

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

N° 81 15525

(54) Procédé et dispositif de brassage magnétique à aimants permanents.

(51) Classification internationale (Int. Cl.³). B 22 D 27/00, 11/10.

(22) Date de dépôt 11 août 1981.

(33) (32) (31) Priorité revendiquée :

(41) Date de la mise à la disposition du
public de la demande B.O.P.I. — « Listes » n° 7 du 18-2-1983.

(71) Déposant : Société dite : SUMITOMO METAL INDUSTRIES, LTD. — JP.

(72) Invention de : Sumio Kobayashi et Masahiro Yoshihara.

(73) Titulaire : *Idem* (71)

(74) Mandataire : Cabinet Lavoix,
2, place d'Estienne-d'Orves, 75441 Paris Cedex 09.

La présente invention se rapporte à un procédé et à un dispositif de brassage magnétique d'un métal en fusion, par exemple d'acier en fusion qui est destiné à être versé dans un moule pour la coulée. L'invention se rapporte plus particulièrement à un procédé et à un dispositif qui utilisent des aimants permanents pour brasser ou agiter magnétiquement un métal fondu, de façon non seulement à obtenir un degré suffisant d'agitation du métal mais également à éliminer une proportion relativement grande d'inclusions du métal fondu.

10 L'invention se rapporte plus particulièrement à la production de lingots possédant un rapport largeur/épaisseur relativement faible, correspondant par exemple à une forme rectangulaire, habituellement un rapport non supérieur à 2,5 : 1.

Ainsi qu'il est bien connu dans la technique, on observe quelquefois dans les billettes, blooms ou brames produits par une machine de coulée continue une ségrégation centrale et une porosité centrale. La formation de ces défauts est due à des facteurs métallurgiques et mécaniques ou à des problèmes de structure de la machine de coulée. Par exemple, on estime que la porosité centrale est due à une alimentation insuffisante d'acier fondu dans la partie centrale, phénomène qui est lui-même dû à la formation de voûtes pendant la progression de la solidification.

Il est également connu dans la technique que le brassage électro-magnétique utilisant un courant alternatif multiphasé est très efficace pour résoudre ces problèmes. Plus précisément, dans le procédé d'agitation électromagnétique, le métal fondu est agité au niveau du front de solidification sous l'effet de la force engendrée par des champs magnétiques extérieurs et l'écoulement du métal fondu agité, par exemple de l'acier fondu, vers la région du front de solidification est suffisant pour éviter la formation de voûtes. De cette façon, on peut obtenir un lingot sain qui comporte des cristaux équiaxes et dont la ségrégation centrale et la porosité centrale sont nettement réduites. (voir "Iron and Steel International " 35 Février 1979, pages 29 à 41 et "Fachberichte Hüttenpraxis

Metallweiterverarbeitung" 17ème année, fascicule 10/79, pages 820 à 831).

Toutefois, un dispositif d'agitation électromagnétique du type bien connu à champ magnétique tournant (rotatif) à induction utilise des électro-aimants générateurs de champs rotatifs alternatifs qui sont fixés autour du moule. Avec l'accroissement des dimensions des lingotières, il est devenu nécessaire d'accroître la dimension des électro-aimants pour obtenir un degré d'agitation suffisant. L'équipement nécessaire est alors de grande dimension et coûteux. Quelquefois, lorsque la machine de coulée continue est de grande dimension, il est impossible de réaliser un dispositif agitateur suffisamment grand. En outre, il y a une limite à la profondeur à laquelle un courant induit peut pénétrer dans un métal fondu. La limitation dépend de la fréquence du courant alternatif utilisé. Par exemple, dans le cas d'un courant alternatif d'une fréquence de 50 Hz, la profondeur de pénétration du courant induit est d'environ 100 mm, même lorsque des champs magnétiques sont appliqués par les deux faces du lingot. Par conséquent, lorsqu'on coule des lingots d'une largeur de 100 mm ou plus, il est nécessaire de réduire la fréquence à quelques Hz ou moins, par l'intermédiaire d'un convertisseur de fréquence. Ceci accroît le coût du dispositif. Par ailleurs, quelle que soit la fréquence, haute ou basse, qui est utilisée, une grande partie de la puissance est perdue dans les enroulements ainsi que dans les noyaux, de sorte que l'on estime que le rendement n'est que de 0,05 à 1,5 %. Dans le cas où l'on utilise une fréquence industrielle de 50 Hz, la rotation du champ magnétique est très rapide, par exemple de 3000 tr/mn pour un dispositif bipolaire. Au contraire, la rotation du métal fondu n'est que de 100 à 300 tr/mn. Ceci signifie qu'il se produit un glissement important dans le métal fondu. En outre, étant donné que la température du métal fondu qui est agité varie en fonction de la température de coulée, de la vitesse d'extraction et des conditions de refroidissement des lingots, la viscosité varie également et

quelquefois, l'effet de l'agitation n'est pas reproductible, même dans le cas de métaux fondus qui possèdent la même composition et qui sont traités dans les mêmes conditions d'agitation.

