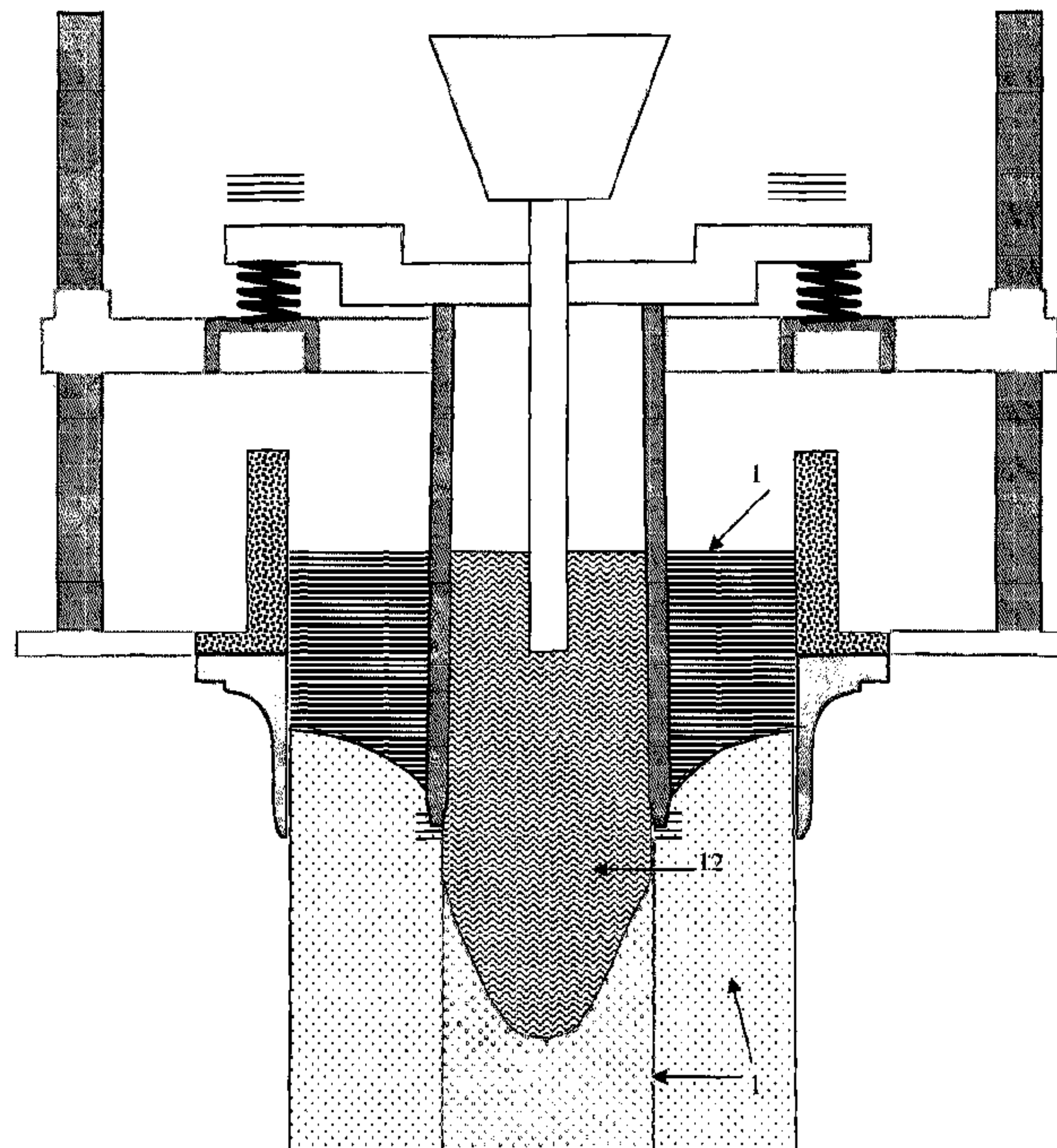




(86) Date de dépôt PCT/PCT Filing Date: 2012/07/10
(87) Date publication PCT/PCT Publication Date: 2013/01/17
(45) Date de délivrance/Issue Date: 2019/03/05
(85) Entrée phase nationale/National Entry: 2014/01/08
(86) N° demande PCT/PCT Application No.: FR 2012/000280
(87) N° publication PCT/PCT Publication No.: 2013/007891
(30) Priorité/Priority: 2011/07/12 (FR1102197)

(51) Cl.Int./Int.Cl. *B22D 11/00* (2006.01)
(72) Inventeurs/Inventors:
JARRY, PHILIPPE, FR;
GUY, SERGE, FR
(73) Propriétaire/Owner:
CONSTELLIUM ISSOIRE, FR
(74) Agent: NORTON ROSE FULBRIGHT CANADA
LLP/S.E.N.C.R.L., S.R.L.

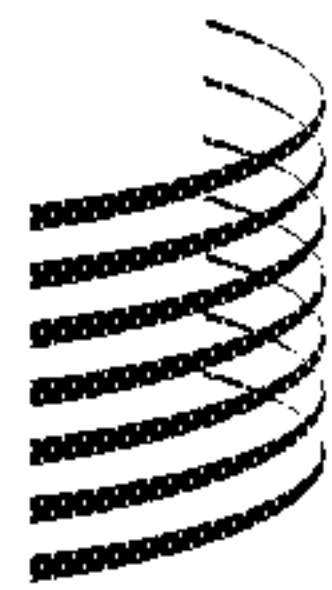
(54) Titre : PROCÉDE DE COULEE SEMI-CONTINUE VERTICALE MULTI-ALLIAGES
(54) Title: MULTI-ALLOY VERTICAL SEMI-CONTINUOUS CASTING METHOD



(57) **Abrégé/Abstract:**

L'invention a pour objet un procédé de coulée semi-continue verticale de plaques ou billettes composites comportant au moins deux couches en alliages d'aluminium à l'aide d'un séparateur au contact du front de solidification, assurant l'étanchéité entre les deux alliages pendant la coulée, et animé d'un mouvement de vibration pendant toute la durée de son contact avec le front de solidification, de telle sorte que ledit séparateur n'est pas pris et entraîné par le métal solide. L'invention a également pour objet un dispositif permettant la mise en œuvre dudit procédé.

(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
17 janvier 2013 (17.01.2013)

WIPO | PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2013/007891 A1(51) Classification internationale des brevets :
B22D 11/00 (2006.01)(FR). GUY, Serge [FR/FR]; 5, rue Georges Clémenceau,
F-38500 Voiron (FR).(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2012/000280(74) Mandataire : SANTARINI, Marc; Constellium CRV,
725, rue Aristide Bergès, BP 27, F-38341 Voreppe (FR).(22) Date de dépôt international :
10 juillet 2012 (10.07.2012)(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, 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, KM, 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, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, 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 :
1102197 12 juillet 2011 (12.07.2011) FR(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) :
CONSTELLIUM FRANCE [FR/FR]; 40-44, rue Wa-
shington, F-75008 Paris (FR).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : JARRY,
Philippe [FR/FR]; 22, quai Perrière, F-38000 Grenoble(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,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : MULTI-ALLOY VERTICAL SEMI-CONTINUOUS CASTING METHOD

