

12

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

21 Numéro de dépôt: 83420125.3

51 Int. Cl.³: **B 22 D 11/10**

22 Date de dépôt: 19.07.83

30 Priorité: 23.07.82 FR 8213219

71 Demandeur: **ALUMINIUM PECHINEY**, 23, rue Balzac,
F-75008 Paris (FR)

43 Date de publication de la demande: 08.02.84
Bulletin 84/6

72 Inventeur: **Vives, Charles**, Route d'Avignon,
F-13160 Chateaurenard (FR)

84 Etats contractants désignés: **AT CH DE GB IT LI**

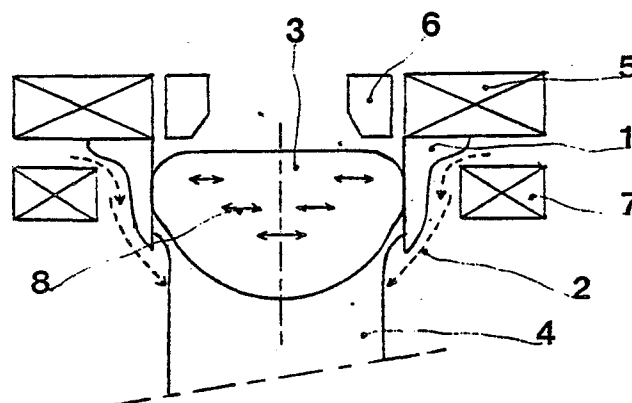
74 Mandataire: **Vanlaer, Marcel et al, PECHINEY UGINE**
KUHLMANN 28, rue de Bonnel, F-69433 Lyon
Cédex 3 (FR)

54 **Procédé de coulée de métaux dans lequel on fait agir des champs magnétiques.**

57 La présente invention est relative à un procédé de coulée de métaux.

Elle est caractérisée en ce que l'on applique simultanément au métal en cours de solidification, un champ magnétique stationnaire et un champ magnétique variable colinéaires.

Elle trouve son application dans tous les cas où on cherche à améliorer la structure et l'état de surface des produits moulés ou coulés en continu, et notamment dans l'industrie de l'aluminium.



PROCEDE DE COULEE DE METAUX DANS LEQUEL
ON FAIT AGIR DES CHAMPS MAGNETIQUES.

La présente invention concerne un procédé de coulée de métaux dans lequel on fait agir des champs magnétiques en vue d'améliorer la structure et l'état de surface des produits obtenus.

5 Il est connu de couler des métaux tels que l'acier, l'aluminium et ses alliages, sous forme de billettes, de plaques ou de lingots, soit par moulage, soit par coulée continue verticale.

Dans le premier cas, on remplit le moule d'une quantité connue de métal liquide et assure la solidification à l'intérieur du moule par
10 échange thermique avec la paroi de ce dernier.

Dans le deuxième cas, on verse le métal en fusion dans un moule ayant généralement un axe de symétrie vertical, ouvert à ses deux extrémités
15 et dont les parois latérales sont refroidies par un fluide. Au contact du moule, le métal se solidifie pour former une croûte qui s'épaissit graduellement à mesure que le lingot progresse à travers le moule de sorte qu'à l'extrémité inférieure du moule son épaisseur est suffisante pour retenir la partie centrale encore liquide. Après avoir quitté
20 le moule, la paroi du lingot est refroidie directement par une projection d'eau et on obtient ainsi assez rapidement une solidification complète de la masse métallique.

Dans les deux procédés, le lingot obtenu est très hétérogène car il
25 présente à la fois une zone corticale qui s'est formée par solidification rapide au contact du moule, et une zone centrale résultant d'un refroidissement plus lent par échange avec la paroi du moule ou avec l'eau au travers de la zone corticale. Ces zones ayant cristallisé à des vitesses différentes, n'ont pas du tout la même structure ni la même composition. De plus, la peau du lingot qui s'est formée au contact du moule est généralement irrégulière. Aussi, est on obligé le plus souvent de soumettre ces lingots à des opérations supplémentaires de scalpage ou d'écroûtage pour éliminer les zones perturbées et éviter ainsi l'apparition de défauts qui en résulteraient au cours des
35 stades de transformation ultérieurs du lingot.