- 5 En vue d'éliminer ces inconvénients de la technique antérieure, il a été proposé d'utiliser des aimants permanents en remplacement des électro-aimants alimentés en courant alternatif multiphasé (voir demande de brevet japonais N° 55-149 754). Suivant le procédé décrit dans cette demande
- 10 de brevet, des aimants permanents sont disposés autour du moule et mis en mouvement autour de ce moule, le long du bord périphérique de celui-ci, de sorte qu'on obtient une profondeur suffisante de pénétration du courant induit et qu'il ne se produit pratiquement pas de glissement dans le métal fon-
- 15 du. Etant donné que le procédé décrit ci-dessus utilise des aimants permanents, on peut se dispenser de l'équipement de grande dimension qui serait nécessaire pour produire des champs magnétiques alternatifs rotatifs. On peut donc utiliser un dispositif de petite dimension.
- 20 L'un des défauts internes que les lingots d'acier peuvent présenter consiste dans la présence d'inclusions que l'on classe, suivant leur forme, en deux catégories, les inclusions sphériques du type silicate de manganèse et les in-
- 25 clusions d'alumine en grappes. En général, lorsqu'on effectue le brassage par le procédé du champ d'induction rotatif utilisant des électro-aimants, le métal fondu est agité dans un plan perpendiculaire à la direction d'extraction du lingot. L'acier fondu, qui possède un grand poids spécifique est donc soumis à l'action d'une force centrifuge dirigée vers la
- 30 périphérie du lingot. De leur côté, les inclusions de faible poids spécifique se concentrent dans la partie centrale du lingot. L'agitation électromagnétique a donc été estimée efficace pour épurer la zone de solidification grâce à une amélioration de l'élimination des impuretés ou inclusions de
- 35 la zone située juste au-dessous de la peau superficielle du lingot. En outre les inclusions qui ont été concentrées dans

la partie centrale du lingot sont agglutinées et volumineuses et tendent à remonter à travers le métal fondu. On estimait donc que l'agitation électromagnétique était efficace pour le traitement de l'acier fondu.

5 Toutefois, en général, la vitesse à laquelle les inclusions agglutinées s'élèvent n'est pas supérieure à la vitesse d'extraction des lingots et la plupart des inclusions restent enfermées dans le lingot. Un lingot contenant de grosses inclusions présente des inconvénients ayant trait à
10 la qualité du produit final formé et, étant donné que ces inclusions sont habituellement de grandes dimensions, un tel défaut est fatal.

Dans le procédé classique du type à champ d'induction, il a également été proposé d'utiliser un champ mobile en
15 translation de manière à établir un écoulement fluide de l'acier fondu dans un plan parallèle à la direction d'extraction du lingot (voir brevet britannique N° 1 326 728). Toutefois, ceci concerne un champ magnétique qui se déplace en translation de bas en haut et non pas un champ magnétique
20 tournant. Suivant un procédé décrit dans ce brevet, le champ mobile en translation crée un courant ascendant de métal fondu dans la zone de solidification, ce courant ayant pour fonction de faciliter la montée des inclusions vers la surface du métal fondu. Bien que le champ mobile en translation
25 soit efficace pour assurer la remontée des inclusions vers la surface du métal fondu, on observe les défauts suivants. Etant donné que ce procédé utilise également des électroaimants, il est inévitable que le rendement du dispositif est très faible et le dispositif doit donc avoir de grandes di-
30 mensions. En outre, en principe, ce procédé de brassage électromagnétique ne transmet pas une force d'agitation efficace aux parties périphériques, en particulier le long des côtés opposés, dans la direction de la largeur du lingot, dans un plan perpendiculaire à la direction d'extraction du lingot,
35 et il n'est donc pas bien approprié pour la production d'un lingot présentant un petit rapport de rectangle, par exemple

un rapport non supérieur à 2,5 : 1.

Par ailleurs, dans le procédé du type à champ d'induction mobile en translation, le dessin d'écoulement du métal fondu est très compliqué et non uniforme. En raison de l'écoulement non uniforme du métal fondu, des inclusions sont quelquefois entraînées dans le courant de métal fondu et on les retrouve dans le lingot de métal produit. A cet égard, même dans le cas du procédé utilisant des aimants permanents rotatifs, étant donné que le courant fluide du métal fondu est toujours contenu dans un plan perpendiculaire à la direction d'extraction du lingot, il n'est pas possible d'obtenir une élimination totale des inclusions du coeur du lingot.

L'un des buts de l'invention est de créer un procédé de brassage magnétique d'un métal fondu, par exemple d'acier fondu coulé dans la lingotière d'une machine de coulée continue, dans lequel on imprime au métal fondu un mouvement de rotation ainsi qu'un mouvement de convection forcée, de manière que la ségrégation centrale et la porosité centrale puissent être considérablement réduites et que les inclusions puissent également être entièrement éliminées.

