



⑫ **NOUVEAU FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

④⑤ Date de publication du nouveau fascicule du brevet : **08.12.93 Bulletin 93/49**

⑤① Int. Cl.⁵ : **B22D 11/12**

②① Numéro de dépôt : **83401148.8**

②② Date de dépôt : **07.06.83**

⑤④ **Procédé et installation de brassage électromagnétique de brames métalliques, notamment d'acier, coulées en continu.**

③⑩ Priorité : **18.06.82 FR 8210844**

④③ Date de publication de la demande :
04.01.84 Bulletin 84/01

④⑤ Mention de la délivrance du brevet :
29.07.87 Bulletin 87/31

④⑤ Mention de la décision concernant
l'opposition :
08.12.93 Bulletin 93/49

⑧④ Etats contractants désignés :
AT BE CH DE GB IT LI LU NL SE

⑤⑥ Documents cités :
EP-A- 0 053 060
DE-A- 1 583 601
DE-A- 1 962 341
DE-A- 2 902 237
DE-A- 2 912 539
DE-U- 6 930 213
FR-A- 2 068 803
FR-A- 2 211 308
FR-A- 2 437 900

⑦③ Titulaire : **ROTELEC S.A.**
Tours Mercuriales
F-93176 Bagnolet Cedex (FR)

⑦② Inventeur : **Birat, Jean-Pierre**
10, chemin des Pavillons
F-57210 Semecourt (FR)
Inventeur : **Neu, Patrick**
19, rue de la Rousse Marange Silvange
F-57300 Hagondange (FR)
Inventeur : **Senaneuch, Denis**
Usinor Dunkerque B.P. No 2.508
F-59381 Dunkerque Cédex (FR)

⑦④ Mandataire : **Ventavoli, Roger**
INSTITUT DE RECHERCHES DE LA
SIDERURGIE FRANCAISE (IRSID) 185, rue
Président Roosevelt
F-78105 Saint-Germain-en-Laye Cédex (FR)

EP 0 097 561 B2

Description

La présente invention concerne le brassage électromagnétique des brames métalliques, notamment d'acier, coulées en continu. Elle se rapporte plus précisément aux opérations de brassage électromagnétique du métal en fusion dans la zone du refroidissement secondaire d'une machine de coulée continue de brames.

Les opérations de brassage électromagnétique, dont il est question ici, consistent, comme il est connu, à soumettre le produit coulé à un ou plusieurs champs magnétiques mobiles, glissant dans une direction déterminée, et dont l'action sur le métal liquide se manifeste alors par un entraînement de ce dernier identique, en sens et direction, au déplacement du champ magnétique.

Dans le cas de produits de section allongée, telle que les brames, coulés en continu, il est connu d'entraîner le métal liquide de la façon indiquée ci-dessus dans un mouvement de translation horizontale, parallèle aux grandes faces du produit.

Le champ magnétique mobile est généralement créé par un inducteur statique polyphasé disposé de préférence au voisinage immédiat du produit coulé et pouvant présenter différentes conceptions: par exemple un inducteur monobloc, similaire à un stator de moteur linéaire à induction, placé soit derrière les rouleaux de maintien et de guidage de la brame en cours de coulée, soit en substitution d'un ou plusieurs de ces rouleaux (brevet français n° 2 068 803, brevet allemand n° 2 401 145), soit encore dans des espaces rendus disponibles entre deux rouleaux consécutifs (brevet français n° 2 187 468). Il a été également proposé un inducteur de structure cylindrique introduit à l'intérieur même d'un ou plusieurs rouleaux, rendus tubulaires à cette fin (brevet anglais n° 1 405 312).

L'intérêt du brassage contrôlé du métal liquide en cours de coulée, intérêt que l'on connaît maintenant de longue date, réside dans l'amélioration systématique de la qualité interne du produit brassé par rapport au produit non brassé. Cette qualité améliorée, qui se caractérise en particulier par une réduction de la porosité centrale, ainsi que par une diminution sensible des macro-ségrégations axiales, résulte de l'influence favorable du brassage sur la structure de solidification. Cette dernière en effet reflète, dans le cas de produits brassés, une interruption précoce de la croissance cristalline périphérique de type « basaltique » (croissance dendritique) au profit de la formation et du développement d'une zone centrale à structure de solidification non-orientée, dite de type « équiaxe », corrélativement plus étendue.

