



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(21) Numéro de dépôt: **90420578.8**

(51) Int. Cl.⁵: **B22D 11/10, C22C 1/00**

(22) Date de dépôt: **28.12.90**

Le titre de l'invention a été modifié (Directives relatives à l'examen pratiqué à l'OEB, A-III, 7.3)

(30) Priorité: **04.01.90 FR 9000516**

(43) Date de publication de la demande: **07.08.91 Bulletin 91/32**

(84) Etats contractants désignés: **AT BE CH DE DK ES GB GR IT LI LU NL SE**

(71) Demandeur: **ALUMINIUM PECHINEY**
Immeuble Balzac 10, place des Vosges La
Défense 5
F-92400 Courbevoie(FR)

(72) Inventeur: **Meyer, Jean-Luc**
Résidence la Rivoire, 25 boulevard du
Guillon
F-38500 Voiron(FR)

(74) Mandataire: **Jacquet, Michel et al**
PECHINEY 28, rue de Bonnel
F-69433 Lyon Cédex 03(FR)

(54) **Procédé et dispositif de fabrication de produits métalliques thixotropes par coulée continue avec brassage électromagnétique.**

(57) L'invention concerne un procédé de coulée continue destinée à l'obtention d'alliages métalliques thixotropes à dendrites dégénérées.

Elle consiste à couler le métal liquide dans un moule obturé mobile et constitué d'une zone amont chaude (1) réalisée en matériau isolant et d'une zone aval refroidie (3) dans laquelle le métal se solidifie, tout en pratiquant à l'aide d'un champ glissant obtenu par une série d'inducteurs (A-F) polyphasés un brassage électromagnétique qui fait passer les dendrites formées dans la zone froide vers la zone chaude où, par refusion superficielle, elles se transforment en nodules.

Cette invention s'applique en particulier à l'obtention de plaques ou de billettes d'aluminium à propriétés thixotropiques.

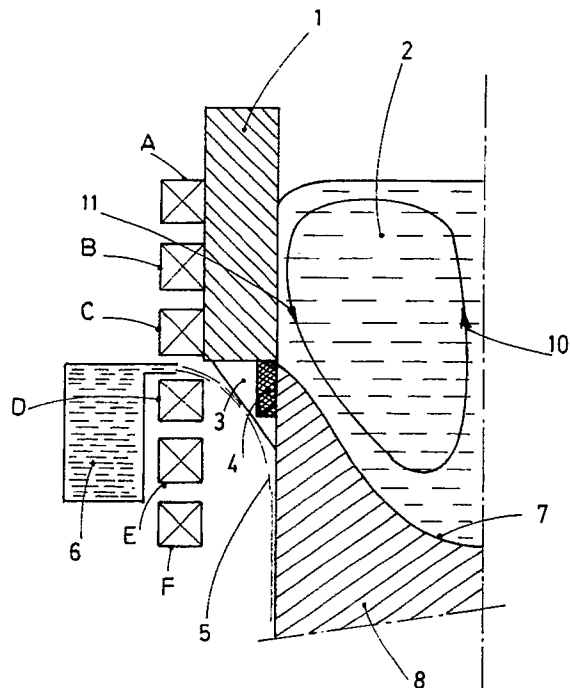


FIG. 1

PROCEDE DE FABRICATION DE PRODUITS METALLIQUES THIXOTROPES PAR COULEE CONTINUE AVEC BRASSAGE ELECTROMAGNETIQUE EN COURANT POLYPHASE

DESCRIPTION DE L'ART ANTERIEUR

L'invention est relative à un procédé de fabrication de produits métalliques thixotropes par coulée continue de plaques ou de billettes de section circulaire, elliptique ou polygonale.

Un produit métallique thixotrope est un produit métallique présentant une phase primaire non dendritique constituée en particulier de dendrites dégénérées en nodules à peu près sphériques.

Ces produits thixotropes procurent lors de leur mise en forme des avantages par rapport aux produits classiques:

l'énergie de mise en forme est plus faible, la durée de refroidissement plus courte, la retassure réduite, l'usure des moules et filières atténuée.

Plusieurs brevets enseignent des moyens d'obtention de produits métalliques thixotropes:

Le brevet US 3948650 (équivalent au brevet français 2141979) décrit un procédé de coulée consistant à élever la température d'une composition jusqu'à l'état liquide, à refroidir pour provoquer une solidification partielle et à agiter énergiquement le mélange liquide-solide pour briser les dendrites et les transformer en nodules dégénérés sensiblement sphériques représentant jusque environ 65% en poids de la composition initiale.

Le brevet US 4434837 décrit un dispositif d'agitation électromagnétique appliqué à la coulée continue de métal thixotrope dans lequel un stator à deux pôles crée un champ magnétique tournant dans un plan perpendiculaire à l'axe de la lingotière et dirigé vers cet axe. L'interaction de ce champ avec le courant induit dans le métal parallèlement à cet axe génère des forces électromagnétiques situées dans un plan horizontal et tangentielles à la lingotière entraînant un taux de cisaillement d'au moins 500 sec⁻¹.