Un autre but de l'invention est de réaliser un dispositif pour agiter magnétiquement un métal fondu tel que de l'acier fondu coulé dans la lingotière d'une machine de coulée continue. Le dispositif suivant l'invention est d'une structure tellement simple qu'il peut être fabriqué à peu de frais. Ce dispositif est également capable d'imprimer au métal fondu une force d'agitation ou de brassage suffisante même lorsque le champ magnétique tourne lentement, puisque la force du champ magnétique dans la partie centrale du métal fondu est très grande.

On a en particulier noté que le procédé de brassage magnétique qui utilise des aimants permanents tournants n'imprime à l'acier fondu qu'un glissement à peu près nul ou du moins seulement léger et que la partie centrale du métal fondu est uniformément agitée à une vitesse relativement faible, même lorsque le moule ou la lingotière est de grande section.

Ceci est dû au fait que le courant pénètre profondément.

L'invention se rapporte à un procédé et à un dispositif pour agiter ou brasser magnétiquement un métal fondu, par exemple de l'acier fondu, en améliorant l'élimination des in-
5 clusions, procédé et dispositif qui sont caractérisés en ce que des aimants permanents sont prévus autour de la lingotière, dans une disposition en hélice, en spirale ou en escalier et que les aimants permanents se déplacent autour de la périphérie de la lingotière de manière à transmettre au
10 métal fondu contenu dans la lingotière, par suite du mouvement des aimants permanents non seulement un champ magnétique tournant mais également un champ magnétique mobile en translation. La structure de l'aimant permanent peut être variable, pourvu qu'elle soit capable d'engendrer un champ mo-
15 bile en translation ainsi qu'un champ tournant lorsqu'elle se déplace le long de la périphérie de la lingotière. En général, l'aimant permanent peut être disposé en hélice, en spirale ou en escalier autour de la lingotière.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention
20 apparaîtront au cours de la description qui va suivre. Aux dessins annexés, donnés uniquement à titre d'exemple :

la Fig. 1 est une vue en coupe d'un exemple du dispositif suivant l'invention;

la Fig. 2 est une vue en perspective d'un aimant per-
25 manent cylindrique utilisé dans la mise en oeuvre de l'invention;

la Fig. 3 est une vue en perspective d'un autre arrangement d'aimants permanents utilisé pour la mise en oeuvre de l'invention;

30 la Fig. 4 est une illustration schématique montrant la variation du champ magnétique qui résulte du mouvement de l'aimant permanent;

la Fig. 5 est également une illustration schématique de la circulation de l'acier fondu fluide qui est obtenue
35 suivant l'invention;

la Fig. 6a est un exemple illustratif de macrostructure

considérée dans une coupe du lingot fondu, et la Fig. 6b est un exemple illustratif de macrostructure considérée dans une coupe du lingot fondu sans application de l'agitation magnétique suivant l'invention. Dans ces schémas, le symbole "x" 5 désigne des cristaux ou grains équiaxes, le petit cercle au centre représente une porosité centrale et la zone qui entoure la zone des cristaux équiaxes représente une zone de cristaux en batonnets ou basaltiques.

la Fig. 7 est un graphique qui montre la ségrégation 10 centrale du lingot coulé;

la Fig. 8 est un graphique qui montre la ségrégation centrale du lingot coulé de l'exemple témoin.

Le procédé de brassage magnétique suivant l'invention consiste à prévoir au moins un aimant permanent le long de la 15 paroi extérieure de la lingotière, cet aimant permanent étant conçu pour transformer le flux magnétique qui se présente sous une forme hélicoïdale ou en escalier dans une direction perpendiculaire à la direction longitudinale de la lingotière, sous l'effet de la rotation de cet aimant; à faire tour- 20 ner l'aimant permanent autour de la périphérie de la lingotière, le résultat étant qu'un champ magnétique tournant dû au flux magnétique qui traverse le moule et un champ magnétique mobile à translation qui résulte de l'angle de rotation de l'aimant permanent peuvent ainsi être appliqués au métal 25 fondu contenu dans la lingotière.

Les aimants permanents qui peuvent être utilisés pour la mise en oeuvre de l'invention peuvent être de n'importe quel type convenable en vue des applications précitées. On peut utiliser une seule feuille d'aimant permanent disposée 30 en hélice autour de la lingotière. En variante, on peut également utiliser un bloc cylindrique d'une matière à aimantation permanente qui est magnétisée en hélice. On peut également utiliser une série d'aimants permanents disposés en escalier autour de la lingotière.

35 L'invention sera décrite ci-après avec plus de détails à propos d'un dispositif d'agitation magnétique utilisé avec

une machine de coulée continue. Toutefois, il convient de remarquer que l'invention n'est pas limitée à cette application.

La Fig. 1 est une vue en coupe du dispositif suivant 5 l'invention incorporé dans une machine de coulée continue.

