préchauffage visée sur les surfaces moulantes, dans le temps de cycle visé, et ainsi d'assurer la constance de la qualité des pièces réalisées au long des cycles successifs et ainsi de réduire les taux de rebut. De plus, cette même combinaison de moyens et de méthode de mise en œuvre, permet de réaliser le cycle de moulage en un temps (530) réduit par rapport à l'art antérieur, la puissance de chauffage dispensée étant supérieure et indépendante de la température des surfaces chauffées, apportant ainsi un gain de productivité en

même temps que l'amélioration de la fiabilité du procédé. Les surfaces moulantes se trouvant à une température proche de la température (105) nominale de préchauffage lorsque le chauffage anticipé desdites surfaces est déclenché, la mise en œuvre de cette mesure au moyen d'un chauffage par circulation d'huile serait
5 sans effet, la proximité des températures de l'huile en circulation et de celle du moule ne permettant pas la réalisation d'un échange thermique entre l'huile et le matériau constituant le moule.

La combinaison des moyens de chauffage par induction et des moyens de refroidissement de la surface moulante de l'outillage objet de l'invention, permet de
10 réguler la température du moule et de la charge de matière moulée au cours de l'étape (110) de coulée. Ainsi, l'outillage objet de l'invention permet d'injecter l'alliage métallique dans un moule plus chaud, pour assurer un meilleur remplissage de celui-ci, tout en assurant un refroidissement suffisamment rapide de la matière, notamment pour éviter l'apparition de porosités ou une taille de grain non homogène.
15 À la différence de l'art antérieur, où la cinématique thermique de la phase (110) de coulée est dictée par les échanges thermiques passifs entre le moule et la matière, la mise en œuvre de l'outillage objet de l'invention permet de réguler, au moins en partie, cette cinématique. Ainsi, le procédé mis en œuvre au moyen de l'outillage objet de l'invention permet d'améliorer la qualité intrinsèque des pièces moulées par
20 ce procédé.

La capacité de préchauffer les surfaces moulantes à une température plus élevée et de maintenir et de réguler cette température durant l'étape (110) de coulée, permet la mise en œuvre d'alliages dont la température de début de solidification est plus élevée, tout en assurant le remplissage de la cavité moulante, notamment des
25 alliages d'aluminium comprenant moins de 2 % de silicium, hypoeutectiques par rapport au système AlSi, en conservant des cadences de production comparables à celles obtenues pour des alliages eutectiques ou quasi-eutectiques. Ainsi, le procédé et l'outillage objets de l'invention facilitent la mise en œuvre d'alliages aux caractéristiques mécaniques plus élevées, notamment les alliages Al-Si-Mg, Al-Mg-Si
30 et Al-Mg-Si-Mn, et la mise en œuvre par moulage en grande série d'alliages d'aluminium adaptés à une finition par anodisation.

Les effets du procédé objet de l'invention mettant en œuvre un outillage

comprenant un chauffage par induction et décrits ci-avant ne sont pas limités aux surfaces moulantes de l'outillage mais s'appliquent également aux canaux d'adduction de matière pratiqués dans la matrice. Bien que le procédé et l'outillage objets de l'invention soient présentés comme appliqués à l'une des matrices, ceux-ci
5 sont applicables à l'ensemble des matrices délimitant la cavité moulante de l'outillage. Selon des exemples de réalisation, les inducteurs assurant le chauffage des surfaces moulantes desdites matrices sont connectés à un seul générateur de courant à haute fréquence ou à des générateurs dédiés à chaque matrice.

La description ci-avant et les exemples de réalisation, montrent que l'invention
10 atteint le but visé, et permet, en regard de l'art antérieur, d'augmenter les cadences de production, d'améliorer la répétabilité de la qualité des pièces moulées, d'améliorer la qualité métallurgique et la qualité de réalisation desdites pièces et d'ouvrir la possibilité de mise en œuvre de matériaux de coulabilité plus difficile dans les mêmes conditions de productivité et de répétabilité.