(54) Titre : PROCEDE DE COULEE SEMI-CONTINUE VERTICALE MULTI-ALLIAGES

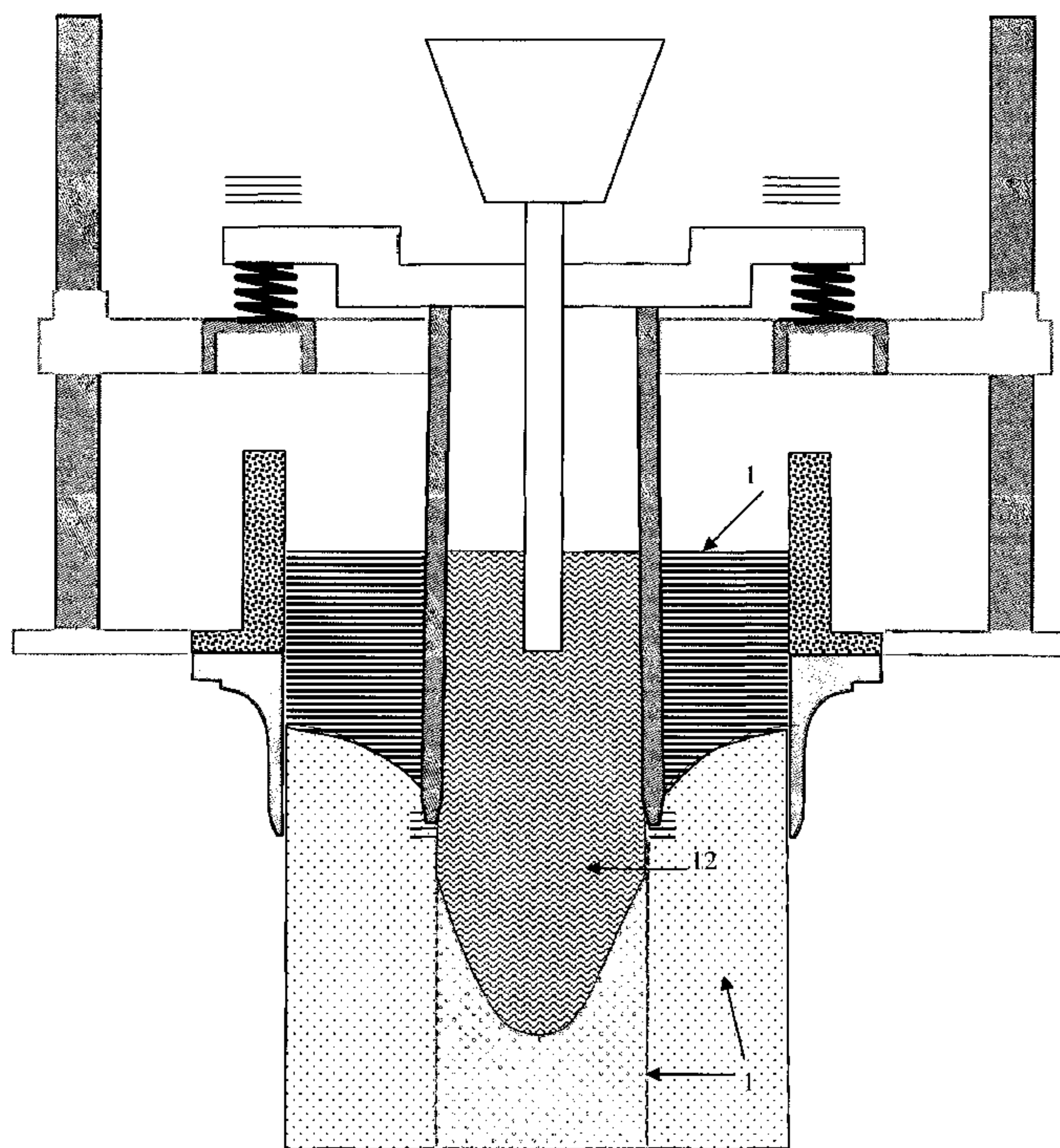


FIG. 4

(57) Abstract : The invention relates to a method for
the vertical semi-continuous casting of composite billets
or plates comprising at least two layers of aluminium al-
loys, using a separator which is in contact with the soli-
dification front and which provides a seal between the two
alloys during casting, said separator being vibrated
while it is in contact with the solidification front, such
that the separator is not moved by the solid metal. The
invention also relates to a device that can be used to car-
ry out said method.(57) Abrégé : L'invention a pour objet un procédé de
coulée semi-continue verticale de plaques ou billettes
composites comportant au moins deux couches en al-
liages d'aluminium à l'aide d'un séparateur au contact du
front de solidification, assurant l'étanchéité entre les
deux alliages pendant la coulée, et animé d'un mouve-
ment de vibration pendant toute la durée de son contact
avec le front de solidification, de telle sorte que ledit sé-
parateur n'est pas pris et entraîné par le métal solide.
L'invention a également pour objet un dispositif permet-
tant la mise en œuvre dudit procédé.

WO 2013/007891 A1

- 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, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Déclarations en vertu de la règle 4.17 :

 - *relative au droit du déposant de revendiquer la priorité de la demande antérieure (règle 4.17.iii))*
- *relative à la qualité d'inventeur (règle 4.17.iv))*

Publiée :

 - *avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))*
 - *avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont reçues (règle 48.2.h))*

Procédé de coulée semi-continue verticale multi-alliages

5 **Domaine de l'invention**

L'invention concerne le domaine de la fabrication de demi-produits tels que les plaques de laminage et les billettes de filage en alliages d'aluminium par coulée semi-continue verticale.

- 10 Plus précisément, l'invention concerne un procédé de coulée semi-continue verticale de plaques ou billettes comportant au moins deux alliages d'aluminium, par coulées simultanées et à l'aide d'au moins un séparateur.

L'invention concerne également le dispositif permettant la mise en œuvre dudit procédé et la fabrication des dites plaques ou billettes.

15

Etat de la technique

- L'aluminium est utilisé de manière croissante dans les domaines de la construction aéronautique et automobile, tant en ce qui concerne les tôles de fuselage, longerons
20 et raidisseurs de voilure, que les tôles de carrosserie ainsi que les échangeurs thermiques brasés pour l'automobile, pour des raisons de limitation du poids, mais aussi pour des réflecteurs optiques ou encore des tôles de blindage, des moules pour thermoplastiques, des pièces de forge, des pièces pour usinage..

- Notamment ces applications de l'aluminium, mais la liste n'est pas exhaustive,
25 nécessitent de trouver un compromis entre des propriétés souvent antagonistes, par exemple résistance mécanique et aptitude à la mise en forme ou résistance mécanique et résistance à la corrosion ou encore aptitude au perçage et au tournage.

- Tous les alliages d'aluminium dont il est question dans ce qui suit sont désignés, sauf
30 mention contraire, selon les désignations définies par l' « Aluminum Association » dans les « Registration Record Series » qu'elle publie régulièrement.

L'utilisation d'alliages homogènes permet de remplir certaines exigences, mais des améliorations substantielles pourraient être obtenues s'il était possible, par exemple, de contrôler une variation de composition entre la surface et le cœur d'une tôle ou entre la surface et le cœur d'un lopin d'extrusion, de forge ou d'usinage, et ainsi de
5 différencier les propriétés de surface des propriétés à cœur.

Des produits plaqués, réalisés par co-laminage à chaud de deux plaques en alliages différents, existent pour certaines applications, comme par exemple :

- Les tôles de brasage, destinées principalement à l'industrie des échangeurs thermiques pour l'automobile notamment; le placage est alors un alliage à plus
10 bas point de fusion que le cœur, et deviendra le métal d'apport qui assurera la liaison entre les pièces à assembler lors du procédé de brasage.
- Des tôles aéronautiques pour lesquelles le placage, en alliage peu chargé en éléments d'alliage, assure une protection contre la corrosion à un alliage de cœur très chargé et à très forte résistance mécanique.
- 15 - Il en va de même dans le domaine des tôles pour carrosserie automobile pour lesquelles le placage, en alliage peu chargé en éléments d'alliage, assure une bonne formabilité, notamment lors des opérations d'emboutissage, pliage ou sertissage, à un alliage de cœur plus chargé à forte résistance mécanique.
- Mais le même principe s'applique aussi pour d'autres produits dits bicouches
20 parmi lesquels les réflecteurs optiques, avec un alliage quelconque peu onéreux revêtu d'un alliage d'aluminium de haute pureté ou encore les produits bicouches pour blindage dans le domaine militaire.

Ce procédé de co-laminage à chaud ne peut toutefois pas s'appliquer à toutes les
25 familles d'alliages notamment aux alliages contenant du magnésium et/ou du zinc en quantité significative (produits destinés en particulier à l'industrie automobile, aéronautique ou autre) en raison de l'oxydabilité de surface des alliages riches en Mg et/ou en Zn. Il nécessite par ailleurs très souvent un double laminage à chaud, ce qui n'est favorable ni du point de vue de la productivité, ni du point de vue économique.

30

De ce fait, des procédés permettant la coulée simultanée de deux couches d'alliages, appelée encore coulée bi-alliage, ont été proposés en coulée semi-continue verticale.

La demande WO 03/035305 A1, ou encore le brevet US 7,407,713 B2, de la société Alcoa Inc., ainsi que d'autres demandes ou brevets de la même famille, divulguent l'utilisation d'un séparateur sous forme d'une feuille métallique qui se dévide en étant prise par le front de solidification et entraînée par le métal solide lors de la descente de la plaque. Ce séparateur demeure dans la plaque finalement obtenue.

5 Cette solution présente l'inconvénient d'une mise en œuvre techniquement incommode, du fait notamment de la nécessité de préchauffage d'une longueur importante de ladite feuille métallique, des problèmes d'encombrement mutuel avec les systèmes d'alimentation en métal liquide et surtout du fait de l'introduction, dans

10 le métal liquide, de deux surfaces oxydées, la liaison métallurgique n'étant pas de ce fait garantie et les risques de délaminage ultérieurs non négligeables.

Le brevet US 4,567,936 de Kaiser Aluminum & Chemical Corporation revendique, quant à lui, une coulée bi-alliage dans laquelle l'âme est entièrement encapsulée dans

15 la couche d'alliage de couverture. Cette couche extérieure est préalablement solidifiée et l'alliage d'âme est coulé à l'intérieur de cette coquille. Dans cette configuration, l'alliage extérieur doit avoir un liquidus significativement plus élevé que l'alliage d'âme. De plus la surface interne de la couche extérieure est nécessairement oxydée et il est à nouveau difficile de garantir une liaison

20 métallurgique entre les deux couches. La principale revendication du brevet consiste d'ailleurs à protéger l'alliage intérieur, du type Al-Li, du refroidissement direct par l'eau.