Cependant, bien que la relation de cause à effet entre une large zone équiaxe et une faible ségrégation axiale soit désormais indiscutable, les nombreuses observations métallographiques effectuées par les inventeurs montrent que la ségrégation axiale

peut quand même demeurer relativement importante malgré une zone équiaxe bien développée.

La question qui se pose alors, et à laquelle la présente invention a pour but de répondre, consiste à savoir s'il existe un type de brassage optimal permettant d'obtenir à coup sûr, conjointement avec une zone équiaxe centrale très large, un niveau de macro-ségrégation axiale le plus faible possible, et en tout cas sensiblement plus réduit que celui obtenu par la technique habituelle de brassage électromagnétique.

Un autre but est de parvenir au résultat précité avec un minimum d'inducteurs de brassage.

Avec ces objectifs en vue, l'invention a pour objet un procédé de brassage électromagnétique des brames métalliques, notamment d'acier, coulées en continu, selon lequel, dans la partie du puits liquide située en aval de la lingotière dans le sens d'extraction de la brame, on soumet cette dernière à au moins un champ magnétique mobile, glissant selon la largeur de la brame et créant un mouvement d'entraînement du métal liquide, procédé caractérisé en ce que, dans le but de brasser le métal liquide sur la portion du produit coulé comprise entre 3 à 4 mètres environ sous la surface libre du métal en lingotière et 2 à 3 mètres environ du fond du puits de solidification, on fait agir une pluralité de champs magnétiques glissants produits par des inducteurs électromagnétiques que l'on dispose de façon étagée sur ladite portion en les espaçant, d'une distance de 1 à 2 m environ en ce qu'on localise l'inducteur le plus voisin de la lingotière à environ 5 à 7 m sous la surface libre du métal liquide et on localise l'inducteur le plus voisin du fond du puits de solidification à environ 4 à 6 m de ce fond, et en ce que l'on règle les inducteurs de façon que le champ magnétique créé par un inducteur quelconque glisse dans un sens opposé de celui des champs magnétiques créés par les inducteurs les plus proches voisins.

Conformément à une mise en oeuvre particulière, utilisant un minimum d'inducteurs électromagnétiques, on dispose ces derniers selon une configuration en quinconce de part et d'autre des deux grandes faces de la brame.

Conformément à une variante préférée, on place l'inducteur électromagnétique le plus proche de la lingotière sur l'extrados de la brame c'est-à-dire en regard de la grande face placée à l'opposé du centre de courbure de la machine de coulée continue.

Comme on l'aura sans doute déjà compris, l'invention consiste, dans ses traits fondamentaux, à répartir l'énergie électromagnétique de brassage transmise au métal coulé sur la majeure partie de la hauteur métallurgique de manière à créer des mouvements de convection qui s'établissent dans la quasi-intégralité du puits de solidification.

Ceci étant, il n'est pas nécessaire de brasser sur toute la hauteur du puits liquide pour les raisons suivantes:

d'une part, il est inutile de faire agir le champ magnétique au voisinage de l'extrémité de fermeture du puits de solidification, car en cet endroit le métal est déjà suffisamment pris en masse pour que l'on ne puisse y créer des mouvements de convection et ceci même avec des puissances électromagnétiques très importantes

d'un autre côté, il n'est pas souhaitable de brasser trop haut sur la hauteur métallurgique, c'est-à-dire au voisinage immédiat de la lingotière, car le jet d'alimentation du métal liquide en lingotière crée naturellement des mouvements de convection favorables qui s'étendent dans le puits liquide jusqu'à une distance égale à 2 ou 3 fois environ la hauteur de la lingotière et qu'il n'est pas opportun de perturber.

Dans ces conditions, on comprend que la portion de la hauteur métallurgique devant être soumise à un brassage électromagnétique conformément à l'invention, se situe entre une limite supérieure, à environ 3 à 4 mètres sous la surface libre du métal en lingotière, et une limite inférieure que l'on peut situer environ à 2 ou 3 mètres du point de fermeture du puits de solidification.

Pour déterminer maintenant la localisation des inducteurs assurant un tel brassage, il faut tenir compte, en outre, du fait que l'action directe d'entraînement du champ magnétique à un niveau quelconque de la hauteur métallurgique induit des mouvements de recirculation du métal liquide (entraînement indirect) assurant le bouclage des lignes de courant, et qui s'épanouissent de part et d'autre de la zone d'entraînement direct jusqu'à une distance d'environ 2 à 3 mètres de cette dernière.