C'est pourquoi l'homme de l'art, dans le but notamment d'améliorer la qualité des produits fabriqués par coulée, a cherché des solutions pour résoudre ces problèmes d'hétérogénéité de surface et de structure. Il s'est tourné le plus souvent vers l'utilisation de champs magnétiques destinés à agiter la partie liquide du lingot en cours de formation, et, plus particulièrement, vers des champs tournants.

C'est ainsi que, dans le brevet US 2.963.758, on revendique un procédé pour diminuer le développement de grains basaltiques, et qui consiste à soumettre le métal en fusion à un champ magnétique dans la direction du gradient thermique de refroidissement du lingot et à déplacer ledit champ en continu dans une direction sensiblement perpendiculaire à la direction dudit gradient. L'obtention de ce champ nécessite la mise en place d'un stator à six pôles, relié à une source de courant électrique multiphase. D'où une installation assez compliquée et dont l'efficacité se limite à la taille des grains.

Dans le brevet US 3.153.820, l'invention concerne un appareil pour améliorer la structure et l'homogénéité physique et chimique du métal coulé en contrôlant le phénomène de solidification. Cet appareil comprend, en combinaison, une pluralité d'agitateurs externes fonctionnant de façon indépendante, parmi lesquels on trouve des électroaimants et des transducteurs électromécaniques de vibration disposés à l'extérieur de la masse de métal, régulièrement espacés et placés près de la zone de refroidissement du métal, lesdits agitateurs produisant une pluralité de champs de forces d'agitation concentrés à l'intérieur du métal.

Un tel appareil incluant plusieurs types d'appareils d'une conception assez complexe, bien qu'il réduise les phénomènes de ségrégation à l'intérieur du métal, ne résoud pas les problèmes d'état de surface.

30

C'est pourquoi, la demanderesse, soucieuse d'améliorer la technique de coulée en vue d'obtenir à la fois des structures plus homogènes, et des états de surface s'accommodant directement aux opérations ultérieures de transformation dimensionnelle sans passer par une phase d'écroûtage, a cherché et mis au point un procédé mettant en oeuvre un matériel simple mais utilisé dans des conditions telles que l'efficacité en est exacerbée.

Le procédé selon l'invention, consiste à appliquer simultanément un champ magnétique stationnaire et un champ magnétique variable colinéaires à proximité du métal en cours de solidification afin de créer dans ce métal des vibrations radiales.

5

Le champ magnétique uniforme est créé par au moins une bobine alimentée en courant continu. Cette bobine est constituée par un fil électrique enroulé sur un cadre dont la section par un plan horizontal a un contour semblable à celui de la section supérieure du moule et elle est placée au-dessus du moule.

Sous l'action du courant continu, cette bobine crée un champ uniforme de direction générale parallèle à l'axe de symétrie du moule, c'est-à-dire sensiblement verticale et orientée indifféremment vers le bas ou vers le haut. Les lignes de ce champ peuvent être modifiées en incorporant à l'intérieur de la bobine un noyau de fer qui épouse son contour tout en laissant en son centre un espace suffisant pour l'alimentation en métal liquide du moule.

Le champ magnétique variable est créé par un inducteur annulaire de géométrie voisine, mais alimenté en courant périodique de fréquence N. Cet inducteur est placé au-dessus du moule, soit au-dessus de la bobine alimentée en courant continu, soit entre cette dernière et le moule.

Il peut encore être mis au niveau du moule. Dans ce dernier cas, lorsqu'il y a deux bobines alimentées en courant continu, il est situé entre elles. Sous l'action du courant périodique, l'inducteur crée un champ variable colinéaire avec le champ stationnaire qui produit dans le métal un courant induit. Le vecteur densité est situé dans un plan généralement horizontal et dirigé perpendiculairement à une droite de ce plan passant par l'axe du moule. L'ensemble de ces vecteurs forme donc des cercles concentriques.