Les demandes US 2005/0011630 A1 et US 2010/0025003 A1, de Novelis Inc,

25 reposent sur une idée analogue, sans l'encapsulation complète de l'âme dans l'alliage de couverture. Elles décrivent un procédé permettant d'obtenir une interface saine puisque le séparateur est en fait constitué par la couche transitoirement solidifiée de l'alliage interne. Il est connu de l'homme du métier sous le nom de « Fusion™ ».

Ce procédé est donc mieux adapté aux couples d'alliages pour lesquels le liquidus de

30 l'alliage extérieur est inférieur à celui de l'alliage intérieur. Dans les autres combinaisons d'alliages, l'obtention d'une liaison métallurgique exige une maîtrise très délicate des phases thermiques transitoires, et peut, dans certains cas, s'avérer tout simplement impossible.

La demande DE 44 20 697 A1 de « Institut für Verformungskunde und Hüttenmaschinen » de Leoben repose sur le principe d'un séparateur exogène amené à proximité du front de solidification. Toutefois, cette configuration exige que celui-ci soit positionné et demeure à une distance si petite soit-elle du front pour éviter la prise par solidification. De ce fait, s'installe une convection significative sous le séparateur qui induit un mélange relativement prononcé des deux alliages et ne permet pas une véritable séparation.

10 La demande WO 2009/024601 A1 d'Aleris Aluminium Koblenz GmbH revendique aussi l'utilisation d'un séparateur ; celui-ci est introduit en partie centrale, soit à mi-épaisseur de la plaque où à nouveau se forme une zone de mélange qu'il est difficile de contrôler de façon reproductible, donc industrielle ; de plus le procédé est limité par le fait que les épaisseurs des deux couches sont égales par construction. Or la
15 plupart des applications industrielles requièrent au contraire des couches d'épaisseurs très inégales.

Problème posé

20 L'invention vise à résoudre ces difficultés en permettant l'introduction d'un séparateur au contact direct du front de solidification sans qu'il soit pris par le métal qui se solidifie et entraîné par le solide ; de cette façon, il s'agit d'assurer l'étanchéité entre les deux alliages en limitant le mélange éventuel, via la zone semi-solide même s'il existe une différence de niveau de part et d'autre du séparateur.

25

Objet de l'invention

L'invention a pour objet un procédé de coulée semi-continue verticale à refroidissement direct de plaques de laminage ou billettes de filage dans lequel un
30 séparateur et deux moyens d'alimentation en métal liquide, typiquement des busettes ou goulottes, disposés de part et d'autre dudit séparateur sont utilisés, comportant les étapes suivantes:

- a) Coulée d'un premier alliage d'aluminium dans un moule de coulée semi-continue verticale à l'aide d'une première busette,
- b) Mise en place dudit séparateur métallique ou en matériau réfractaire dans le moule, au contact du front de solidification,
- 5 c) Coulée d'un deuxième alliage d'aluminium de l'autre côté dudit séparateur à l'aide de la deuxième busette,
- d) Relèvement dudit séparateur sensiblement en même temps que l'arrêt de la coulée des alliages ou légèrement avant ledit arrêt, autorisant alors un mélange des alliages dans une zone de fin de coulée de la plaque ou billette,
- 10 e) Retrait de la plaque ou billette solidifiée du moule de coulée semi-continue, caractérisé en ce que ledit séparateur est animé d'un mouvement de vibration, à l'aide d'un vibreur, au moins pendant toute la durée de son contact avec le front de solidification, de telle sorte que ledit séparateur n'est pas pris et entraîné par le métal solide.

Préférentiellement ledit séparateur est relevé légèrement avant l'arrêt de la coulée, autorisant le mélange entre les alliages dans une zone correspondant à ladite fin de coulée, et cette zone est ensuite éboutée.

Ce procédé présente un intérêt tout particulier lorsque lesdits alliages ont des compositions différentes, autorisant la coulée de plaques ou billettes bi-alliages. Avantageusement, la zone de début de coulée obtenue avant introduction du séparateur et coulée du deuxième alliage, constituée d'un seul premier alliage, est également éboutée.

Le séparateur peut être une plaque sensiblement plane dont la découpe en partie inférieure épouse une section verticale du front de solidification en traversant le moule de part en part pour la coulée de plaques ou billettes présentant des couches d'alliages différents superposées.

25 Il peut aussi être un corps cylindrique creux respectant généralement, mais pas obligatoirement, la symétrie géométrique du produit pour la coulée de billettes composites, mais aussi un corps creux à section sensiblement rectangulaire pour la coulée de plaques dites fourrées intérieurement d'un alliage différent de l'alliage extérieur.

Dans ce dernier cas, la section sensiblement rectangulaire du séparateur peut être à coins arrondis, de façon à épouser une section horizontale du front de solidification

de la plaque coulée, ou de section parfaitement rectangulaire. Dans ce dernier cas, ledit séparateur est alors délimité en partie inférieure par une surface plane à angles retroussés de façon épouser la forme du front de solidification dans lesdits coins.

En ce qui concerne les matériaux, ledit séparateur peut être en matériau métallique
5 du type acier ou métal réfractaire tel que notamment molybdène ou tungstène, mais ceci n'étant pas limitatif.

Il peut aussi être réalisé en matériau réfractaire à base de céramique ou de céramique renforcée de fibre de verre.

Pour ce qui est de la vibration dudit séparateur, elle est de faible amplitude,
10 typiquement de l'ordre de la centaine de μm à des fréquences de l'ordre de la centaine de Hz jusqu'à des fréquences ultrasoniques.

Cette vibration est produite par un vibreur choisi dans le groupe des vibreurs pneumatiques, électriques ou par ultra-sons, sans caractère limitatif.

Préférentiellement la fréquence de vibration est de 100 à 20000 Hz et,
15 avantageusement, l'amplitude de vibration est de 100 à 200 μm .

Selon un mode particulier, lesdits premier et deuxième alliages sont de compositions identiques. En effet, la demanderesse a pu constater que la vibration avait pour effet positif de réduire les meso-ségrégations dendritiques.

Par extension, le procédé peut s'appliquer à la coulée de plus de deux alliages
20 mettant alors en œuvre plus d'un séparateur.

L'invention a également pour objet le moyen de mise en œuvre dudit procédé, à savoir un dispositif de coulée semi-continue verticale à refroidissement direct de plaques ou billettes comportant un moule de coulée semi-continue verticale tubulaire
25 cylindrique ou rectangulaire, à extrémités ouvertes, à l'exception de l'extrémité inférieure fermée en début de coulée par un faux fond qui se déplace en descendant grâce à un descenseur au cours de la coulée de la plaque ou billette, l'extrémité supérieure étant destinée à l'alimentation en métal, l'extrémité inférieure à la sortie de la plaque ou billette, ladite extrémité supérieure étant munie de deux
30 moyens d'alimentation en métal liquide, typiquement des busettes ou goulottes, et d'un séparateur apte à être introduit dans le moule, dans le marais de métal liquide au contact du front de solidification, divisant par la même le marais en deux zones distinctes, caractérisé en ce que ledit séparateur est relié à un vibreur permettant de

l'animer d'un mouvement de vibration typiquement multidirectionnelle, au moins pendant toute la durée de son contact avec le front de solidification, la vibration étant du type à faible amplitude, typiquement de l'ordre de la centaine de μm , préférentiellement de 100 à 200 μm , à des fréquences de l'ordre de la centaine de Hz jusqu'à des fréquences ultrasoniques, et préférentiellement de 100 à 20000 Hz.

Comme dit plus haut, le séparateur peut être une plaque sensiblement plane ou un corps cylindrique creux associé à un moule tubulaire de section sensiblement circulaire, ou encore un corps creux à section sensiblement rectangulaire associé à un moule tubulaire de section sensiblement rectangulaire.

Dans ce dernier cas, la section sensiblement rectangulaire dudit séparateur peut être à coins arrondis.

Ladite section peut aussi être parfaitement rectangulaire et ledit séparateur est alors délimité en partie inférieure par une surface plane à angles retroussés pour épouser la forme du front de solidification dans les dits coins.

En ce qui concerne les matériaux, ledit séparateur peut être en matériau métallique du type acier ou métal réfractaire tel que notamment molybdène ou tungstène, mais ceci n'étant pas limitatif.

Il peut aussi être réalisé en matériau réfractaire à base de céramique ou de céramique renforcée de fibre de verre.

En ce qui concerne la vibration, elle est produite par un vibreur choisi dans le groupe des vibreurs pneumatiques, électriques ou par ultrasons.