Le brevet US 4457355 décrit une lingotière formée de deux parties de conductibilité thermique différente et le brevet européen EP 71822 une lingotière formée d'une succession de tôles isolantes et conductrices.

Le brevet US 4482012 décrit une amélioration consistant à utiliser une lingotière formée de deux chambres reliées entre elles par un joint non conducteur, dont la première joue le rôle d'échangeur de chaleur et dans le brevet US 4565241, on a préconisé des conditions d'agitation telles que le rapport du taux de cisaillement au taux de solidification soit compris entre 2.10³ et 8.10³.

EXPOSE DE L'INVENTION

L'art antérieur rappelé ci-dessus et en particulier les conditions fixées au taux de cisaillement montrent que le problème essentiel rencontré par les inventeurs est que les forces électromagnétiques appliquées au métal en cours de solidification soient suffisantes pour briser les dendrites déjà formées et les transformer en nodules. La dégénérescence des dendrites en nodules est obtenue par effet mécanique uniquement, et non pas par effet thermique. En effet, les forces appliquées aux dendrites sont, dans le cas de billettes rondes, tangentielles à des cercles concentriques centrés sur l'axe de la lingotière. Or, ces cercles sont, en raison de la symétrie de révolution de la lingotière et du produit coulé, des isothermes.

La présente invention consiste à obtenir la transformation des dendrites en nodules en provoquant une refusion de la surface de ces dendrites par un transfert en continu de la zone froide où elles se forment vers une zone plus chaude. Il s'agit donc selon l'invention d'un effet essentiellement thermique.

Dans le procédé de l'invention, on verse le métal liquide dans un moule d'axe vertical ou horizontal à fond mobile constitué:

d'une partie amont dite chaude dont la paroi ou tout au moins sa face interne est réalisée en un matériau isolant de la chaleur

d'une partie aval dite froide dont la paroi réalisée, au moins partiellement, en un matériau conducteur de la chaleur est en contact extérieur avec un fluide de refroidissement.

Dans la partie amont, isolée thermiquement, le métal versé reste liquide; dans la partie aval refroidie, il se forme, comme de façon connue en coulée continue, un front de solidification représentée sur la figure 1 par le repère 7. Immédiatement en amont de ce front, se trouve une zone liquide-solide constituée de cristaux primaires en suspension dans du métal encore liquide.

L'invention consiste à imprimer à ce métal liquide en cours de solidification un mouvement représenté par la flèche de la figure 1, assurant un transfert des cristaux primaires de la zone froide vers la zone chaude en un temps inférieur ou égal à 1 seconde pour provoquer une refusion en surface des cristaux dendritiques et les transformer en nodules dégénérés.

Ce mouvement de transfert est assuré par un ou plusieurs inducteurs polyphasés dont la disposition est expliquée ci-après.

L'appareil de coulée continue destiné à la mise en oeuvre de l'invention est représentée en demi-coupe verticale sur la figure 1. Il s'agit d'un exem-

ple illustrant un cas particulier de réalisation de l'invention celui d'une coulée verticale; des dispositifs analogues, ayant les mêmes fonctions se retrouvent dans un autre mode de réalisation de l'invention celui d'une coulée horizontale.

On décrira successivement le dispositif destiné à la coulée, à la solidification et à l'extraction du métal puis le dispositif électromagnétique destiné à assurer la circulation du métal.

Le dispositif de coulée, solidification et extraction est proche de celui utilisé pour la coulée continue en charge (ou avec reheusse) des métaux et en particulier de l'aluminium. Il comprend:

a) une partie chaude réalisée en matériau isolant thermique 1 qui contient le métal liquide 2. Le matériau isolant est du type utilisé couramment en fonderie pour la confection de goulottes et de busettes.

b) une partie froide reliée à la partie chaude de manière étanche au métal liquide. Cette partie froide comprend comme élément essentiel une lingotière 3 en métal conducteur de la chaleur refroidie extérieurement. Ce refroidissement peut être assuré par un film de fluide de refroidissement, généralement de l'eau, 5 provenant d'une boîte à eau 6, tel que représenté sur la figure 1. Il peut aussi être assuré directement par une chambre d'eau accolée de manière connue à la lingotière. Dans ce dernier cas, on formera de préférence des jets ou une lame d'eau au bas de l'ensemble chambre d'eau-lingotière qui viendront assurer par ruissellement le refroidissement direct du produit en cours de coulée. Cette lingotière peut être munie, à sa partie supérieure d'un anneau de graphite 4 jouant un rôle de lubrifiant vis-à-vis du métal coulé, en complément d'un agent de lubrification dont il s'avère parfois nécessaire de revêtir la paroi interne de la partie aval pour faciliter la coulée de certains métaux. Suivant une technique de l'art antérieur, il est aussi possible d'amener en continu par la lingotière un agent de lubrification qui traverse l'anneau de graphite et assure ainsi une lubrification en continu. Toujours dans la perspective de lubrifier en continu, on peut, au lieu d'utiliser un anneau de graphite, insérer dans la lingotière des crayons de graphite qui débouchent sur la face interne de la lingotière et sont connectés à leur autre extrémité à une chambre où le lubrifiant est mis sous pression.