L'action combinée de ces champs colinéaires génère dans le métal des vibrations qui ont une origine double. D'une part, le champ stationnaire et le courant induit développent une force perpendiculaire au plan constitué par le vecteur densité de courant et le vecteur direction du champ stationnaire. Cette force est donc contenue dans un plan horizontal et dirigée vers l'axe du moule. Cette force a une intensité qui varie périodiquement avec la même fréquence N que le champ variable et provoque donc des vibrations dans le métal.

D'autre part, en raison de l'interaction du champ variable et du

courant induit tous deux de fréquence N , se développe une autre force radiale, elle aussi variable, mais dont la fréquence est $2N$. Ainsi, le métal est soumis à ces deux forces radiales de fréquence N et $2N$ d'où résulte une mise en vibrations généralisée de la masse de 5 métal liquide.

Par suite de certains défauts de géométrie du système, on peut avoir des effets de "bord" plus ou moins importants, d'où résultent des vibrations verticales, mais ces dernières ont relativement peu d'importance par rapport aux vibrations radiales. 10

Le courant périodique qui alimente l'inducteur à champ variable peut avoir une forme purement sinusoïdale, mais toute autre forme convient également à la réalisation de l'invention.

15

Quant à la fréquence, elle peut couvrir toute une gamme de valeurs allant de 5 à 100 000 hertz. Toutefois, il y a lieu de faire une distinction entre les fréquences dites basses situées entre 5 et 100 Hertz et les fréquences supérieures, dites moyennes.

20

Dans le premier cas, l'effet dit de "peau" du champ variable est réduit, c'est-à-dire que le courant induit exerce son action sur une épaisseur de métal telle qu'il y a interaction suffisante de ce courant avec le champ stationnaire pour développer des vibrations dans toute la 25 masse de métal. On dit alors qu'on travaille en vibrations forcées.

Par contre, à mesure que la fréquence du champ variable augmente, l'effet de peau devient important et l'interaction du courant induit avec le champ stationnaire devient de plus en plus faible. Il faut alors que les vibrations émises, pour avoir une efficacité convenable, puissent 30 entrer en résonance avec les vibrations propres du métal liquide, des dendrites en cours de formation ou de la masse solide. Or, ces vibrations propres dépendent du format du produit coulé, de la vitesse de coulée, de la nature du métal, et des conditions de refroidissement. Il faudra donc choisir la fréquence du courant en fonction des conditions opératoires, ce qui peut être déduit du calcul ou de mesures faites à l'aide de capteurs adéquats. 35

Il est certain que, dans le cas des basses fréquences, la technologie et le mode opératoire sont plus simples et que les nuisances résultant

du bruit dû aux vibrations sont relativement faibles.

Dans une variante du procédé appliqué notamment à la coulée continue d'acier, il est intéressant de créer des champs magnétiques stationnaires et variable au moyen d'une série de bobines et d'inducteurs qui se succèdent alternativement tout au long de la partie du métal en cours de solidification. En effet, dans ce cas, cette partie du lingot peut être relativement longue et l'efficacité des champs est alors obtenue en multipliant le nombre de bobines et d'inducteurs.

10 Pour accroître encore cette efficacité, il est préférable, lorsque le champ variable a une fréquence inférieure à 100 hertz d'alimenter les inducteurs sous une fréquence décroissante à mesure que la solidification progresse. On atténue ainsi d'autant l'effet de peau et permet de développer les vibrations au coeur du lingot. On peut avoir par

15 exemple au niveau du moule un inducteur alimenté en 50 hertz puis en-dessous, et séparés chaque fois par une bobine à courant continu, une série d'inducteurs alimentés successivement en 20, 10, et 5 hertz par exemple.

