(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) Numéro de publication: **0 195 793**
B1

(12) # FASCICULE DE BREVET EUROPÉEN

(45) Date de publication du fascicule du brevet: **14.10.87**

(51) Int. Cl.⁴: **B 22 D 11/10**

(21) Numéro de dépôt: **85904639.3**

(22) Date de dépôt: **18.09.85**

(86) Numéro de dépôt international: **PCT/FR 85/00252**

(87) Numéro de publication internationale: **WO 86/01756 (27.03.86 Gazette 86/07)**

(54) **PROCEDE DE REGLAGE DU NIVEAU DE LA LIGNE DE CONTACT DE LA SURFACE LIBRE DU METAL AVEC LA LINGOTIERE DANS UNE COULEE VERTICALE CONTINUE.**

(30) Priorité: **19.09.84 FR 8414740**

(43) Date de publication de la demande: **01.10.86 Bulletin 86/40**

(45) Mention de la délivrance du brevet: **14.10.87 Bulletin 87/42**

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

(56) Documents cité:
EP-A-0 100 289
FR-A-2 509 207
GB-A-2 034 216

(73) Titulaire: **CEGEDUR SOCIETE DE TRANSFORMATION DE L'ALUMINIUM PECHINEY, 23, Rue Balzac, F-75008 Paris (FR)**

(72) Inventeur: **VIVES, Charles, Route d'Avignon, F-13160 Chateaurenard (FR)**
Inventeur: **FOREST, Bernard, 21, rue des Docteurs Charcot, F-42100 Saint- Etienne (FR)**
Inventeur: **RIQUET, Jean- Pierre, Maison Bouveyron, F-38590 Saint Etienne de St Geoirs (FR)**

(74) Mandataire: **Vanlaer, Marcel, PECHINEY 28, rue de Bonnel, F-69433 Lyon Cédex 3 (FR)**

EP 0 195 793 B1

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la date de publication de la mention de la délivrance du brevet européen toute personne peut faire opposition au brevet européen délivré, auprès de l'Office européen des brevets. L'opposition doit être formée par écrit et motivée. Elle n'est réputée formée qu'après paiement de la taxe d'opposition (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

Description

L'invention concerne un procédé de réglage du niveau de la ligne de contact de la surface libre du métal avec une lingotière dans une coulée verticale.

Lors de la fabrication de semi-produits métallurgiques par coulée de métaux ferreux ou légers comme l'aluminium et ses alliages, l'homme de l'art cherche à obtenir des lingots, des billettes, des plaques, etc... ayant la meilleure homogénéité physique et chimique possible, ceci afin d'éviter l'apparition de certains défauts lors de la transformation ultérieure de ces produits en feuilles, fils, etc...

Or, la plupart des procédés de coulée utilisés actuellement dans l'industrie donnent lieu, lors du passage du métal de l'état liquide à l'état solide, à la formation de défauts d'homogénéité plus ou moins importants, dûs essentiellement à des conditions de refroidissement différentes d'un point à l'autre des produits coulés. C'est ainsi que dans la coulée en lingotière à passage vertical où le métal est successivement refroidi indirectement par l'intermédiaire de la lingotière, puis directement par une lame d'eau, on constate la présence sur les semi-produits d'une couche externe dite "couche corticale primaire". Cette couche dont la structure et la composition différent de celles de la partie interne du semi-produit, résulte du refroidissement indirect du métal au contact de la lingotière. Par ailleurs, d'autres hétérogénéités beaucoup moins prononcées, mais toutes aussi gênantes peuvent apparaître, telles que les "picots" ou petites piqûres dues notamment à une dispersion dans la masse métallique de la couche d'oxyde qui se forme à la surface du métal liquide en contact avec l'atmosphère.

Certes, l'homme de l'art n'est pas resté inactif devant ces problèmes et il a apporté un certain nombre de solutions plus ou moins satisfaisantes visant à supprimer ou tout au moins à diminuer l'importance de ces hétérogénéités.

C'est ainsi que dans le brevet français 1 509 962, l'homme de l'art a préconisé l'utilisation de la coulée électromagnétique, technique dans laquelle grâce au confinement du métal à l'aide de forces d'origine électromagnétique, on peut supprimer la lingotière et éviter ainsi l'apparition de la couche corticale puisqu'il n'y a plus de refroidissement indirect.

On arrive ainsi à améliorer l'homogénéité des semi-produits.