c) le système d'extraction constitué d'un fond obturant la partie inférieure de la lingotière au démarrage, porté dans le cas d'une coulée verticale, par un plateau animé d'un mouvement régulier vertical et vers le bas, réglable selon les alliages et le format des produits coulés. Dans le cas de la coulée horizontale, ce système est

porté soit par un tapis motorisé, soit par une table à rouleaux dont l'un est motorisé, un rouleau presseur venant garantir l'entraînement.

Après le démarrage, le produit déjà solidifié sert de moule pour la solidification du métal alimenté en continu et l'on arrive à un état d'équilibre représenté sur la figure 1.

A partir de la lingotière se développe une enveloppe extérieure solidifiée tandis qu'à l'intérieur du produit coulé s'établit un front de solidification ayant la forme approximative représentée sur la figure. Au-dessous de ce front, le métal est complètement solide; au-dessus, dans ce que l'on appelle le "marais", il y a un mélange de liquide et de particules solides, généralement dendritiques, particules qui s'intègrent progressivement au front de solidification en permettant à la partie solide de se développer et à la coulée de progresser.

Le dispositif électromagnétique de brassage dont la combinaison avec le dispositif de coulée constitue l'invention se compose de un ou plusieurs inducteurs alimentés en courant polyphasé entourant l'ensemble du dispositif de coulée, zone chaude et zone froide. En principe, on peut utiliser n'importe quel type de courant à n phases, en pratique on utilisera évidemment le courant triphasé: c'est ce qui est illustré sur la figure 1.

Sur cette figure, six bobinages successifs: A, B, C, D, E, F ont été représentés de haut en bas de la figure. Ces bobinages sont placés dans des plans perpendiculaires à l'axe de coulée. Ils sont alimentés d'une façon analogue à celle de l'alimentation des moteurs linéaires à induction respectivement par les phases 1, -2, 3, -1, 2, -3 de manière à créer un champ glissant vertical ascendant, descendant ou périodiquement ascendant puis descendant, suivant l'ordre dans lequel sont alimentées les trois phases. De manière classique, on utilise généralement une longueur de bobinage qui soit un multiple du pas polaire, le pas polaire étant la longueur des trois bobinages de la séquence élémentaire 1, -2, 3. Cela signifie en pratique qu'on utilisera 6, 9, 12, 15.... bobinages mais rien n'interdit en théorie de couper une séquence au milieu. De plus des moyens sont connus de l'homme de l'art en électrotechnique consistant à utiliser des bobinages particuliers aux extrémités en vue d'éliminer les effets de bord dans les moteurs linéaires. L'interaction de ce champ glissant avec les courants induits dans le métal engendre des forces qui induisent des mouvements dans des plans passant par l'axe de la lingotière et donc du produit coulé. Ces mouvements sont représentés schématiquement sur la figure 1 par la flèche 10.

Il est clair que ces mouvements permettent l'entraînement des dendrites formées au voisinage du front de solidification et noyées dans le métal encore liquide vers la partie supérieure plus chau-

de du marais où elles subissent une fusion superficielle les transformant en nodules, puis de nouveau vers la zone froide dans le sens de la flèche 11.

Les inducteurs triphasés A à F décrits ci-dessus peuvent être réalisés de deux façons:

1°) de façon classique avec des bobinages sous forme de galettes en fil de cuivre non refroidi ou en tube de cuivre refroidi, les différentes galettes étant superposées et de préférence placées dans les encoches d'une culasse magnétique feuilletée 12 destinée à canaliser les lignes de force du champ magnétique. (figure 2). Les feuilles métalliques, isolées électriquement les unes des autres, sont situées dans des plans passant par l'axe du moule. Dans le cas où une chambre d'eau est accolée à la lingotière pour assurer le refroidissement de celle-ci, on peut placer les bobinages à l'intérieur de cette chambre. Ils sont ainsi efficacement refroidis.

2°) selon l'invention telle que représentée sur la figure 3:

Le bobinage est constitué de disques minces d'épaisseur de l'ordre du mm en métal bon conducteur, du cuivre par exemple. Chaque disque 13 en forme d'anneau et muni d'une fente 14 constitue une spire du bobinage (figure 3a). Pour constituer le bobinage, on empile les disques en décalant deux disques successifs d'un angle donné. Une feuille d'isolant 15 est interposée entre deux disques de cuivre successifs sauf dans la zone entre les fentes de ces deux disques successifs. Il y a donc dans cette zone une plage de contact assurant la liaison électrique entre deux disques successifs et la continuité du bobinage. (figure 3b).