20 La présente invention sera mieux comprise en se référant au dessin annexé sur lequel la figure 1 représente une coupe verticale passant par l'axe d'un moule de coulée continue auquel on applique un champ variable et un champ uniforme suivant l'invention.

La figure 2 est une vue de dessus du métal dans le moule.

25

Sur la figure 1, on distingue un moule (1) refroidi par une circulation d'eau (2) au moyen duquel on forme, à partir d'un métal liquide (3), un lingot (4). Suivant l'invention, le moule a été équipé sur le dessus d'une bobine (5) qui crée un champ stationnaire dont les lignes

30 de force peuvent être modifiées par le noyau (6). Au niveau du moule est placé un inducteur (7) qui crée un champ variable. Sous l'action combinée des champs, se développe dans le liquide des vibrations dont le sens de propagation est représenté par les flèches (8).

Sur la figure 2, on voit le dessin du métal liquide vibrant suivant

35 les directions (8).

L'invention peut être illustrée à l'aide de l'exemple non limitatif qui suit.

On a coulé en continu un alliage d'aluminium du type 2024 préalablement affiné par ajout de 0,1% en poids d'AT5B sous forme d'une plaque de section 300 x 800 mm.

La première partie a été réalisée dans une lingotière classique, puis
5 on a continué la coulée dans les mêmes conditions de vitesse et de refroidissement, mais en appliquant à proximité de la surface libre du métal, d'une part, un champ magnétique stationnaire de 0,04 tesla, créé au moyen d'une bobine annulaire alimentée par un courant continu de 17 500 ampère-tours, sous une tension de 24 volts, d'autre part,
10 un champ magnétique variable de fréquence 50 hertz, créé au moyen d'une bobine annulaire placée en-dessous de la précédente, et au niveau du moule et alimentée par un courant alternatif de 3800 ampère-tours sous une tension de 75 volts.

15 A l'examen micrographique de surfaces d'échantillons prélevés dans les deux parties de la plaque, on a constaté que le nombre de grains était huit fois plus grand quand on appliquait le procédé selon l'invention.

20 De plus, les défauts de surface tels que arrachement, peau d'oxyde, qui apparaissent sur la première partie avaient pratiquement disparu sur la deuxième.

L'invention trouve son application dans tous les cas où on cherche à
25 améliorer la structure et l'état de surface des produits moulés ou coulés en continu, et notamment dans l'industrie de l'aluminium.

REVENDICATIONS

1. Procédé de coulée de métaux dans lequel on fait agir sur le métal en cours de solidification dans une lingotière, simultanément un champ magnétique stationnaire et un champ magnétique périodique afin de créer des vibrations radiales et d'affiner ainsi le grain du métal, caractérisé en ce que le champ variable est périodique uniquement dans le temps, que sa direction est fixe dans le temps et qu'il est colinéaire avec le champ stationnaire et l'axe de symétrie vertical de la lingotière.
- 10 2. Procédé suivant la revendication 1, caractérisé en ce que le champ magnétique stationnaire a une valeur inférieure à 0,5 tesla.
3. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que le champ stationnaire est modifié par la présence d'un noyau en fer.
- 15 4. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que le champ variable a une fréquence comprise entre 5 et 100 000 hertz.
- 20 5. Procédé selon la revendication 4, caractérisé en ce que lorsque la fréquence est supérieure à 100 hertz, on choisit des valeurs de fréquence qui entrent en résonance avec les fréquences propres du métal liquide, des dendrites en cours de formation ou de la masse solide.
- 25 6. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que le champ stationnaire est créé par au moins une bobine annulaire.
7. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que le champ variable est créé par au moins un inducteur annulaire.
- 30 8. Procédé selon les revendications 6 et 7, caractérisé en ce que les bobines et les inducteurs créant le champ stationnaire et le champ variable se succèdent alternativement le long du métal en cours de solidification.
- 35 9. Procédé selon la revendication 8, caractérisé en ce que lorsque les inducteurs créent un champ variable de fréquence inférieure à 100

0100290

-8-

hertz, ils sont alimentés sous une fréquence décroissante à mesure que la solidification progresse.