REVENDICATIONS

1. Procédé pour le moulage en coquille d'un métal dans une cavité, mettant en œuvre un moule comprenant :
 - a. deux matrices (210, 220) comprenant chacune un bloc (311) portant une surface moulante (211, 221), de sorte que lesdites surfaces moulantes délimitent une cavité moulante ;
 - b. dans au moins une des matrices, un inducteur (341, 441) cheminant dans un boyau (340) pratiqué dans le bloc (311) portant la surface moulante ;
 - c. un générateur pour alimenter par un courant à haute fréquence ledit inducteur (341, 441) de sorte à chauffer les parois du boyau (340) ;
 - d. l'inducteur (341, 41) étant placé à une distance d de la surface moulante de sorte que la conduction de chaleur de la paroi du boyau (340) comprenant l'inducteur à la surface moulante, à travers l'épaisseur dudit bloc (311), conduise à une distribution uniforme de la température sur la surface moulante ;
 le procédé comprenant les étapes de :
 - i. remplissage (110) la cavité moulante par injection du métal dans ladite cavité, ladite cavité étant préchauffée à une température nominale de préchauffage T1 (105) par la circulation d'un courant électrique à haute fréquence dans l'inducteur (341);
 - ii. solidification du métal dans la cavité moulante ;
 - iii. ouverture (120) du moule et éjection (130) de la pièce ;
 - v. aspersion (140) des surfaces moulantes de la cavité moulante, le moule étant ouvert, par un agent démoulant ;
 - vi. fermeture du moule et chauffage (150) de la cavité à la température T1 (105) ;

caractérisé en ce qu'il comprend après l'étape iii) d'ouverture du moule et avant l'étape v) d'aspersion des surfaces moulantes, une étape consistant à :

- iv. chauffer par induction les surfaces moulantes de la cavité alors que la pièce n'est plus en contact avec lesdites surfaces, et poursuivre ce chauffage durant étape v) d'aspersion.
2. Procédé selon la revendication 1, comprenant entre l'étape i) et l'étape ii) un refroidissement forcé de la cavité moulante.
 3. Procédé selon la revendication 2, dans lequel le refroidissement forcé est réalisé par la circulation d'un fluide caloporteur dans un conduit (350) pratiqué dans le moule.
 4. Procédé selon la revendication 1, dans lequel la température T1 (105) est comprise entre 200°C et 400° C.
 5. Procédé selon la revendication 4, dans lequel la température T1 est comprise entre 250°C et 300°C.
 6. Procédé selon la revendication 4 ou 5, dans lequel la température (505) des surfaces moulantes atteinte durant l'étape iv) et avant l'étape v) est supérieure à T1 (105).
 7. Procédé selon la revendication 4, dans lequel le métal est un alliage choisi parmi :
 - un alliage de magnésium de type AM20, AM50, AM60 ou AZ91D,
 - un alliage d'aluminium comprenant moins de 2 % de silicium, et
 - un alliage de zinc d'aluminium, de magnésium et de cuivre de type Zamac.
 8. Procédé selon la revendication 7, dans lequel l'alliage d'aluminium comprenant moins de 2 % de silicium est de type Al-Mg-Si-Mn.

9. Procédé selon la revendication 7 ou 8, dans lequel le métal est injecté en phase liquide au cours de l'étape i).
10. Procédé selon la revendication 7 ou 8, dans lequel le métal est injecté en phase semi-solide au cours de l'étape i).
11. Procédé selon la revendication 1, dans lequel le bloc (311) portant la surface moulante est constitué d'un acier de type HTCS 130.
12. Procédé selon la revendication 1, dans lequel le bloc portant la surface moulante est constitué d'un matériau non ferromagnétique, dans lequel le boyau comprenant l'inducteur est chemisé avec une couche (443) d'un matériau perméabilité magnétique élevée.