Pour assurer le refroidissement des disques de cuivre, on a imaginé deux solutions selon le mode de refroidissement de la lingotière. Dans le cas de refroidissement par film d'eau de la lingotière, on place les bobinages selon l'invention décrite ci-dessus dans une chambre d'eau annulaire entourant les parties amont et aval et laissant le passage pour le film d'eau au niveau de la lingotière. Une demi-coupe de cette chambre est représentée sur la figure 4.

La chambre est constituée d'une paroi intérieure, cylindrique ou prismatique, selon la forme du produit coulé, en matière de préférence isolante ou faiblement conductrice de l'électricité, mais en tout cas amagnétique 16 et d'une paroi extérieure, à surface interne également cylindrique ou prismatique, qui peut être constituée d'une culasse magnétique 12.

La chambre d'eau est fermée à ses parties supérieure et inférieure par deux pièces 18 et 19 réunies entre elles par un tirant fileté 20 dont le rôle est d'assurer également le serrage des disques

formant le bobinage grâce à deux écrous 21 et 22. Sa partie centrale, au contact avec les disques de cuivre est isolée.

Une arrivée d'eau 23 et une sortie 24 sont disposées respectivement en bas et en haut de la chambre. Les empilages de disques de cuivre 13 et d'isolant 15 sont disposés à l'intérieur de la chambre. Les disques de cuivre et d'isolant sont percés de trous, judicieusement répartis pour constituer les conduits de refroidissement 25 et permettre le passage des tirants.

Dans le cas où le refroidissement de la lingotière est assuré par une chambre d'eau, on peut tirer profit de cette solution en plaçant les bobinages directement dans cette chambre. (Figure 5).

La paroi interne de la chambre est dans ce cas la lingotière elle-même 26 qui est revêtue en amont (Partie chaude) d'un matériau isolant thermiquement 27 et en aval (Partie froide) d'un anneau en graphite 28. On retrouve la partie solide 29 du produit en cours de coulée délimitée par le front 30. L'eau qui arrive en 31 sert non seulement à refroidir les bobinages 32 par l'intermédiaire des perçages 33, et la lingotière par passage dans l'interstice 34, mais aussi à former la lame d'eau 35 qui ruisselle 36 sur le produit. Une vanne 37 située sur le circuit de sortie 38 du refroidissement du bobinage permet de contrôler les quantités respectives circulant dans chacun des passages. Le reste de la technologie est similaire à ce qui a été décrit pour la figure 4.

EXEMPLE.

Une billette de diamètre 150 mm en alliage d'aluminium du type AS₇G_{0,3} (Al-7% Si-0,3% Mg), modifié au strontium, a été coulée selon le procédé décrit ci-dessus.

La vitesse de coulée était de 150 mm/minute. La température de coulée était de 640 °C. La partie amont du moule était constituée d'un anneau de matériau réfractaire de diamètre interne 145 mm et de hauteur 100 mm. La partie aval avait la forme classique d'une lingotière pour la coulée de ce type d'alliage dans ce diamètre. Un moteur linéaire cylindrique de hauteur totale de bobinage 180mm entourait ces deux parties. Il était constitué de 9 bobinages, chacun réalisé à l'aide de 15 disques de cuivre d'épaisseur 1 mm, de diamètre interne 200 mm et de diamètre externe 300 mm. L'ensemble était alimenté en triphasé en montage étoile et la tension appliquée entre phases était de 15 volts.

Un examen micrographique au cœur de la billette a montré que l'on a obtenu effectivement une structure dendritique dégénérée avec une taille typique des globules voisine de 60 μm.