Le dispositif 1 représenté comprend un aimant permanent tournant 2 qui entoure la zone de refroidissement de la lingotière 3 montée dans une machine de coulée continue 5. Un conduit de fluide de refroidissement, par exemple d'eau, entoure la lingotière 3 et l'eau de refroidissement est acheminée par une entrée de refroidissement 6 et évacuée du dispositif par la sortie 7. L'aimant permanent tournant 2 entoure la zone de refroidissement définie par la lingotière entre l'entrée 6 et la sortie 7. Dans l'exemple représenté, 15 l'aimant permanent 2 est de forme cylindrique, un séparateur fait d'une matière non magnétique appropriée (voir Fig. 2 et 3) étant disposé entre les aimants qui sont eux-mêmes disposés en hélice ou en escalier. Un support 8 muni d'un roulement 9 qui rend l'aimant cylindrique rotatif est prévu en 20 dehors de cet aimant. Pour protéger l'aimant permanent 2, il est souhaitable de fixer une virole protectrice (non représentée) à la surface interne de l'aimant permanent. Ainsi qu'on l'a mentionné plus haut, le support 8 qui porte l'aimant permanent 2 est supporté par le roulement 9 et le roulement 25 9 est lui-même placé sur un socle 10 de la lingotière 3. Un mécanisme servant à entraîner l'aimant permanent 2 en rotation comprend un moteur 11 qui actionne une roue dentée motrice 12 pour faire tourner l'aimant permanent cylindrique 2. En remplacement de la roue dentée motrice 12, on peut également 30 utiliser diverses sortes de mécanismes d'entraînement rotatifs connus. Le moteur 11 peut être un moteur électrique ou un moteur hydraulique. La surface du métal fondu est désignée par la référence 13.

L'aimant permanent peut être constitué par une feuille 35 d'une matière à aimantation permanente qui est montée sur la surface interne d'un corps cylindrique fait d'une matière

magnétique. La Fig. 2 est une vue en perspective de l'aimant permanent tournant utilisé suivant l'invention. Des aimants permanents 21 et des éléments non magnétiques 22 sont disposés en alternance en hélice. Lorsque ce corps cylindrique 5 est entraîné en rotation autour de la lingotière, il se produit un champ magnétique unidirectionnel à travers le corps, dans une direction perpendiculaire à la direction de tirage du lingot. L'élément non magnétique peut être constitué par un séparateur 7 fait d'une matière non magnétique. En outre, 10 on peut utiliser deux ou plus de deux feuilles de matière magnétique et ces feuilles peuvent être mises sous la forme d'un aimant cylindrique dans lequel une partie magnétique et une partie non magnétique alternent entre elles avec une forme en hélice. La Fig. 3 est une vue en perspective d'une autre 15 forme de réalisation d'un aimant cylindrique utilisé suivant l'invention, dans lequel des aimants permanents 21 et des éléments non magnétiques 22 sont assemblés pour former un corps cylindrique et disposés en escalier.

L'invention sera décrite ci-après avec plus de détails 20 en regard de la Fig. 4, qui montre le principe sur lequel l'invention est basée. Sur la Fig. 4, l'axe horizontal représente la direction circonférentielle de l'élément cylindrique (ϕ) ou la direction axiale de l'aimant cylindrique (z) et l'axe vertical représente le champ magnétique au point (z, 25 ϕ) qui est proche de la surface de l'aimant. Comme on peut le voir sur la Fig. 4, le champ magnétique se déplace dans la direction circonférentielle et également dans la direction axiale lorsque l'aimant cylindrique est mis en rotation. Ainsi qu'il est bien connu dans la technique, le sens de la force 30 électromagnétique induite dans un corps conducteur (le métal fondu dans le cas considéré) coïncide avec la direction du champ magnétique mobile et le métal fondu contenu dans la lingotière est donc soumis à un mouvement rotatif (courant fluide horizontal) qui est dû au champ magnétique tournant, 35 et à un mouvement de convection, (courant fluide vertical) qui est dû au champ magnétique mobile en translation.

La Fig. 5 est une illustration schématique des courants fluides obtenus suivant l'invention. De cette façon, les inclusions situées au niveau du front de solidification sont éliminées par l'effet de "lavage" de l'écoulement induit et de la force centrifuge et sont remontées au niveau de la surface libre par le courant ascendant. Les inclusions parvenues au niveau de la surface libre sont absorbées par un flux en poudre déposé sur la surface du métal. Lorsque l'aimant permanent cylindrique 31 disposé autour de la lingotière 33 tourne autour de cette lingotière dans le sens indiqué par une flèche 32, l'acier fondu 35 coulé dans la lingotière est entraîné en rotation comme on l'a indiqué par une flèche 35 dans un plan perpendiculaire à la direction d'extraction du lingot coulé. L'acier fondu est également soumis au courant fluide représenté par la flèche 36, dans un plan parallèle à la direction d'extraction du lingot coulé. Ainsi qu'on l'a mentionné plus haut, les inclusions agglutinées concentrées dans la partie centrale du métal fondu sont donc bien entraînées jusqu'à la surface libre du métal fondu par le courant fluide dirigé vers le haut.