1/3

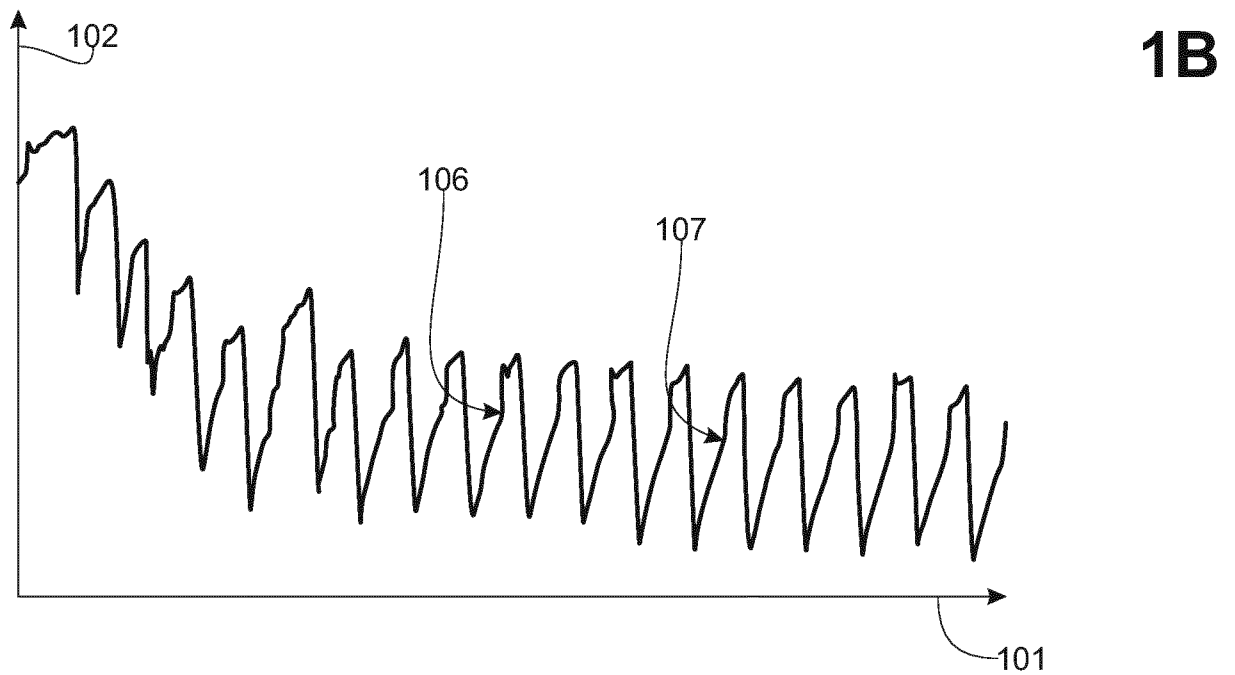
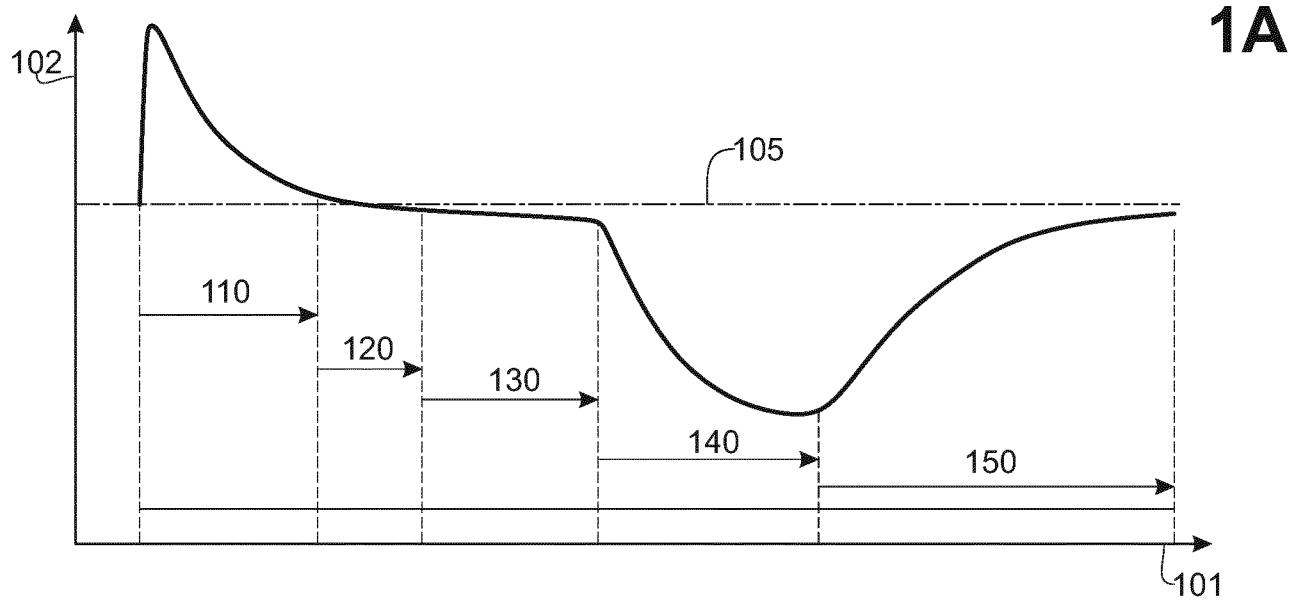
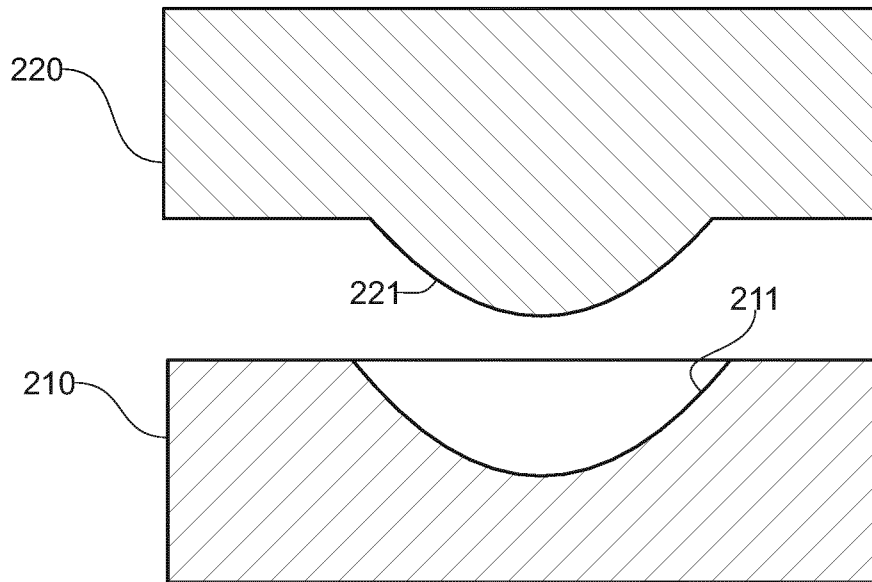