Compte tenu de ces précisions, on localise l'action du champ magnétique le plus voisin de la lingotière à environ 5 à 7 mètres sous la surface libre du métal liquide, et on localise l'action du dernier champ magnétique au voisinage du fond du puits de solidification, à une distance d'environ 4 à 5 mètres au-dessus dudit fond.

Bien entendu, la distance moyenne séparant une zone d'entraînement direct d'une zone de recirculation dépend au premier chef de la force électromagnétique à laquelle est soumise le métal liquide, c'est-à-dire essentiellement de l'intensité du champ magnétique agissant sur le métal, puisque la vitesse de glissement du champ (i. e. fréquence du courant électrique dans l'inducteur) est nécessairement faible, autour de 1 à 5 Hz environ, pour limiter l'affaiblissement du champ entre la surface active de l'inducteur et le métal liquide.

On peut dire toutefois que, compte-tenu de la technologie dont on dispose actuellement, les inducteurs électromagnétiques compatibles avec une installation de coulée continue de brames dans des conditions d'exploitation normale permettent de délivrer des champs magnétiques suffisamment puissants pour que l'écart entre la zone d'entraînement di-

rect du métal liquide et la zone de recirculation se situe autour de 2 mètres environ, voire au-delà.

Il peut être utile de préciser que l'on parvient aisément à détecter les niveaux sur la hauteur métallurgique où se situent les zones de recirculation. Celles-ci apparaissent en effet à l'observation métallographique, sur coupe en section droite de la barre solidifiée, sous forme de couronnes plus claires que le reste de la matrice métallique (appelée également zones de ségrégation négative ou « zone blanche »), et dont la clarté est sensiblement plus estompée que celle des couronnes de ségrégation négative principale, qui se forment, elles, au niveau de l'entraînement direct du champ magnétique glissant. La profondeur à laquelle sont localisées ces différentes zones de ségrégation négative dans le produit par rapport à sa surface dépend des conditions locales d'exploitation de la machine de coulée et notamment de la surchauffe initiale du métal alimentant la lingotière, de la vitesse d'extraction de la brame et de la vitesse de solidification du produit c'est-à-dire du réglage du système de refroidissement. La connaissance de ces différents paramètres permet donc de relier facilement la profondeur de localisation des zones de ségrégation négative aux niveaux sur la hauteur métallurgique où interviennent les mouvements de circulation directs et de recirculation du métal liquide sous l'action des champs magnétiques.

Il doit être souligné que ces mêmes paramètres permettent d'approcher assez finement, dans chaque cas, les niveaux limites supérieur et inférieur définissant la portion de la hauteur métallurgique soumise au brassage conformément à l'invention. A titre indicatif, on pourra noter qu'en ce qui concerne par exemple la vitesse d'extraction des brames, celle-ci peut aller d'environ 0,7 mètre/minute à plus de 3 mètres/minute, c'est-à-dire varier dans un rapport de 1 à 5 entre des installations différentes, ou coulant des nuances d'acier différentes.

On va maintenant décrire, à titre illustratif, une configuration caractéristique du procédé selon l'invention utilisant un nombre minimum d'inducteurs de brassage et adaptée à la coulée continue de brames à faible vitesse d'extraction (0,7 mètre/minute) et dont le puits liquide présente une hauteur métallurgique réduite à environ 12 mètres.

La description de cet exemple sera faite en référence aux planches de figures annexées sur lesquelles:

la figure 1 montre une brame coulée en continu selon une vue en coupe longitudinale médiane parallèle aux grandes faces de la brame, la figure 2 est une vue analogue à celle de la figure 1 mais selon une coupe parallèle aux petites faces latérales de la brame, la figure 3 est une empreinte Baumann de la partie centrale d'une section droite de la brame solidifiée.

On a schématisé sur les figures 1 et 2, une lingotière 1, une busette 2 alimentant la lingotière en métal liquide. la brame 3 en cours de coulée et présentant une couche extérieure solidifiée 4 et un coeur à l'état liquide 5. La ligne tracée en 6 définit la fermeture du puits de solidification par jonction des fronts de solidification croissants sur les grandes faces du produit. La hauteur métallurgique « H », c'est-à-dire la distance séparant la surface du métal liquide 7 en lingotière de la fermeture 6 du puits de solidification, peut être lue directement en mètres sur la figure 1 grâce aux repères placés sur la petite face de gauche de la brame. Sur les figures, les régions d'action directe des champs magnétiques glissants ont été représentées par les deux zones hachurées 9 et 10. Ces zones, comme on l'a déjà dit, définissent les régions d'entraînement direct du métal liquide dont les lignes de courant ont été représentées par les boucles 13 en traits épais sur la figure 1. Les sens de glissement des champs magnétiques agissant selon la largeur de la brame sont indiqués par des flèches sur la gauche des zones d'entraînement direct 9 et 10 de la figure 1 et par les symboles conventionnels sur la fig. 2.