Dans le procédé d'agitation magnétique suivant l'invention, la formation de voûtes peut donc être éliminée avec succès par le mouvement de rotation du métal fondu et, par ailleurs, la ségrégation centrale et la porosité centrale sont également fortement réduites. En outre, les inclusions sont contraintes à s'élever à la surface du métal fondu à une vitesse suffisamment supérieure à la vitesse d'extraction du lingot coulé.

Ainsi que ce qui précède le montre de façon évidente pour l'homme de l'art, le dispositif d'agitation magnétique suivant l'invention peut être modifié dans une certaine mesure, suivant la nature de la machine de coulée continue sur laquelle il doit être monté. Toutefois, les modifications sont couvertes par l'invention pourvu qu'au moins un aimant permanent soit disposé autour du moule, avec une disposition en hélice ou en escalier et que cet aimant soit entraîné en

rotation autour du moule.

L'invention sera décrite de façon plus précise dans la suite à propos d'un exemple de mise en oeuvre.

Le dispositif d'agitation magnétique suivant l'invention comprend un aimant tournant permanent disposé en hélice et un mécanisme d'entraînement pour cet aimant, comme on l'a représenté sur les Fig. 1 et 2, a été monté sur une machine de coulée continue à quatre lignes pour la fabrication de billettes (100 mm x 80 mm) présentant un rapport rectangulaire (longueur/largeur) de 1,25.

Un corps cylindrique (360 mm de diamètre intérieur, 440 mm de diamètre extérieur) a été magnétisé en hélice de la façon représentée sur la Fig. 2. Entre les éléments magnétiques à aimantation permanente disposés en hélice, il est prévu un séparateur fait d'une matière non magnétique (acier inoxydable AISI 314). L'élément magnétique cylindrique à aimantation permanente a été fixé à la surface externe d'un manchon protecteur. Le diamètre extérieur du dispositif était de 520 mm et sa hauteur de 300 mm. L'aimant permanent utilisé dans cet exemple était un aimant au samarium-cobalt, avec un champ magnétique maximum de $159,2 \cdot 10^7$ A/m (20 MGOe) et une induction magnétique de $980 \cdot 10^{-4}$ W/m² dans la partie centrale du cylindre. L'aimant cylindrique était mis en rotation à une vitesse de 100 à 200 tr/mn.

Le brassage magnétique suivant l'invention a été appliqué à deux des quatre lignes. Les deux autres lignes ne comportaient pas l'invention. La vitesse d'extraction des lingots était de 1,5 m/mn. La composition de l'acier était :

C : 0,43 %	Si : 0,27 %
Mn : 0,65 %	P : 0,019 %
S : 0,010 %	Sol. Al : 0,0295 %

Le reste étant composé de fer contenant éventuellement des impuretés.

On a découpé des éprouvettes dans les lingots, respectivement aux points correspondant aux poids totaux de coulée de 10 tonnes et de 30 tonnes. On a examiné sur ces éprouvet-

tes la macrostructure, les inclusions et le nombre de ségrégations.

La Fig. 6a est une illustration schématique de la coupe d'un lingot produit conformément à l'invention. Ainsi qu'il ressort clairement de cette illustration, presque toute la structure est composée de cristaux équiaxes et la ségrégation centrale et la porosité centrale ont été effectivement éliminées. Au contraire, comme on le voit sur la Fig. 6b, la billette produite sans application d'une agitation magnétique suivant l'invention est principalement composée de cristaux basaltiques. Les données concernant la ségrégation centrale en fonction du soufre (S) et du carbone (C) ont été indiquées par les graphiques A et B de la Fig. 7. Les courbes A représentent les caractéristiques du lingot produit sans l'application de l'invention et les courbes B montrent les caractéristiques des lingots produits conformément à l'invention. Les courbes B montrent que la ségrégation centrale a pu être convenablement éliminée par l'application de l'invention. En outre le nombre d'inclusions était de 13 par m² dans le lingot témoin et de 2 par m² dans le lingot suivant l'invention. Ce fait montre que l'invention est également efficace dans son action de suppression des inclusions.

L'induction magnétique produite avec l'agitation électromagnétique classique est de l'ordre de $400 \cdot 10^{-4}$ W/m² dans la partie centrale du métal fondu. Au contraire, suivant l'invention, la force du champ magnétique était de 0,1 W/m² dans l'exemple d'application précité. Dans l'application de l'invention, il est facile d'obtenir une induction magnétique d'au moins 0,1 W/m². En outre, étant donné que le dispositif suivant l'invention est très simple, on peut lui donner une forme compacte et le fabriquer à un prix de revient réduit. Exemple témoin :

Dans cet exemple, on a reproduit l'exemple précédent, on a disposé un aimant permanent autour de la lingotière et on l'a fait tourner mais l'aimant tournant n'était pas magnétisé sous une forme hélicoïdale ou en escalier. Cet exem-

ple ne comportait donc pas de champ magnétique mobile en translation. L'acier fondu ne subissait donc que l'action d'un courant dans un plan perpendiculaire à la direction d'extraction du lingot.