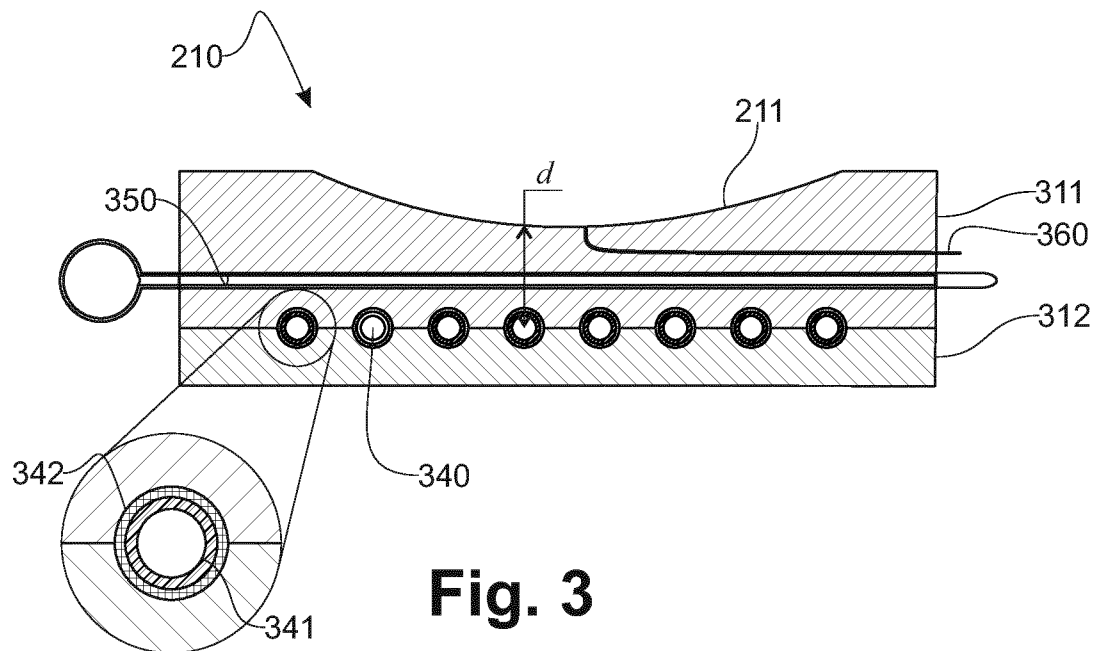
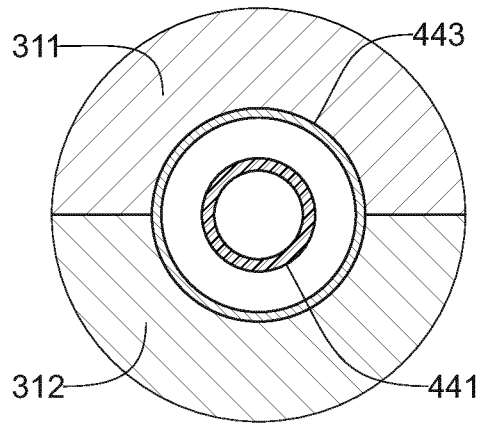