Bien évidemment, par extension, ledit dispositif peut comporter plus d'un séparateur, plus de deux moyens d'alimentation en métal liquide, pour la coulée de plaques ou billettes comportant plus de deux alliages d'aluminium.

25

Description des figures

La figure 1 représente en coupe la première phase de coulée du premier alliage 1, dans le moule 6 muni d'une rehausse en matériau réfractaire 7, sur le « siège » ou « fond de coulée » 8, appelé encore faux fond, le front de solidification portant le repère 2, le séparateur 3, ici du type rectangle ou cylindre, étant fixé au plateau 4 auquel est lui-même fixé le vibreur (non représenté) relié au montage 5

par des ressorts souples, ledit montage se déplaçant de haut en bas grâce à des guides
9.

La figure 2 représente la deuxième phase au cours de laquelle le séparateur 3 est amené au contact du front de solidification et la vibration 10 enclenchée.

5 La figure 3 représente la troisième phase au cours de laquelle la busette d'alimentation 11 en deuxième alliage 12 est mise en place et le deuxième alliage coulé.

La figure 4 correspond au régime permanent, le deuxième alliage 12 se trouvant à cœur de la plaque ou billette et le premier 1 en partie basse à ébouter,
10 mélangé au deuxième alliage, et en périphérie.

La figure 5 représente le % en Zn d'une section transversale de la plaque bi-alliage de l'exemple 2 avec extérieur en alliage AA5083 et âme en alliage AA7449 en fonction de la distance d en mm d'une face externe de la plaque dans le sens de l'épaisseur, obtenu par spectrométrie d'étincelle.

15 La figure 6 représente le % en Zn d'une section transversale de la plaque bi-alliage de l'exemple 2 avec extérieur en alliage AA6016 et âme en alliage AA7021 en fonction de la distance d en mm d'une face externe de la plaque dans le sens de l'épaisseur, obtenu par spectrométrie d'étincelle.

20 Description de l'invention

Pour empêcher l'entraînement du séparateur par le métal solide, l'invention consiste à animer le séparateur d'un mouvement vibratoire de faible amplitude, typiquement de 100 à 200 μm , qui, brisant les dendrites qui se forment à son contact, repousse
25 localement la cohérence dendritique vers des fractions solidifiées plus élevées et garantit ainsi que le séparateur ne soit pas entraîné par le métal solide. Plusieurs types de vibreurs peuvent être utilisés : pneumatiques, électriques, par ultrasons, etc..., produisant une vibration d'une fréquence typiquement de 100 à 20000 Hz.

Le séparateur peut être un corps cylindrique creux, de préférence délimité en partie
30 inférieure par un plan horizontal, et dont la section épouse alors une section horizontale du front de solidification, de façon à obtenir une bonne étanchéité. La section transversale du séparateur est, pour les plaques rectangulaires, calculée par modélisation thermique 3D du front de solidification et prend la forme d'un rectangle

à coins arrondis selon une loi précise. Il est possible, si l'on souhaite que la séparation des alliages intervienne à distance constante des surfaces de la plaque, y compris près des chants, de concevoir un séparateur de section parfaitement rectangulaire ; en partie inférieure il n'est alors plus délimité par un plan, mais par
5 une surface plane dont les angles sont retroussés pour épouser la forme du front dans les coins, et qui peut également être calculée par modélisation thermique 3D du front. Pour les billettes, la section du séparateur est bien entendu circulaire. Plusieurs types de séparateurs peuvent être employés : en matériau réfractaire non métallique, ou en matériau métallique (acier, métaux réfractaires tels que notamment Mo ou W) avec,
10 selon les cas, un revêtement protecteur contre l'attaque par l'aluminium liquide.

Cette configuration permet de respecter, si nécessaire, la symétrie géométrique et thermique de la plaque ou de la billette bi-alliage. Ce concept de plaque ou billette « fourrée », dans lequel une âme d'un premier alliage est totalement incluse dans un second alliage, offre en outre des possibilités nouvelles par rapport aux procédés
15 existants. En effet, grâce à la présence de l'alliage extérieur sur les côtés de la plaque (ce qui n'est pas le cas pour le procédé Fusion™, ni pour les procédés de colaminage), on peut envisager la transformation par laminage d'alliages de cœur très chargés en magnésium (plus de 5 %, voire 7 %) en Zn (jusqu'à 15% voire plus) en Cu (jusqu'à 5% voire plus), en Li (jusqu'à 2% voire plus), en Si (y compris à teneur
20 hypereutectique), ou en une combinaison de ces éléments, tout en évitant un phénomène de fissuration à partir des bords, rencontré aujourd'hui lors de tentatives de laminage à chaud de ce type de multicouche.

Ces compositions conduisent à un bon compromis résistance mécanique / formabilité et l'enrobage peut permettre en outre d'améliorer notamment leur résistance à la
25 corrosion et/ou leur formabilité. Cela ouvre de nouvelles possibilités d'applications pour l'aluminium, en particulier pour la fabrication de pièces de forme très complexes, notamment dans l'automobile, l'aéronautique, le transport, l'industrie mécanique etc.

Tel est le cas notamment de la combinaison d'un alliage d'âme de la famille
30 AA7xxx, très chargé en éléments d'alliage durcissants, notamment du type AA7021, ou AA5xxx également très chargé, et d'un alliage de périphérie ou de placage de la famille AA6xxx, notamment du type AA6016, pour application à des tôles de carrosserie automobile.

Tel est encore le cas de la combinaison d'un alliage d'âme à nouveau de la famille AA7xxx, très chargé en éléments d'alliage durcissants, notamment du type AA7449, et d'un alliage de périphérie ou de placage de la famille AA5xxx, notamment du type AA5083, pour application à des tôles de blindage.

5

La fabrication de billettes fourrées peut présenter l'avantage supplémentaire de permettre l'extrusion très rapide d'alliages durs protégés par une gaine en alliage moins dur, afin de pouvoir mettre en solution l'alliage dur sur simple chaleur de filage : en effet les vitesses de filage nécessaires sont impraticables sur les alliages durs en raison de leur mauvaise filabilité. Du fait que l'alliage dur est entouré d'une couche d'alliage « mou », l'ensemble devient plus facilement filable et à plus grande vitesse autorisant précisément la mise en solution de l'alliage dur sur simple chaleur de filage. Cette spécificité est particulièrement intéressante, notamment dans le cas du filage inverse.

15 Le séparateur peut aussi être constitué d'une plaque plane découpée de façon à ce qu'elle épouse une section verticale du front de solidification parallèle à l'une des faces de la plaque, ou à l'une des génératrices dans le cas des billettes. Dans ce cas on n'obtient plus une plaque ou une billette fourrée, mais des produits bi-couches, voire tri-couches si l'on utilise deux séparateurs plans, voire plus.

20 Dans tous les cas, le séparateur peut ne pas respecter la symétrie géométrique et thermique de la plaque ou billette pour obtenir des épaisseurs de couches différentes sur les différentes faces.

En pratique, la coulée des plaques ou billettes fourrées est démarrée avec le seul alliage de périphérie. Puis le séparateur est introduit dans le métal liquide, mis en vibration, abaissé au contact du front tandis que la goulotte d'amenée de l'alliage d'âme est abaissée de conserve, de façon à alimenter l'intérieur du séparateur avec l'alliage d'âme. Tant que la vibration est activée, elle empêche la prise du séparateur par le front. L'expérience montre qu'il est possible d'obtenir des différences de niveaux entre les deux côtés du séparateur, dans un sens ou dans un autre, ce qui est la preuve d'une bonne étanchéité. En fin de coulée, le séparateur est relevé : il y a donc mélange entre les deux alliages. Cette zone doit être éboutée, à moins que l'on souhaite délibérément obtenir une variation de composition dans la longueur de la plaque ou de la billette coulée, les alliages ayant été choisis en conséquence. C'est un

25
30

degré de liberté supplémentaire offert par le procédé de coulée avec séparateur vibrant.

Dans le cas où le séparateur est constitué d'une « simple » plaque plane pour la coulée de produits bi-couche, voire tri-couche si l'on utilise deux séparateurs plans, la coulée est démarrée avec un seul alliage. Puis le séparateur plaque est introduit
5 dans le métal liquide, mis en vibration, abaissé au contact du front tandis que la goulotte d'amenée de l'autre alliage est abaissée de conserve de façon à alimenter l'autre côté du séparateur avec l'autre alliage. La suite de la coulée s'effectue comme dans le cas précédent.