Revendications

1. Procédé de fabrication par coulée continue de produits métalliques thixotropes et, en particulier, de produits en alliage d'aluminium, dont une partie au moins de la phase primaire est sous forme de nodules provenant de dendrites dégénérées, dans lequel on verse le métal liquide dans un moule obturé à sa partie aval par un fond mobile et constitué de deux parties de même axe:
- a) une partie amont, dite zone chaude (1) dont la paroi est réalisée en matériau isolant thermique au moins sur sa face interne
 - b) une partie aval, dite zone froide (3) dont la paroi, réalisée en matériau conducteur thermique est refroidie par un fluide de refroidissement (5) de façon à provoquer dans le métal liquide l'apparition de cristaux primaires, la formation au contact de la paroi refroidie d'une croûte solide et d'un front de solidification (7) permettant l'extraction progressive du produit à l'aide du fond mobile,
- caractérisé en ce que l'on dispose autour des zones chaude et froide du moule une série d'inducteurs constitués de bobinages annulaires ayant pour axe l'axe du moule et alimentés en courant polyphasé avec un ordre des phases tel que s'établisse à l'intérieur du moule un champ glissant parallèle à l'axe du moule se déplaçant dans un sens ou dans l'autre ou alternativement dans un sens puis dans l'autre, engendrant des forces électromagnétiques entraînant le métal dans des mouvements dans des plans passant par l'axe du moule et assurant le transfert des cristaux dendritiques de la zone froide vers la zone chaude (10) et vice-versa (11) pour provoquer une refusion superficielle de ces cristaux et leur dégénérescence en nodules.
2. Procédé selon la revendication 1 caractérisé en ce que la coulée continue se fait verticalement.
3. Procédé selon la revendication 1 caractérisé en ce que la coulée continue se fait horizontalement.
4. Dispositif pour la coulée continue de produits métalliques thixotropes comportant un moule obturé à sa partie aval par un fond mobile et constitué de deux parties de même axe: une partie amont, dite zone chaude (1) dont la paroi est réalisée en matériau isolant thermique au moins sur sa face interne une partie aval, dite zone froide (3) dont la paroi, réalisée en matériau conducteur thermique est refroidie par un fluide de refroidissement (5), un système de déplacement du fond mobile permettant l'extraction progressive du produit, caractérisé en ce que sont disposés autour des zones chaude et froide du moule une série d'inducteurs constitués de bobinages annulaires ayant pour axe l'axe du moule et alimentés en courant polyphasé avec un ordre des phases tel que s'établisse à l'intérieur du moule un champ glissant parallèle à l'axe du moule se déplaçant dans un sens ou dans l'autre ou alternativement dans un sens puis dans l'autre, engendrant des forces électromagnétiques situées dans des plans passant par l'axe du moule.
5. Dispositif selon la revendication 4 caractérisé en ce que l'axe du moule est vertical.
6. Dispositif selon la revendication 4 caractérisé en ce que l'axe du moule est horizontal.
7. Dispositif selon l'une des revendications 4 à 6 caractérisé en ce que la paroi interne de la lingotière située dans la zone froide est munie sur toute sa périphérie et à sa partie la plus en amont d'une bague en graphite de même axe que celui de la lingotière.
8. Dispositif selon l'une des revendications 4 à 6 caractérisé en ce que la paroi interne de la lingotière située dans la zone froide est traversée sur toute sa périphérie et à sa partie la plus en amont par des crayons en graphite qui amènent le lubrifiant à la paroi interne de la lingotière.
9. Dispositif selon l'une des revendications 4 à 8 caractérisé en ce que les bobinages sont alimentés en courant triphasé.
10. Dispositif selon l'une des revendications 4 à 9 caractérisé en ce que la longueur totale des bobinages est un multiple du pas polaire.
11. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 4 à 10 caractérisé en ce que le système de refroidissement de la partie aval est constitué d'un film provenant d'une boîte à eau.
12. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 4 à 10 caractérisé en ce que le système de refroidissement de la partie aval est constitué par une chambre d'eau accolée à la lingotière et formant à sa base des jets ou une lame d'eau venant ruisseler sur le produit coulé.

13. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 4 à 12 caractérisé en ce que les bobinages sont réalisés sous forme de galettes superposées en fil de cuivre ou en tube de cuivre refroidi. 5
14. Dispositif selon la revendication 13 caractérisé en ce que les galettes sont placées dans les encoches d'une culasse magnétique feuilletée. 10
15. Dispositif selon l'une des revendications 4 à 12 caractérisé en ce que les bobinages sont constitués de disques métalliques annulaires minces, de préférence en cuivre, chacun d'eux étant muni d'une fente radiale, ces disques étant empilés avec à chaque disque successif un décalage d'un angle donné de la fente et avec interposition entre deux disques voisins d'une feuille d'isolant sauf dans la zone entre les fentes de deux disques voisins de façon à créer une plage de contact entre ces deux disques et assurer ainsi la continuité du bobinage. 15
20
16. Dispositif selon la revendication 15 caractérisé en ce que les bobinages ainsi constitués sont placés à l'intérieur d'une chambre parcourue par une circulation d'eau, de forme annulaire entourant le moule de coulée, munie de moyens de serrage de l'empilement de disque de cuivre et de feuilles d'isolant et en ce que ces disques de cuivre et d'isolant sont percés de trous alignés permettant la circulation de l'eau de refroidissement. 25
30
17. Dispositif selon la revendication 16 caractérisé en ce que la paroi externe de la chambre est constituée d'une culasse magnétique. 35
18. Dispositif selon l'une des revendications 12 à 14 caractérisé en ce que, pour assurer leur refroidissement, les bobinages sont placés à l'intérieur de la chambre d'eau accolée à la lingotière. 40
45
19. Dispositif selon les revendications 15 et 16 caractérisé en ce que la chambre destinée au refroidissement des empilements de disques de cuivre et d'isolant est constituée par la chambre d'eau destinée au refroidissement du produit coulé, dont la paroi interne est la lingotière elle-même revêtue en amont d'un matériau isolant thermique. 50
55