Toutefois, cette technique présente les inconvénients suivants:

- il faut équiper le métier de coulée avec une installation électrique relativement complexe et chère à cause de la nécessité de disposer de courants de fréquence non industrielle (500 à 4000 Hz) pour créer un champ de confinement convenable,
- le risque d'hétérogénéité par picots est accru en raison, d'une part de l'absence de lingotière et donc de l'augmentation de la surface de métal liquide susceptible d'être oxydé, d'autre part du phénomène de brassage de la masse liquide causé par le champ de confinement qui contribue fortement à la dislocation du film d'oxyde et à sa dispersion dans le métal,
- il est souvent difficile de créer un confinement convenable lors du démarrage de la coulée électromagnétique,
- la sécurité du personnel peut être mise en cause quand on coule l'aluminium et ses alliages car en cas de défaillance électrique, le métal liquide n'étant plus confiné se répand à l'extérieur de la lingotière et peut entrer en contact avec le fluide de refroidissement direct en provoquant une explosion.

D'autres solutions plus simples ont également été proposées pour diminuer l'épaisseur de la couche corticale. Par exemple, le brevet français 1 398 526 enseigne l'emploi d'une bande de fiberfrax collée sur la lingotière de façon à réduire la hauteur de métal en contact avec la lingotière, et donc de réduire les effets dûs au refroidissement indirect. Cependant, cette réduction de hauteur ne peut être fixée une fois pour toutes, car elle dépend notamment de la vitesse de coulée. Aussi, quand ce paramètre varie, il faut soit changer de lingotière, soit tout au moins modifier la hauteur de la bande. Ce qui confère un manque de souplesse à une solution n'apportant en définitive qu'une suppression partielle des hétérogénités.

Dans le brevet français 1 496 241, on supprime les inconvénients du refroidissement indirect en utilisant une lingotière en graphite non refroidie, mais on se heurte alors à des problèmes d'entretien et de changement fréquent de la lingotière dûs à la fragilité de ce matériau.

Une autre solution consiste à mettre en oeuvre des lingotières à surface intérieure striée au moyen desquelles on réduit de plus de 30 % l'épaisseur de la couche corticale quand on coule de l'aluminium 1050 par exemple. Toutefois, outre l'usinage de ces lingotières qui en augmente sensiblement le prix, on retrouve les inconvénients dûs à l'adaptation de la lingotière, et ici des stries, à chaque vitesse de coulée.

On connaît encore la coulée en charge avec rehausse, dite "HOT TOP", mais elle a aussi l'inconvénient à la fois de conduire à une solidification périodique du ménisque, cause de petits replis à la surface des semi-produits et de s'accompagner de difficultés lors du démarrage.

Enfin, plus récemment, le brevet français 2 417 357 a revendiqué un procédé dans lequel on fait varier la longueur axiale de la partie de la lingotière en contact avec le métal liquide en mettant en oeuvre une manchette glissant sur la paroi intérieure de la lingotière. Un tel système a l'inconvénient lors d'une solidification intempestive du métal de conduire à une adhérence entre la lingotière et la manchette provoquant ainsi un arrachement des pièces en présence au moment où l'on procède au mouvement de glissement.

C'est pourquoi, la demanderesse consciente

des problèmes posés par ces techniques a, dans le but d'obtenir des semi-produits homogènes dans lesquels l'épaisseur de la couche corticale est pratiquement nulle, le grain est affiné et la peau est exempte de picots, cherché et mis au point un procédé qui présente par rapport à ceux de l'art antérieur, les avantages suivants:

- utilisation d'installations électriques moins compliquées que celles imposées par la coulée électromagnétique,
- passage aisé de la phase de démarrage de la coulée au régime de croisière,
- adaptation facile à des variations de paramètres tels que la vitesse de coulée puisque le procédé ne nécessite aucune modification du matériel tel que le changement de lingotière,
- application à n'importe quel type de lingotière classique,
- absence de tout dispositif dans lequel on met des pièces en mouvement,
- risques d'explosion par fuite de métal liquide moins grands qu'avec la coulée électromagnétique.

Pour parvenir à ce résultat, la demanderesse est partie des observations suivantes:

- d'une part, le démarrage de la coulée est d'autant plus facile que le niveau de métal dans la lingotière est haut. En effet, avec un niveau bas, le flotteur qui règle le niveau et l'alimentation en métal de la lingotière se rapproche du front de solidification et risque, pour des semi-produits de petites dimensions, d'être bloqué par une solidification intempestive du métal et de ne plus pouvoir assurer sa fonction. De même, le phénomène de cambrure qui se manifeste avec les semi-produits de grande largeur interdit également un démarrage en niveau bas.
- d'autre part, en régime de croisière, il est préférable de couler avec une hauteur de métal dans la lingotière la plus faible possible car on limite ainsi la hauteur de contact de métal avec la paroi de la lingotière et de ce fait on réduit l'épaisseur de la zone corticale qui, comme on l'a vu plus haut, est essentiellement due au refroidissement du métal par l'intermédiaire de la lingotière.