La mise en oeuvre de l'invention ne pose aucun problème particulier et on pourra avantageusement utiliser, ainsi que le montre très schématiquement la figure 2, des inducteurs électromagnétiques à champ glissant de structure cylindrique, placés à l'intérieur des rouleaux de soutien et de guidage de la brame coulée rendus tubulaires à cette fin. L'ensemble ainsi constitué par le rouleau et l'inducteur interne est un ensemble fonctionnel, livré prêt à l'emploi, et habituellement désigné dans le domaine technique considéré par l'expression « rouleau-brasseur ». Ces rouleaux-brasseurs, ne faisant pas partie de l'objet propre de l'invention, ne seront pas ici décrits en détail. Si on le souhaite, on pourra trouver une description détaillée de leur conception et de leur technologie en se reportant à la demande de brevet anglais n° 1 405 312-IRSID.

Pour ne pas surcharger inutilement les figures, ces rouleaux-brasseurs n'ont pas été représentés sur la figure 1. Sur la figure 2, seuls les rouleaux-brasseurs 11, 11' et 12, 12' ont été illustrés à l'exclusion de tous les autres rouleaux ordinaires qui jalonnent normalement en rangs serrés les grandes faces de la brame.

La configuration minimale représentative de la répartition de l'action du champ magnétique sur la hauteur métallurgique, se caractérise ici, comme on le voit, par la mise en place d'une première paire de rouleaux-brasseurs 11, 11' sur l'extrados de la brame, en aval de la lingotière, à une distance moyenne de 6 mètres de la surface libre 7 du métal coulé, et une seconde paire de rouleaux 12, 12' décalée vers le bas par rapport à la paire 11, 11' d'une distance moyenne de 1,50 mètre. Par ailleurs, le sens de glissement du champ magnétique créé par la paire 11, 11' est à l'op-

posé de celui créé par la paire 12, 12'.

Dans ces conditions, le brassage électromagnétique provoqué par les champs glissants agissant sur les deux niveaux 9 et 10 décalés en hauteur crée au sein du métal liquide un mouvement de convection forcée sous forme de triple « 0 » ou, si l'on préfère, « d'ailes de papillon », qui se développe sur la majeure portion de la hauteur métallurgique, c'est-à-dire sur la portion comprise entre le niveau limite supérieur à la cote 3,5 mètres environ et le niveau limite inférieur voisin de la cote 10 mètres. Plus précisément ce mouvement en « ailes de papillon » comprend, comme on le voit, un corps central 13 à circulation relativement intense car elle est générée par l'effet conjugué des deux zones d'entraînement direct 9 et 10 et, de part et d'autre de ce corps central 13, des régions de recirculation 14, 15, qui s'épanouissent respectivement vers le haut et vers le bas jusqu'aux niveaux, sur la hauteur métallurgique, de 3,5 mètres et 10 mètres environ.

Les analyses métallographiques effectuées montrent que les brames coulées et brassées en continu de la manière qui vient d'être décrite, présentent une très large zone de solidification équiaxe qui s'initie déjà à une profondeur de peau correspondant au niveau, sur la hauteur métallurgique, de 3,5 mètres environ. Par ailleurs, ces analyses montrent également que le coeur des brames est pratiquement exempt de phénomènes de macroségrégation. Ces résultats peuvent être vus directement sur la figure 3 où l'on a représenté en 16 l'axe de la brame, (lequel se confond d'ailleurs avec l'axe de coulée) et où l'on a désigné en 17 la large zone de solidification équiaxe bordée de part et d'autre par une frange 18 de solidification basaltique orientée, assez difficilement discernable sur cette reproduction d'un tirage photographique. On voit cependant clairement sur cette dernière, au sein de la phase équiaxe 17 les deux cernes clairs concentriques 19 et 20 à distance rapprochée l'un de l'autre et caractérisant les zones de ségrégation négative formées par l'action de brassage dans les régions d'entraînement direct 9 et 10. On distingue également, autour et à distance de ces cernes, une autre couronne (21) de ségrégation négative, de contraste beaucoup plus atténué, et traduisant à cet endroit la présence de la région de recirculation supérieure référencée 14 sur la figure 1. Il est à noter que la couronne de ségrégation négative correspondant à la région de recirculation basse 15 n'est pas observable sur la coupe métallographique, car on se situe à ce niveau dans une région où la proportion de solide dans le liquide est très importante et forme donc un squelette rigide et où, par conséquent, le balayage du front de solidification par les mouvements de convection forcée du métal liquide, responsable de la formation de zone de ségrégation négative, n'opère plus à cet égard de façon significative.