10 Bien entendu, quelle que soit la configuration, billette ou plaque fourrée, ou bicouche simple, outre les applications du type alliage à haute résistance mécanique / alliage à bonne formabilité pour tôles pour carrosserie automobile ou bicouches pour tôles de blindage, ce procédé permet aussi de couler des produits tels que des bicouches avec cœur en alliage quelconque et placage en alliage d'aluminium de haute pureté pour
15 application notamment aux produits dits « grand brillant », ou alliage d'âme plaqué d'un alliage de couverture pour les applications à des tôles de brasage, ou encore bicouches pour longerons et raidisseurs de voilure, cette liste n'étant pas exhaustive.

L'invention peut également s'appliquer pour la réalisation de lingots, plaques, ou
20 billettes, comportant plus de deux couches en alliages d'aluminium en utilisant alors plus d'un séparateur.

Dans ses détails, l'invention sera mieux comprise à l'aide des exemples ci-après, qui n'ont toutefois pas de caractère limitatif.

25

Exemples

Exemple 1

30 Ce premier essai n'est pas conforme à l'invention car le séparateur, du type plaque, ne traverse pas le moule de part en part et une seule coulée d'un seul alliage a été mise en œuvre, mais il était destiné à démontrer l'efficacité de la vibration pour éviter l'entraînement de la plaque par le métal solidifié.

Une plaque monobloc, en composite réfractaire / fibres de verre, a été introduite et vibrée dans le marais d'une coulée de plaque de laminage en alliage AA1050 d'une section transversale de 1100x300mm.

La plaque réfractaire mesurait 200mm de large. Elle a été introduite parallèlement à la grande face de laminage, à 65mm de la paroi du moule.

La vibration de la plaque de réfractaire était assurée par un vibreur pneumatique du type « Netter NTC » tel que ceux utilisés pour la vidange des silos à grains et autres trémies. Il s'agit d'une vibration multidirectionnelle de faible amplitude.

La plaque vibrée a été amenée et maintenue au contact du front de solidification.

Des sondages à l'aide d'une baguette ont permis de s'assurer de l'effectivité de ce contact. Différentes pressions du vibreur pneumatique (entre 2 bars et 4 bars) ont été testées, de telle sorte que, compte-tenu des fréquences propres de vibration du montage, on obtienne une amplitude de vibration de l'ordre de 100 à 200µm à une fréquence de l'ordre de 100Hz.

En fin de coulée, après 400mm coulés avec la plaque sur le front (réglage 4 bars), l'air comprimé a été coupé, et donc la vibration.

La plaque a alors immédiatement été prise par le front.

Exemple 2

20

Dans cet essai ont été coulées:

- une plaque bi-alliage avec périphérie en alliage AA5083 et âme en alliage AA7449, typique pour une application comme tôle de blindage.

- une plaque bi-alliage avec périphérie en alliage AA6016 et âme en alliage AA7021, typique pour une application en carrosserie automobile.

Les dimensions de la section transversale totale des plaques étaient de 1100 x 300mm.

Pour ces essais un séparateur monobloc en composite réfractaire / fibres de verre, dont la section transversale, sensiblement rectangulaire, épousait le front de solidification dans un plan horizontal, a été fabriqué et utilisé de façon à obtenir une couche d'alliage extérieur de 75mm d'épaisseur en périphérie de plaque.

13

Aux courbures près dans les angles, dictées par la forme du front de solidification dans ces zones, l'âme était homothétique à la section totale, avec des dimensions typiques de 950x150mm.

L'épaisseur du séparateur était de 12mm sur toute sa hauteur et passait
5 progressivement à 4mm en extrémité basse, sur une hauteur de 15mm.

En pratique, après le démarrage avec l'alliage de périphérie, le séparateur a été introduit dans le marais, descendu au contact du front de solidification, tout en le faisant vibrer dans les mêmes conditions que celles de l'exemple 1, de telle sorte qu'il ne soit pas emporté par le métal solide.

10 La vibration a été obtenue grâce au même vibreur pneumatique vissé sur le cadre métallique de support du séparateur. Ce support coulissait sur des tiges de guidage verticales et était motorisé à l'aide d'un système de vis sans fin.

La goulotte amenant l'alliage d'âme a été alors abaissée et la cavité interne du séparateur alimentée.

15 L'étanchéité, donc la séparation des alliages, a été bien assurée, ce qu'a démontré l'observation pendant les coulées d'une différence de niveau entre l'intérieur et l'extérieur du séparateur, au gré des petites variations de débit de chacun des alliages. Il a été observé sur tranches de plaques que la structure granulaire était localement plus fine à l'emplacement du séparateur, probablement en raison de l'action
20 mécanique de la vibration sur les dendrites.

Une mesure en spectrométrie par étincelle de la teneur en zinc d'une section transversale pour les deux types de plaque en fonction de la distance d en mm d'une face externe de la plaque dans le sens de l'épaisseur a été réalisée.

Ces profils de composition sont représentés en figures 5 et 6 et confirment la
25 séparation tout à fait effective des alliages.

Revendications

1. Procédé de coulée semi-continue verticale à refroidissement direct de plaques de laminage ou billettes de filage, dans lequel un séparateur et deux moyens d'alimentation en métal liquide, disposés de part et d'autre dudit séparateur sont utilisés, comportant les étapes suivantes:
 - a) a) Coulée d'un premier alliage d'aluminium dans un moule de coulée semi-continue verticale à l'aide d'une première busette,
 - b) Mise en place dudit séparateur métallique ou en matériau réfractaire dans le moule, au contact du front de solidification,
 - 10 c) c) Coulée d'un deuxième alliage d'aluminium de l'autre côté dudit séparateur à l'aide de la deuxième busette,
 - d) Relèvement dudit séparateur sensiblement en même temps que l'arrêt de la coulée des alliages ou légèrement avant ledit arrêt, autorisant alors un mélange des alliages dans une zone de fin de coulée de la plaque ou billette,
 - 15 e) Retrait de la plaque ou billette solidifiée du moule de coulée semi-continue, caractérisé en ce que ledit séparateur est animé d'un mouvement de vibration, à l'aide d'un vibreur, au moins pendant toute la durée de son contact avec le front de solidification, de telle sorte que ledit séparateur n'est pas pris et entraîné par le métal solide.
- 20 2. Procédé selon la revendication 1 caractérisé en ce que les moyens d'alimentation en métal liquide sont des busettes ou goulottes.
3. Procédé selon la revendication 1 ou 2 caractérisé en ce que ledit séparateur est relevé légèrement avant l'arrêt de la coulée, autorisant le mélange entre les alliages dans une zone correspondant à ladite fin de coulée, et en ce que cette zone est ensuite éboutée.
- 25 4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3 caractérisé en ce que lesdits alliages ont des compositions différentes.

5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4 caractérisé en ce que la zone de début de coulée avant introduction du séparateur et coulée du deuxième alliage est également éboutée.
- 5 6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5 caractérisé en ce que ledit séparateur est une plaque sensiblement plane dont la découpe épouse une section verticale du front de solidification en traversant le moule de part en part.
7. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5 caractérisé en ce que ledit séparateur est un corps cylindrique creux.
- 10 8. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5 caractérisé en ce que ledit séparateur est un corps creux à section sensiblement rectangulaire.
9. Procédé selon la revendication 8 caractérisé en ce que la section sensiblement rectangulaire est à coins arrondis, de façon à épouser une section horizontale du front de solidification de la plaque coulée.
- 15 10. Procédé selon la revendication 8 caractérisé en ce que le corps creux est de section parfaitement rectangulaire ayant des coins et est alors délimité en partie inférieure par une surface plane à angles retroussés de façon à épouser la forme du front de solidification dans lesdits coins.
11. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 10 caractérisé en ce que ledit séparateur est en matériau métallique du type acier ou métal réfractaire.
- 20 12. Procédé selon la revendication 11 caractérisé en ce que le métal réfractaire est molybdène ou tungstène.
13. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 10 caractérisé en ce que ledit séparateur est en matériau réfractaire à base de céramique ou de céramique renforcée de fibre de verre.
- 25 14. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 13 caractérisé en ce que la vibration dudit séparateur est à faible amplitude.

15. Procédé selon la revendication 14, caractérisé en ce que l'amplitude est de l'ordre de la centaine de μm à des fréquences de l'ordre de la centaine de Hz jusqu'à des fréquences ultrasoniques.
- 5 16. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 15 caractérisé en ce que la vibration est produite par un vibreur choisi dans le groupe des vibrateurs pneumatiques, électriques et par ultrasons.
17. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 15 caractérisé en ce que la fréquence de vibration est de 100 à 20000 Hz.
- 10 18. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 17 caractérisé en ce que l'amplitude de vibration est de 100 à 200 μm .
19. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3 caractérisé en ce que lesdits premier et deuxième alliages sont de compositions identiques.
20. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 19 modifié en ce qu'il est appliqué à la coulée de plus de deux alliages utilisant alors plus d'un séparateur.
- 15 21. Dispositif de coulée semi-continue verticale à refroidissement direct de plaques ou billettes, comportant un moule de coulée semi-continue verticale tubulaire cylindrique ou rectangulaire, à extrémités ouvertes, à l'exception de l'extrémité inférieure fermée en début de coulée par un faux fond qui se déplace en descendant grâce à un descenseur au cours de la coulée de la plaque ou billette, l'extrémité supérieure étant destinée à l'alimentation en métal, l'extrémité inférieure à la sortie de la plaque ou billette, ladite extrémité supérieure étant munie de deux moyens d'alimentation en métal liquide, et d'un séparateur apte à être introduit dans le moule, dans le marais de métal liquide au contact du front de solidification, divisant par la même le marais en deux zones distinctes, caractérisé en ce que ledit séparateur est

20

25 relié à un vibreur permettant de l'animer d'un mouvement de vibration, au moins pendant toute la durée de son contact avec le front de solidification, la vibration étant du type à faible amplitude, à des fréquences de l'ordre de la centaine de Hz jusqu'à des fréquences ultrasoniques.