Il fallait donc, partant d'une lingotière classique avec ses contingences, c'est-à-dire tout en gardant dans la lingotière une hauteur de métal constante puisque fixée par la position du flotteur et suffisante pour ne pas gêner le fonctionnement du flotteur, pouvoir limiter le plus possible la hauteur de contact du métal avec la surface de la lingotière ce qui revenait en somme à trouver un moyen de régler le niveau de la ligne de contact de la surface libre du métal liquide avec la paroi de la lingotière.

Ce moyen consiste, selon l'invention, à appliquer au métal liquide en cours de solidification un champ électromagnetique periodique d'intensité variable et de direction sensiblement parallèle à l'axe de la lingotière et à adapter son intensité en fonction du niveau souhaité.

En effet, il a été constate qu'en plaçant autour de la lingotière une bobine circulaire constituée par un circuit électrique formé d'un ou de plusieurs enroulements, et en l'alimentant avec un courat alternatif de tension industrielle suffisante, on parvenait à modifier le profil du ménisque métallique et notamment à faire varier le niveau de cette ligne de contact du métal avec la lingotière et ce d'autant plus que les variations de la tension d'alimentation et corrélativement de l'intensité du champ créé, étaient grandes.

Ainsi, en faisant croître l'intensité du champ, on pouvait abaisser le niveau et par suite diminuer la hauteur de la zone de contact métallingotière ou au contraire en la faisant décroitre, on pouvait élever ce niveau et par suite augmenter cette hauteur.

L'intérêt d'un tel procédé est donc de permettre de réduire à volonté la hauteur de contact métal-lingotière et par suite l'épaisseur de la couche corticale simplement avec une bobine alimentée par un courant de fréquence industrielle 50 ou 60 Hz en sachant que toute défaillance électrique n'aura pour répercussion que de faire varier la hauteur de métal dans la lingotière, c'est-à-dire que tout risque de fuite de métal liquide sera écarté ce qui n'est pas le cas dans la coulée électromagnétique.

De plus, la présence d'une lingotière, tout en limitant la possibilité d'oxydation du métal liquide au niveau du ménisque, empêche, par le contact qu'elle a avec le métal, tout déplacement du film d'oxyde vers la paroi latérale et donc tout risque de picot à la surface du semi-produit.

De plus, le champ appliqué au métal a également pour effet de créer des forces à l'intérieur du liquide qui homogénéisent le refroidissement et tendent à provoquer un affinage du grain de coulée.

La bobine qui crée le champ magnétique a de préférence une forme symétrique de celle de la lingotière, de sorte qu'elle crée un champ de direction sensiblement parallèle à l'axe de la lingotière. Elle est disposée le long de cet axe de manière que la zone où le champ exerce une action maximum se situe à un niveau de la lingotière compris entre la demi et le tiers de sa hauteur à partir de la base.

Un tel procédé permet, lors d'une opération de coulée, d'effectuer un démarrage normal dans les meilleures conditions possibles, c'est-à-dire avec une hauteur élevée de métal dans la lingotière. Pour cela, on fait décroître l'intensité du champ jusqu'à l'annuler éventuellement de manière a supprimer toute modification du niveau normal du métal. Par la suite, pour passer en régime de croisière, on fait croître l'intensité du champ jusqu'à atteindre une hauteur minimum conduisant à une épaisseur minimale de la couche corticale. La valeur maximum du champ admissible est détectée facilement par apparition lorsqu'on la dépasse, de déformation de la surface du produit coulé.

Il suffit donc de déterminer cette valeur au cours du démarrage d'une coulée test et de la

reconduire ensuite pour toutes les coulées du même type.

Cette valeur correspond généralement au moment où le niveau atteint par la ligne de contact correspond au niveau à laquelle se place la ligne d'intersection entre le front de solidification dû au refroidissement indirect et le front de solidification dû au refroidissement direct en coulée classique. La hauteur de contact se trouve alors pratiquement réduite à une ligne circulaire et la couche corticale inexistante.

Suivant le type d'alliage coulée, on sait qu'on sera amené à couler à des vitesses différentes. Le procédé selon l'invention permet de modifier l'intensité du champ pour l'adapter aux variations de vitesse et de déterminer comme précédemment la valeur maximum de l'intensité admissible pour chacune de ces vitesses.

L'invention sera mieux comprise à l'aide de la figure jointe qui représente en coupe verticale deux demi-lingotières dont celle de gauche est utilisée suivant l'art antérieur et celle de droite suivant le procédé de l'invention.