5 Les résultats des essais sont résumés sur la Fig. 8. Les concentrations de carbone et de soufre sont encore relativement fortes dans la partie centrale du lingot. Ceci signifie que l'élimination des inclusions n'était pas satisfaisante en l'absence de l'application du procédé suivant
10 l'invention.

Ainsi qu'on l'a mentionné plus haut, l'agitation magnétique suivant l'invention peut être mise en oeuvre à l'aide d'un dispositif simple dans lequel un aimant permanent est magnétisé ou disposé en hélice ou en escalier et tourne au-
15 tour de la lingotière pendant la coulée. Le métal fondu coulé dans la lingotière est soumis à la fois à un écoulement horizontal et à un écoulement vertical de sorte que les inclusions concentrées dans la partie centrale du métal fondu sont entraînées dans le métal fondu qui s'écoule de bas en
20 haut et sont éliminées avec succès. De cette façon, suivant l'invention, on peut produire de façon satisfaisante des lingots de meilleure qualité et particulièrement propres.

Revendications

1 - Procédé de brassage magnétique d'un métal fondu coulé dans un moule, caractérisé en ce qu'on dispose au moins un aimant permanent tournant autour du moule, cet aimant permanent ayant été disposé de manière que, lorsqu'on met cet aimant permanent en mouvement autour du moule, on engendre un champ magnétique tournant dans un plan perpendiculaire à la direction longitudinale du moule et un champ magnétique mobile en translation ascendante dans un plan parallèle à ladite direction longitudinale, et on met ledit aimant permanent en mouvement autour du moule de manière à agiter le métal fondu dans un plan perpendiculaire à ladite direction longitudinale ainsi que dans un plan parallèle à ladite direction longitudinale pendant la solidification du métal fondu qui a été coulé dans le moule.

2 - Procédé suivant la revendication 1, caractérisé en ce que ledit aimant permanent est disposé en hélice ou en spirale autour du moule.

3 - Procédé suivant la revendication 1, caractérisé en ce que ledit aimant permanent est disposé en escalier autour du moule.

4 - Procédé suivant l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que la combinaison dudit champ magnétique tournant et du champ magnétique mobile en translation engendre un courant de fluide ou écoulement dirigé vers le haut le long du front de solidification du métal fondu qui a été coulé dans le moule.

5 - Dispositif pour agiter magnétiquement un métal fondu coulé dans un moule, caractérisé en ce qu'il comprend un aimant permanent tournant (2) disposé autour dudit moule (3), cet aimant permanent ayant été magnétisé de telle manière que, lorsqu'il est mis en mouvement autour du moule, il engendre un champ magnétique tournant dans un plan perpendiculaire à la direction longitudinale du moule et un champ magnétique mobile en translation dirigé vers le haut dans un plan parallèle à ladite direction longitudinale; et des mo-

yens d'entraînement (11,12) servant à mettre ledit aimant permanent en mouvement autour du moule.

6 - Dispositif suivant la revendication 5, caractérisé en ce que ledit aimant permanent tournant est supporté par un manchon cylindrique (8). et que ce manchon cylindrique est entraîné en rotation par lesdits moyens d'entraînement.

7 - Dispositif suivant l'une des revendications 5 et 6, caractérisé en ce que ledit aimant permanent est composé d'au moins un aimant permanent qui a été disposé en hélice 10 autour du moule.

8 - Dispositif suivant l'une des revendications 5 et 6, caractérisé en ce que ledit aimant permanent est composé d'au moins un aimant permanent 21 qui a été disposé en escalier autour du moule.

15 9 - Dispositif suivant la revendication 6, caractérisé en ce que ledit aimant permanent est composé de deux ou plus de deux aimants permanents disposés en hélice sur la surface interne dudit manchon cylindrique.

10 - Dispositif suivant la revendication 6, caractérisé en ce que ledit aimant permanent est composé de 20 deux ou plus de deux aimants permanents disposés en escalier sur la surface interne dudit manchon cylindrique.

11 - Dispositif suivant l'une des revendications 9 et 10, caractérisé en ce qu'au moins un séparateur non magnétique 25 que (22) est intercalé entre lesdits aimants permanents.