22. Dispositif selon la revendication 21 caractérisé en ce que les moyens d'alimentation en métal liquide sont des busettes ou goulottes.
23. Dispositif selon la revendication 21 ou 22 caractérisé en ce que le mouvement de vibration est multidirectionnelle.
- 5 24. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 21 à 23 caractérisé en ce que l'amplitude est de l'ordre de la centaine de μm .
25. Disposition selon l'une quelconque des revendications 21 à 23 caractérisé en ce que l'amplitude est de 100 à 200 μm .
- 10 26. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 21 à 24 caractérisé en ce que les fréquences sont de 100 à 20000 Hz.
27. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 21 à 26 caractérisé en ce que ledit séparateur est une plaque sensiblement plane.
- 15 28. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 21 à 26 caractérisé en ce que ledit séparateur est un corps cylindrique creux associé à un moule tubulaire de section sensiblement circulaire.
29. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 21 à 26 caractérisé en ce que ledit séparateur est un corps creux à section sensiblement rectangulaire associé à un moule tubulaire de section sensiblement rectangulaire.
- 20 30. Dispositif selon la revendication 29 caractérisé en ce que la section sensiblement rectangulaire dudit séparateur est à coins arrondis.
31. Dispositif selon la revendication 29 caractérisé en ce que ledit séparateur est une section parfaitement rectangulaire ayant des coins et est délimité en partie inférieure par une surface plane à angles retroussés pour épouser la forme du front de solidification dans les dits coins.

32. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 21 à 31 caractérisé en ce que ledit séparateur est en matériau métallique du type acier ou métal réfractaire.
33. Dispositif selon la revendication 32 caractérisée en ce que le métal réfractaire est molybdène ou tungstène.
- 5 34. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 21 à 31 caractérisé en ce que ledit séparateur est en matériau réfractaire à base de céramique ou de céramique renforcée de fibre de verre.
- 10 35. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 21 à 34 caractérisé en ce que la vibration est produite par un vibreur choisi dans le groupe des vibreurs pneumatiques, électriques et par ultrasons.
36. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 21 à 35 modifié en ce qu'il comporte plus d'un séparateur, plus de deux moyens d'alimentation en métal liquide, pour la coulée de plaques ou billettes comportant plus de deux alliages d'aluminium.