On distingue une busette d'alimentation (1) en métal liquide, un flotteur (2) de régulation de niveau, une lingotière (3) refroidie directement par un fluide (4) qui refroidit ensuite le métal (5) directement au point (6). La demi-lingotière de droite est équipée d'une bobine (7) qui est alimentée sous une tension alternative (8) afin de céer, le champ magnétique de direction (9) et de provoquer l'abaissement du niveau de la ligne de contact de la sur face du métal avec la lingotière d'un point (10) dans la coulée de l'art antérieur au point (11) suivant l'invention, point qui est situé au niveau de l'intersection (12) du front de solidification (13) résultant du refroidissement indirect et du front (14) résultant du refroidissement direct. On voit ainsi qu'on a réduit la hauteur de contact du métal avec la lingotière d'une hauteur h à une hauteur h extrêmement petite qu'on peut assimiler au point (11).

L'invention peut être illustrée à l'aide des exemples d'application suivants:

Dans une lingotière en aluminium de diamètre 320 mm, de hauteur 100 mm, on a coulé un alliage d'aluminium du type 2214 suivant les normes de l'Aluminum Association, à la vitesse de 60 mm/minute. Le flotteur réglait le niveau de métal à mi-hauteur de la lingotière et le fluide de refroidissement entrait en contact avec la peau de la billette coulée à 1 cm environ en-dessous de la base de la lingotière.

Dans un premier essai, la coulée a été effectuée dans les conditions de l'art antérieur et un examen micrographique de différentes sections de la billette a montré que la couche corticale avait une épaisseur moyenne de 18 mm.

Une série d'essais a été ensuite réalisée au cours de laquelle la lingotière a été entourée par une bobine annulaire de diamètre intérieur 372 mm, extérieur 465 mm, de hauteur 48 mm, formée par 120 tours de fil de cuivre émaillé de diamètre 3,35 mm et alimentée par un courant alternatif de 50 Hz.

Chacun des essais a été mené sous une tension électrique différente et on a mesuré les épaisseurs corticales moyennes correspondantes ainsi que la taille des grains par la méthode des intersections.

Les résultats figurent dans le tableau ci-après:

Tension en volts	0	50	100	150	180
Epaisseur corticale en mm	18	16	13	9	0
Taille des granins en µm	500			300	180

On constate donc que l'application du procédé selon l'invention conduit à une réduction progressive de l'épaisseur de la couche corticale à mesure que l'on augmente la tension électrique aux bornes de la bobine dans des proportions telles que cette épaisseur devient nulle pour une tension de 180 volts.

Simultanément, la taille des grains diminue de telle sorte qu'à partir d'un métal qui présente des grains de 500 µm en coulée classique, on obtient suivant l'invention des grains de 180 µm en moyenne.

Par ailleurs, on ne note la présence d'aucun picot.

La présente invention trouve son application dans la coulée de semi-produits métallurgiques notamment en aluminium et ses alliages tels que, par exemple, les alliages au lithium et dans lesquels on veut obtenir à la fois une zone corticale d'épaisseur pratiquement nulle, un grain fin sans ajout préalable d'agents d'affinage comme l'AT5B et une absence de picots.

Revendications

1. Procédé de réglage du niveau de la ligne de contact de la surface libre du métal avec une lingotière dans une coulée verticale continue, caractérisé en ce que l'on applique au métal liquide en cours de solidification un champ électromagnétique périodique d'intensité variable et de direction sensiblement parallèle à l'axe de la lingotière et que l'on adapte l'intensité du champ en fonction du niveau souhaité.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que le champ une fréquence industrielle.

3. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que la zone où le champ exerce une action maximum se situe à un niveau de la lingotière compris entre la demi et le tiers de sa hauteur à partir de la base.

4. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'on fait croître l'intensité pour abaisser le niveau.

5. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'on fait décroître l'intensité pour augmenter le niveau.

6. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que lors d'une opération de coulée, on fait décroître l'intensité du champ au moment du démarrage puis la fait croître progressivement jusqu'à une valeur maximum au-delà de laquelle la surface du produit coulé commence à se déformer.

7. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'on modifie l'intensité du champ quand la vitesse de coulée varie.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Einstellen des Niveaus der Berührungslinie der freien Oberfläche des Metalls mit einer Gießform beim Senkrechtstranggießen,
dadurch gekennzeichnet,
daß man an die Metallschmelze im Erstarrungsverlauf ein periodisches elektromagnetisches Feld variabler Stärke und zur Achse der Gießform genau paralleler Richtung anlegt und daß man die Stärke des Feldes als Funktion des gewünschten Niveaus anpaßt.