Fig. 1

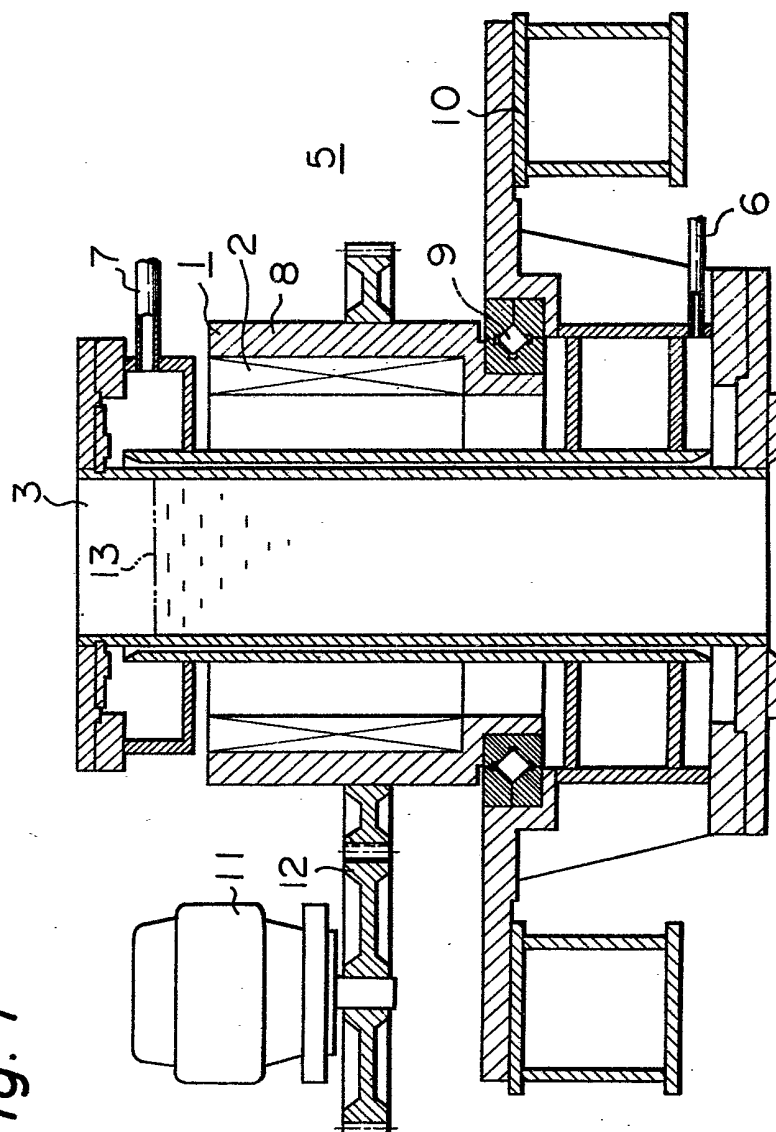


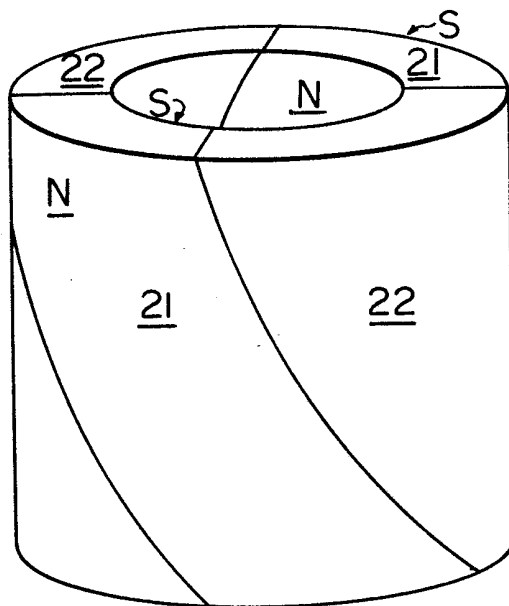
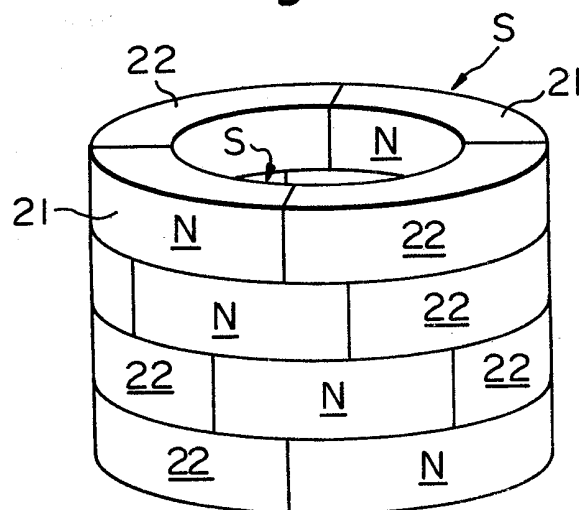
Fig. 2*Fig. 3*