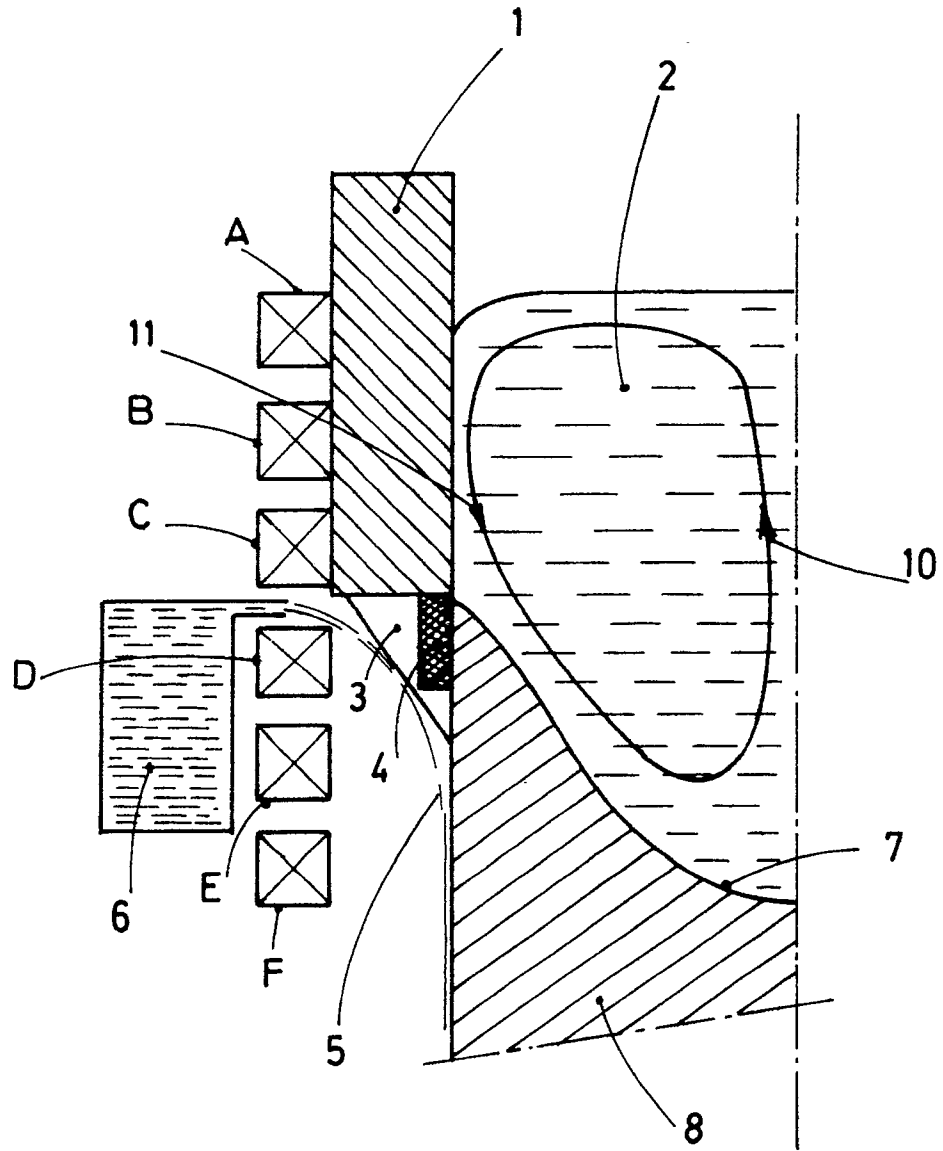


FIG.1

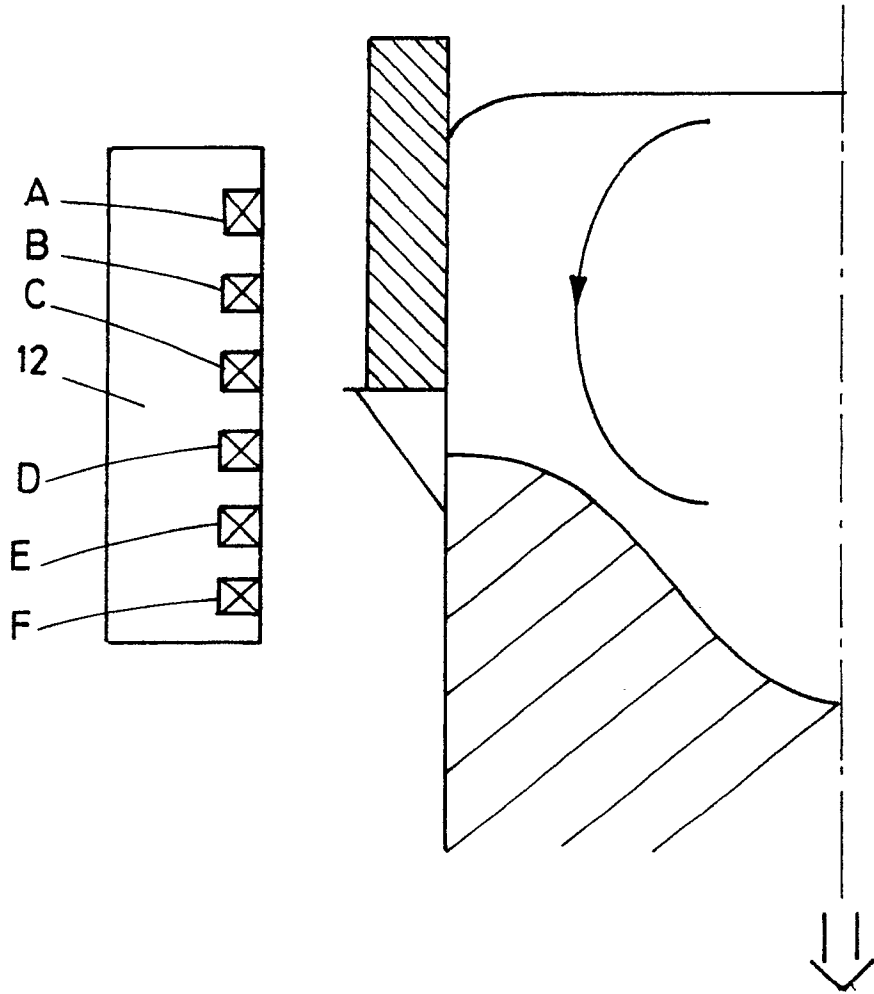


FIG. 2

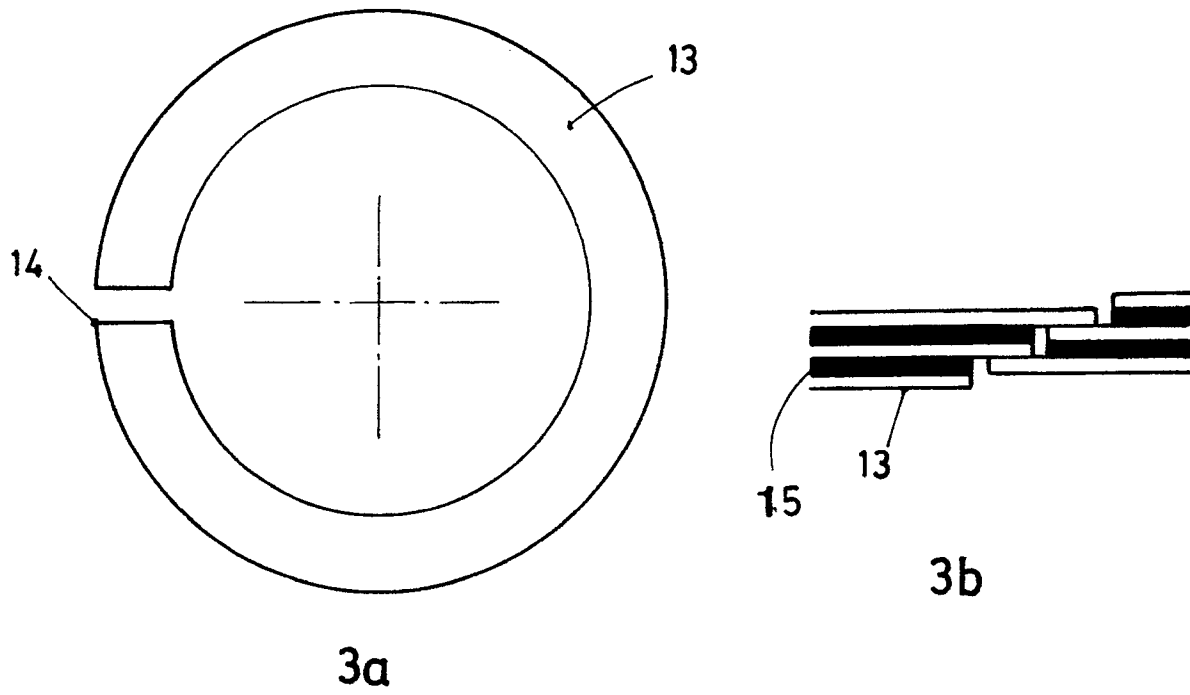


FIG. 3

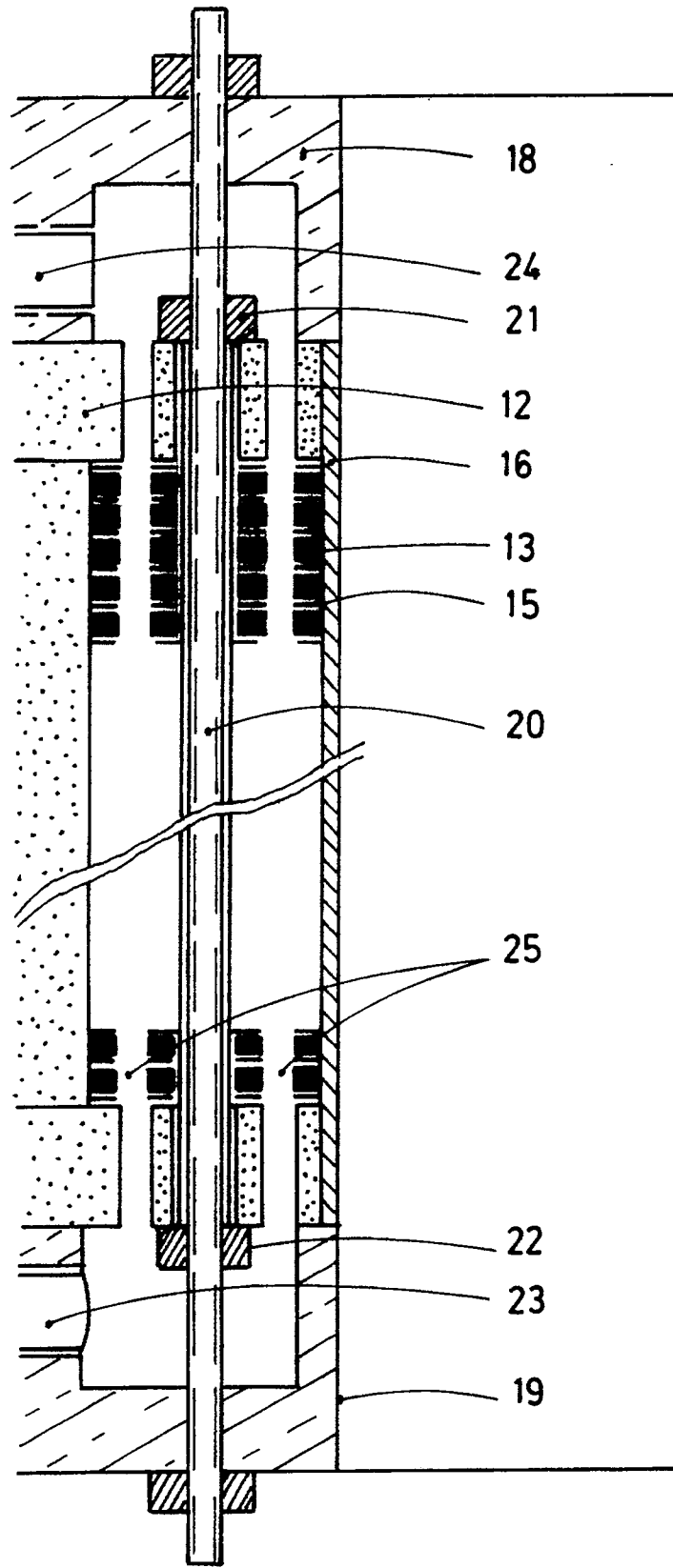


FIG. 4



DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int. Cl.5)
Y	EP-A-0 069 270 (ITT INDUSTRIES LTD) * Page 13, ligne 16 - page 15, ligne 22; page 10, lignes 14-27 *	4-6,9-12, 18	B 22 D 11/10 C 22 C 1/00
A	---	1-3	
Y	GB-A-2 013 542 (CONCAST AG) * Page 2, lignes 31-37; page 3, lignes 5-20 *	4-6,9-12, 18	
A,D	EP-A-0 095 596 (DEUTSCHE ITT INDUSTRIES LTD) * Page 19, ligne 18 - page 21, ligne 17; abrégé *	1-6,8-12, 18	
A	US-A-4 200 137 (A.A. ZAVARAS et al.) * Colonne 3, lignes 5-50; colonne 8, lignes 33-55 *	1,4,13-14	
P,X	EP-A-0 351 327 (ALUMINIUM PECHINEY) * En entier *	1-12,18	

			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl.5)
			B 22 D C 22 C
Le présent rapport de recherche a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche	Date d'achèvement de la recherche	Examineur	
La Haye	04 avril 91	MAILLIARD A.M.	
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES			
X : particulièrement pertinent à lui seul		E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date	
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie		D : cité dans la demande	
A : arrière-plan technologique		L : cité pour d'autres raisons	
O : divulgation non-écrite		
P : document intercalaire		& : membre de la même famille, document correspondant	
T : théorie ou principe à la base de l'invention			