2. Verfahren nach dem Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
daß das Feld eine industrielle Frequenz hat.

3. Verfahren nach dem Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
daß die Zone, wo das Feld eine maximale Wirkung entfaltet, auf einem Niveau der Gießform im Bereich zwischen der Hälfte und dem Drittel ihrer Höhe von ihrer Basis aus liegt.

4. Verfahren nach dem Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
daß man die Stärke zur Senkung des Niveaus wachsen läßt.

5. Verfahren nach dem Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
daß man die Stärke zur Steigerung des Niveaus abnehmen läßt.

6. Verfahren nach dem Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
daß man während eines Gießvorganges die Stärke des Feldes im Augenblick des Beginns abnehmen läßt und sie dann fortlaufend bis zu einem Maximalwert wachsen läßt, jenseits dessen die Oberfläche des Gußerzeugnisses sich zu deformieren beginnt.

7. Verfahren nach dem Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
daß man die Stärke des Feldes ändert, wenn die Gießgeschwindigkeit variiert.

Claims

1. A process for regulating the level of the line of contact of the free surface of the metal with a mould in a continuous vertical casting operation characterised by applying to the liquid metal in the course of solidification a periodic electronagnetic field of variable strength and whose direction is substantially parallel to the axis of the mould and adjusting the strength of the field in dependence on the desired level.

2. A process according to claim 1 characterised in that the field is at an industrial frequency.

3. A process according to claim 1 characterised in that the region in which the field exerts its maximum action is at a level of the mould which is between half and a third of its height measured from its base.

4. A process according to claim 1 characterised by increasing the strength of the field to lower the level.

5. A process according to claim,1 characterised by reducing the strength of the field to raise the level.

6. A process according to claim 1 characterised in that, in a casting operation, the strength of the field is reduced at the time of starting up and it is then progressively increased to a maximum value above which the surface of the cast product begins to suffer deformation.

7. A process according to claim 1 characterised by modifying the strength of the field when the casting speed varies.

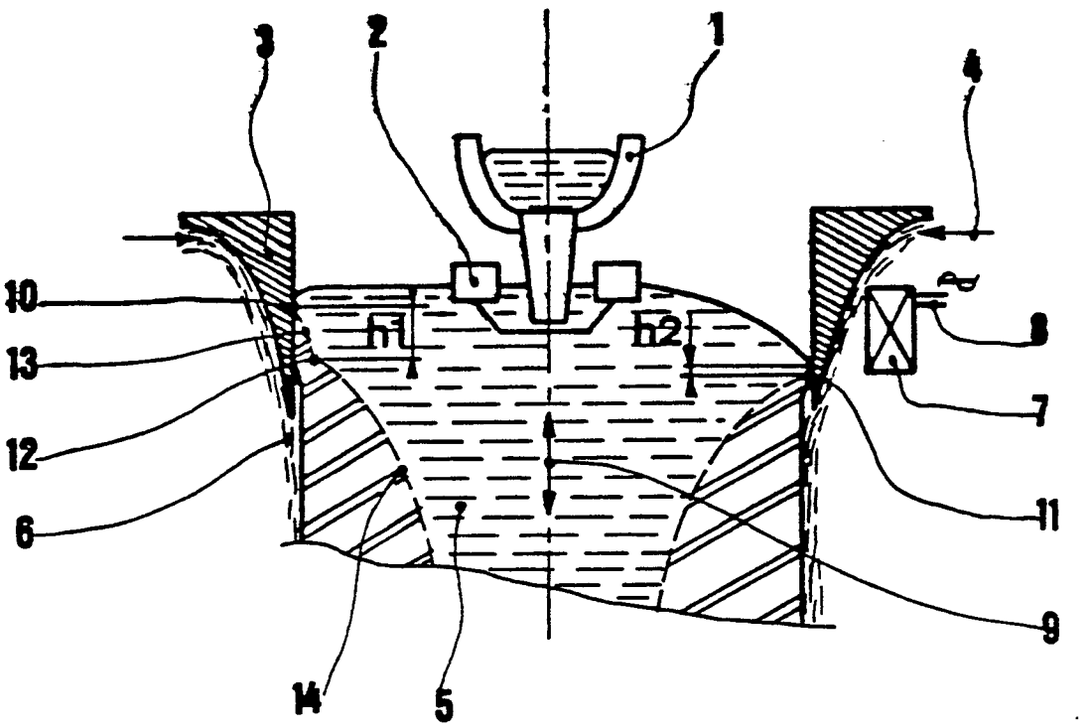


FIG. 1