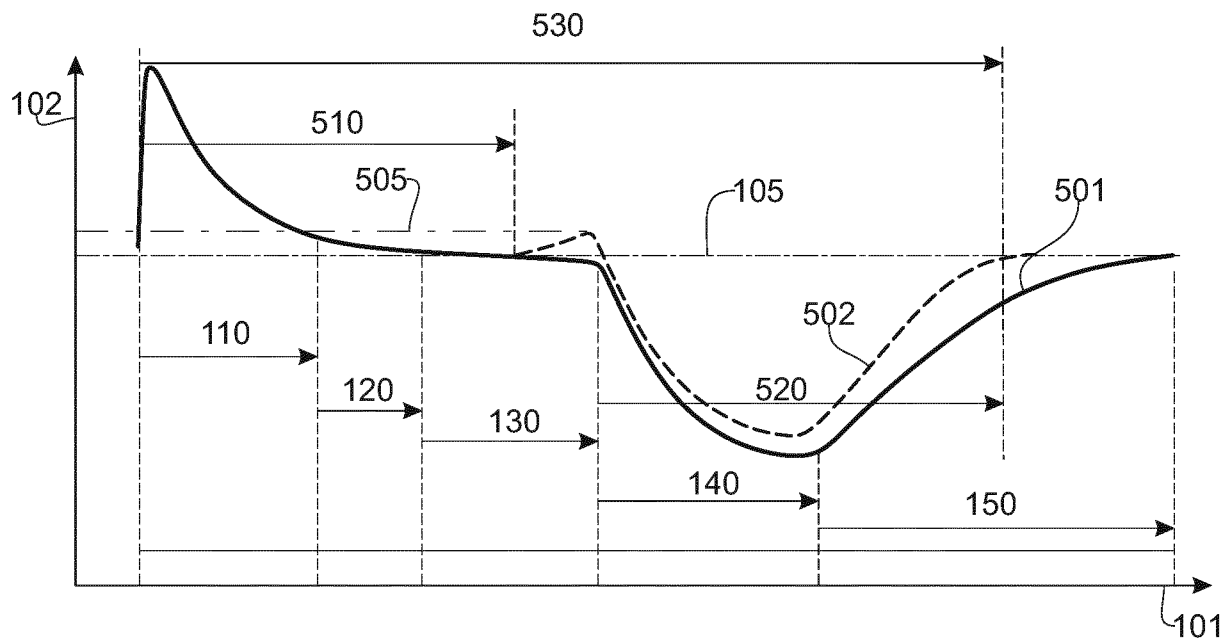


Fig. 1
(art antérieur)

2/3

**Fig. 2****Fig. 3**

3/3

**Fig. 4****Fig. 5**