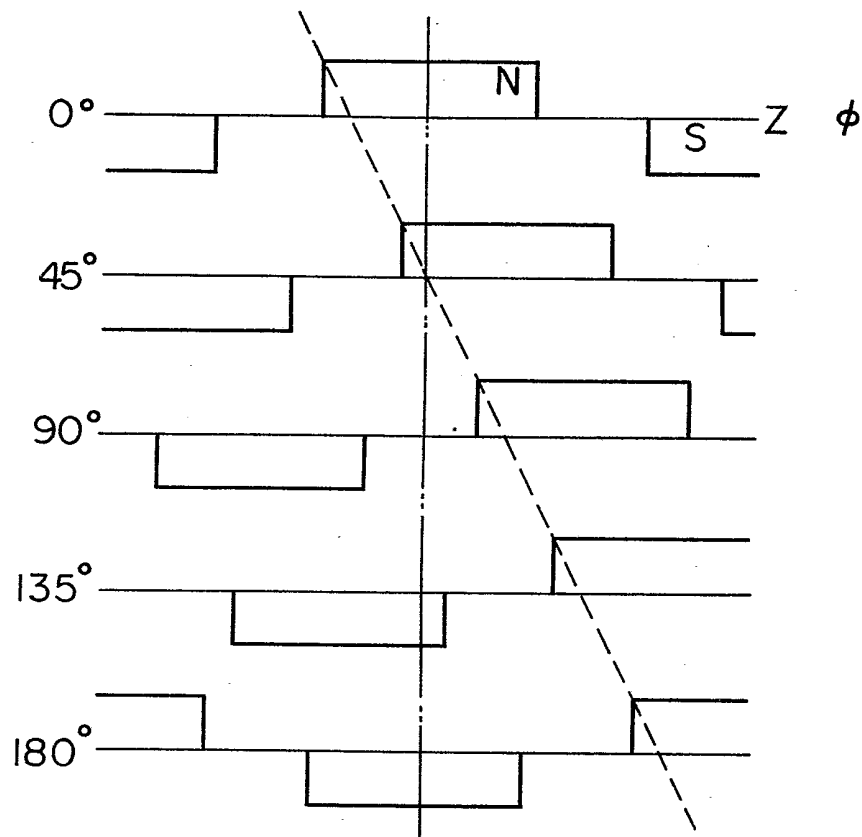
Fig. 4

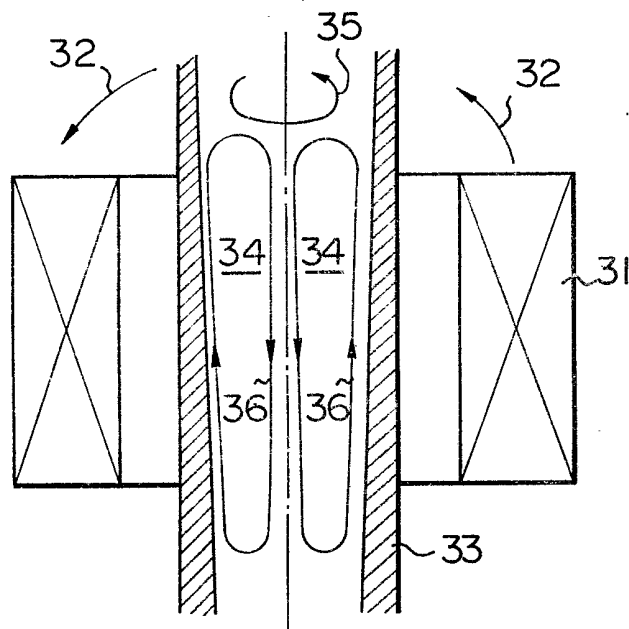
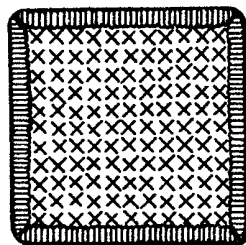
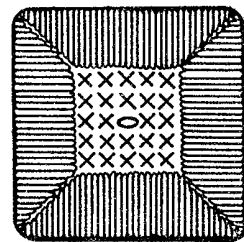
Fig. 5*Fig. 6 a**Fig. 6 b*

Fig. 7

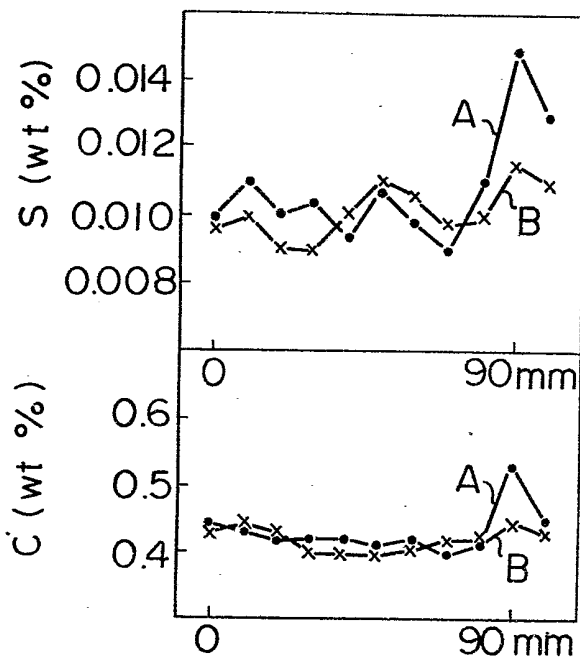


Fig. 8