1/1

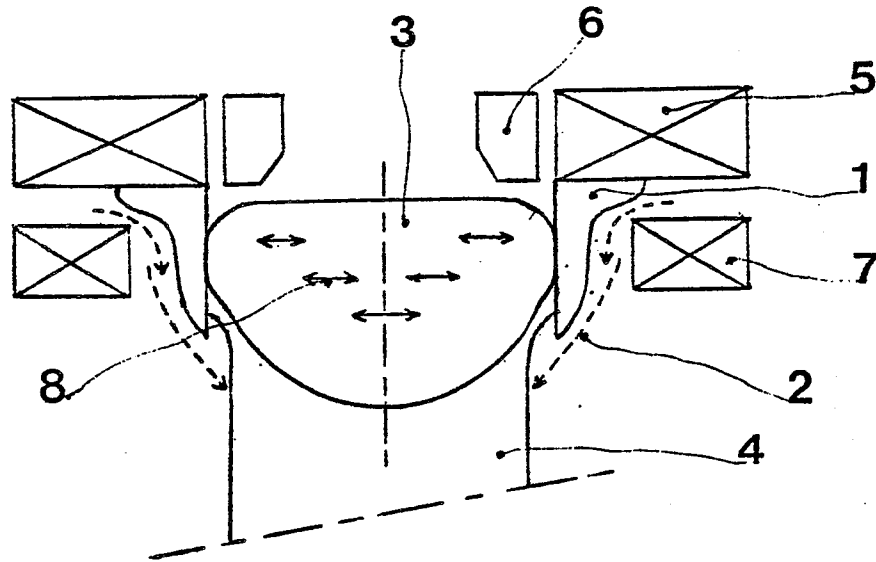


FIG. 1

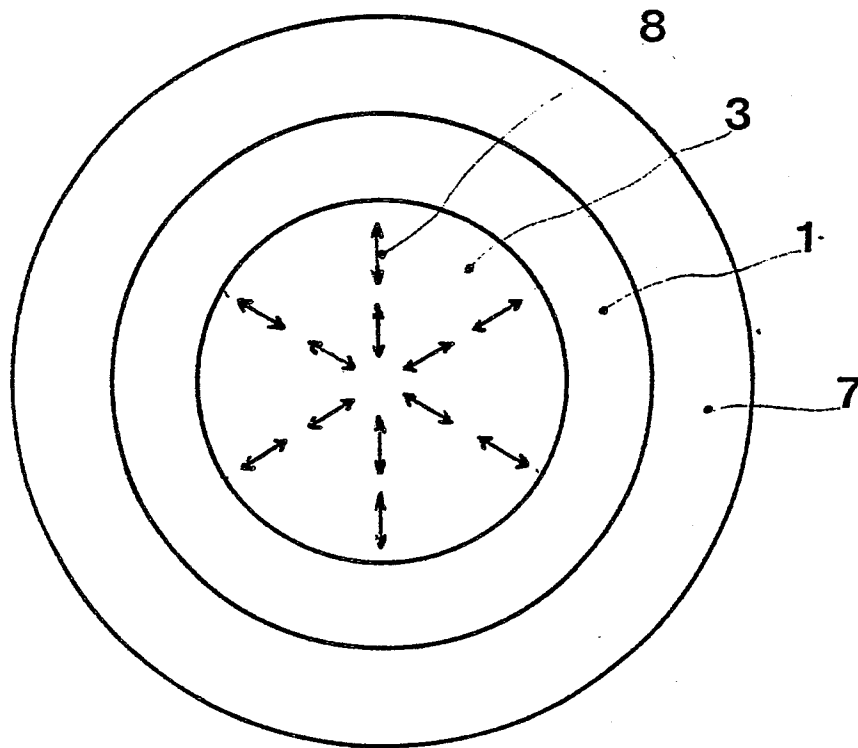


FIG. 2