1/5

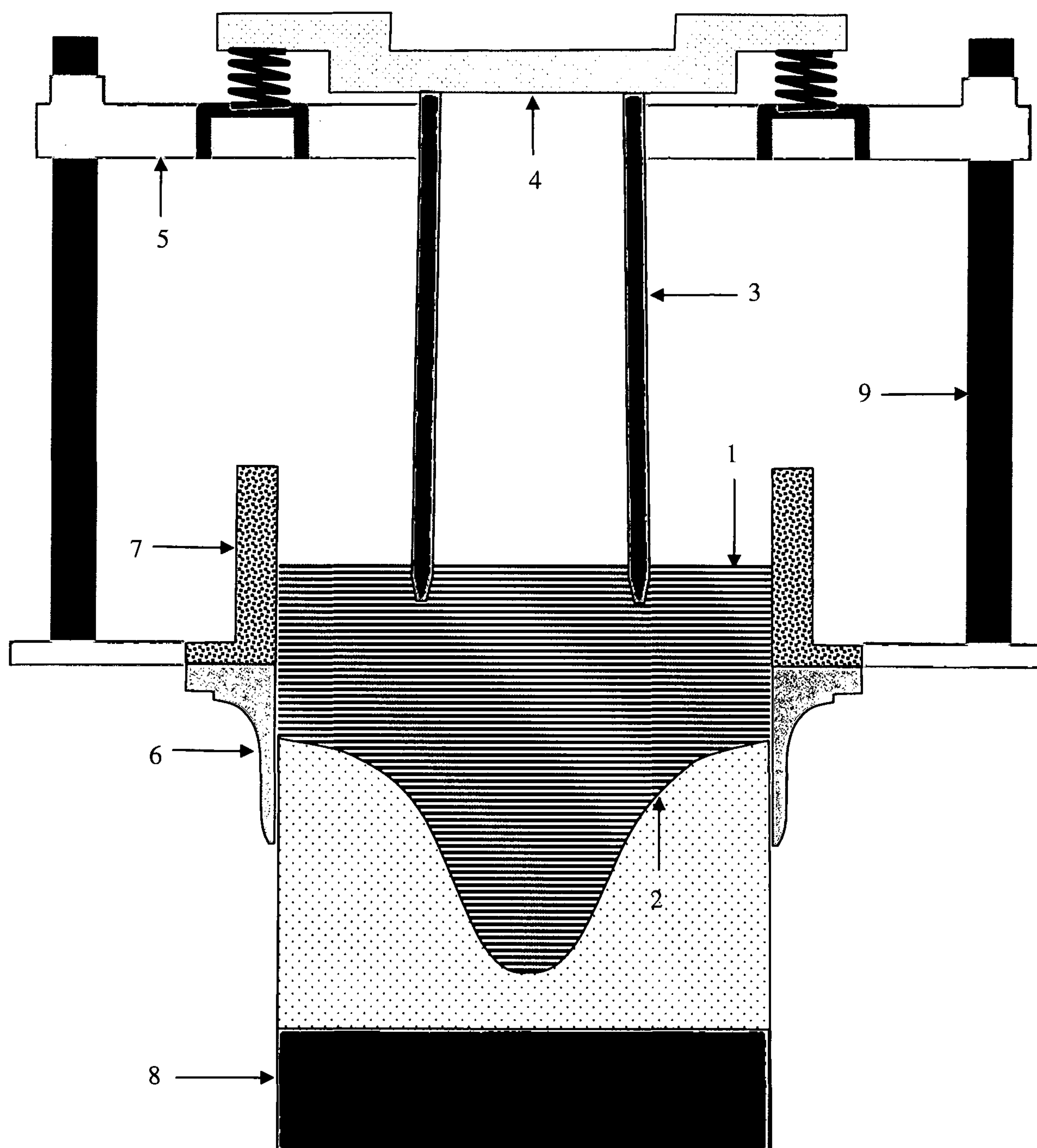


FIG. 1

2/5

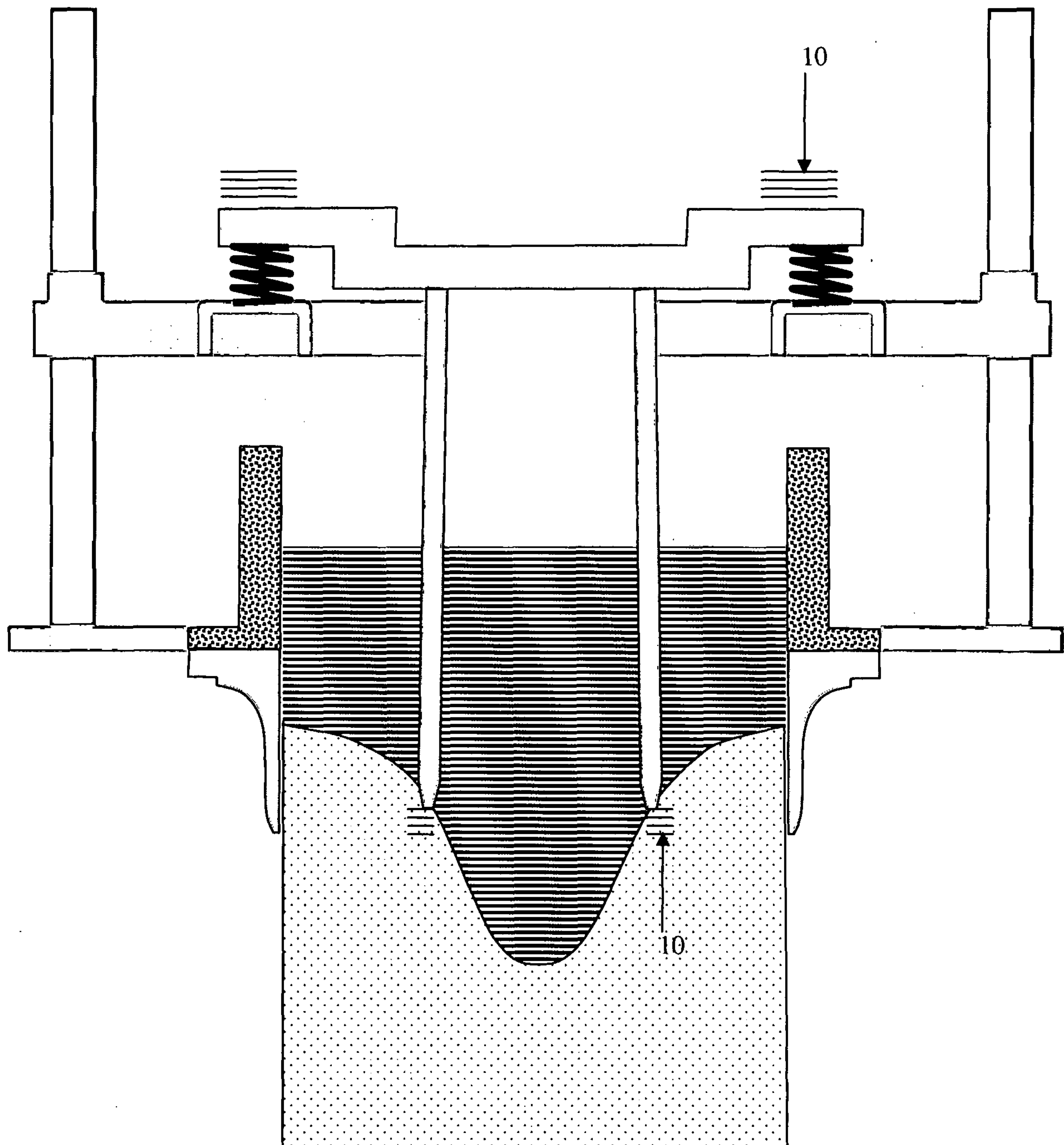


FIG. 2

3/5

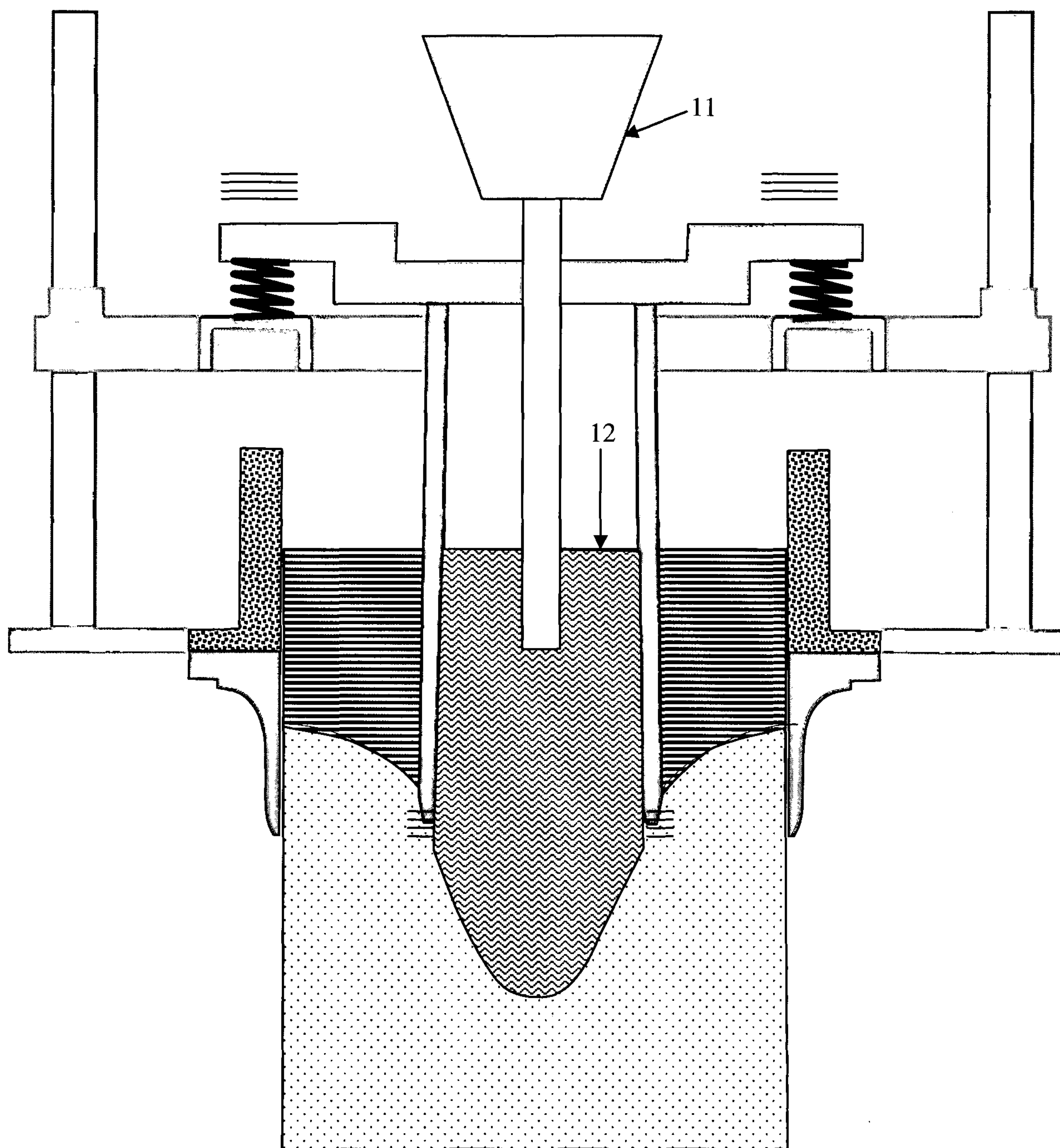


FIG. 3

4/5

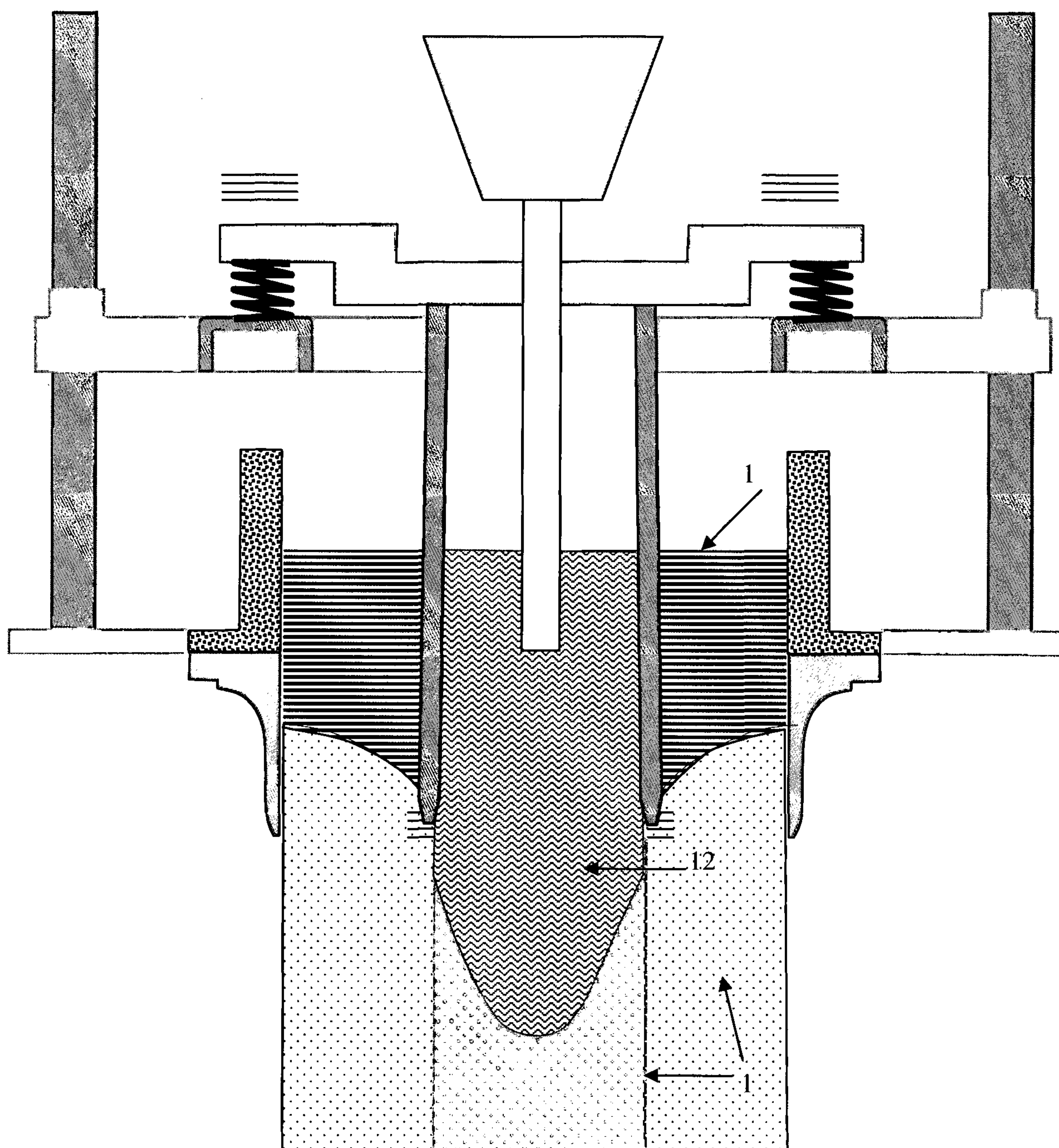


FIG. 4

5/5

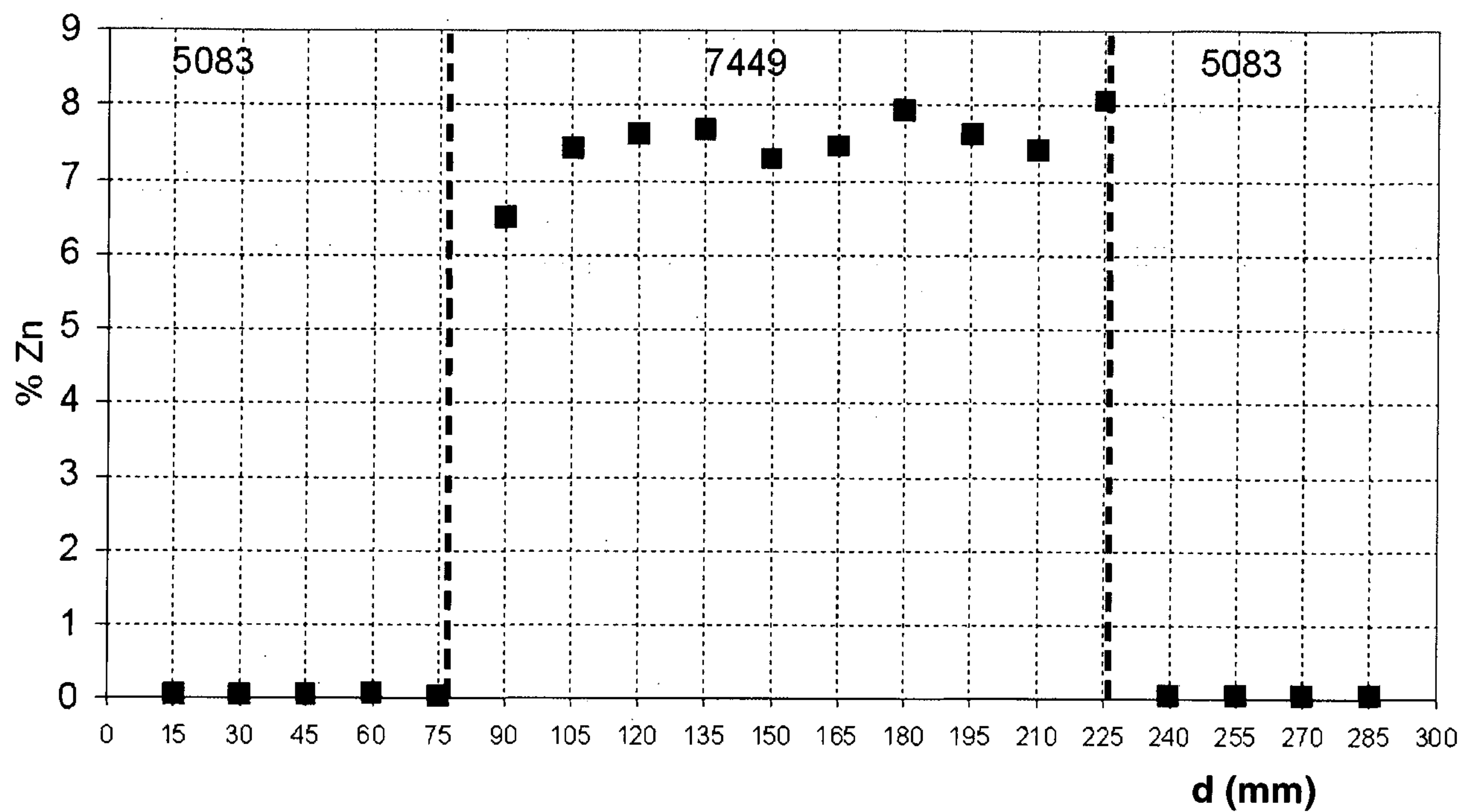


FIG. 5

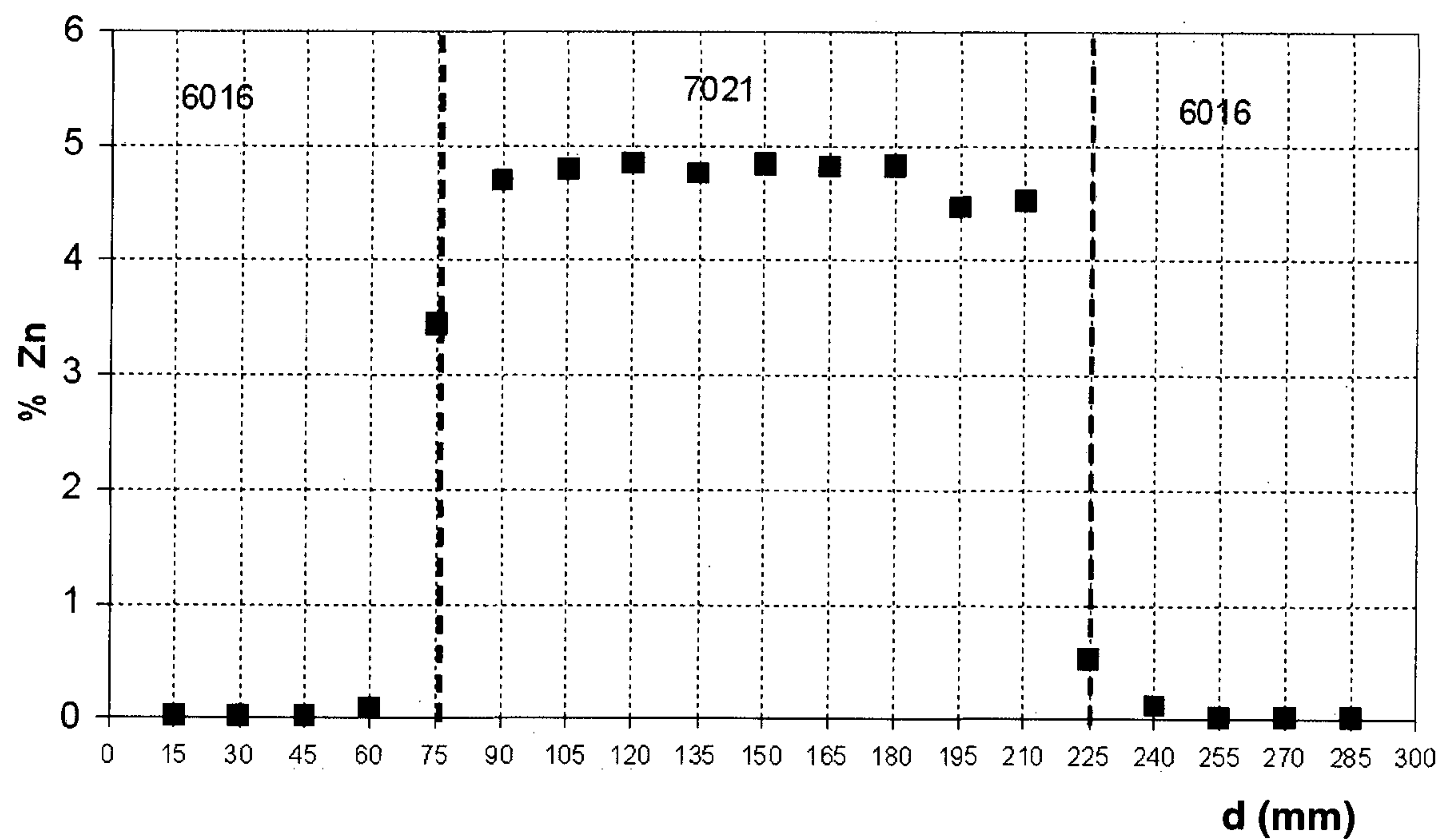


FIG. 6