Il va de soi que l'invention ne saurait se limiter à

l'exemple décrit et s'étend à de nombreuses variantes et équivalents dans la mesure où sont respectées les caractéristiques énoncées dans les revendications jointes.

Il en est ainsi notamment du nombre de champs magnétiques glissants, c'est-à-dire du nombre de zones d'entraînement direct qui s'étagent sur la hauteur métallurgique, à condition toutefois que le sens de glissement des champs s'inverse entre deux zones d'entraînement directs consécutives.

De même la disposition en quinconce des inducteurs de brassage définissant les zones d'entraînement direct se justifie dans le cas où le nombre d'inducteurs disponibles est limité. Si non, il est tout à fait possible de coupler les inducteurs les uns en regard des autres au niveau des zones d'entraînement direct, l'important dans ce cas étant bien entendu que les champs magnétiques créés par les inducteurs appariés au niveau d'une zone d'entraînement direct déterminée glissent dans le même sens.

De même, le fait que les zones d'entraînement direct 9 et 10 sont créées chacune par un jumelage de deux inducteurs électromagnétiques 11, 11' et 12, 12', ne saurait en aucun cas constituer une limite de la présente invention. Ces dispositions ne s'expliquent en effet que par la volonté de travailler au cours des essais avec des puissances électromagnétiques de l'ordre de 250 KVA pour chaque zone d'entraînement direct. alors que la puissance nominale des inducteurs disponibles s'élevait à 125 KVA.

Dans des conditions, on considéra, pour l'intelligence de l'invention, que les unités inductrices jumelées sur une même face de la brame telles que 11, 11' au 12, 12' et/ou appariées au même niveau sur les deux faces opposées, constituent un seul et même inducteur, car elles sont destinées à produire une seule et même zone d'entraînement direct du métal liquide. En particulier le sens de glissement du champ magnétique est uniforme pour ces unités inductrices.

Revendications

1. Procédé de brassage électromagnétique de brames métalliques, notamment d'acier, coulées en continu, selon lequel, dans la partie du puits de solidification située en aval de la lingotière dans le sens d'extraction de la brame, on soumet cette dernière à au moins un champ magnétique mobile, glissant selon la largeur de la brame et créant un mouvement d'entraînement du métal liquide, procédé caractérisé en ce que, dans le but de brasser le métal liquide sur la portion du produit coulé comprise entre 3 à 4 m environ sous la surface libre (7) du métal en lingotière et 2 à 3 m environ du fond (6) du puits de solidification, on fait agir une pluralité de champs magnétiques

glissants produits par des inducteurs électromagnétiques (11, 11', 12, 12') que l'on dispose de façon étagée sur ladite portion en les espaçant, d'une distance de 1 à 2 m environ en ce qu'on localise l'inducteur le plus voisin de la lingotière à environ 5 à 7 m sous la surface libre (7) du métal liquide, et on localise l'inducteur le plus voisin du fond (6) du puits de solidification à environ 4 à 6 m dudit fond, et en ce que l'on règle les inducteurs de façon que le champ magnétique créé par un inducteur quelconque glisse dans un sens opposé de celui des champs magnétiques créés par les inducteurs les plus proches voisins.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'on dispose les inducteurs selon une configuration en quinconce de part et d'autre des deux grandes faces de la brame.
3. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que l'on dispose l'inducteur le plus proche de la lingotière sur l'extrados de la brame.
4. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'on utilise, de façon connue pour le brassage du métal liquide, des inducteurs électromagnétiques polyphasés de forme cylindrique placé longitudinalement à l'intérieur des rouleaux de soutien et de guidage de la brame, rendus tubulaires à cette fin.

Patentansprüche

1. Verfahren zum elektromagnetischen Rühren von stranggegossenen metallischen Brammen, insbesondere aus Stahl, bei dem in jenem Teil des Erstarrungsschachtes, der stromabwärts von der Kokille in Austragrichtung der Bramme gelegen ist, letztere wenigstens einem beweglichen Magnetfeld unterworfen wird, das entlang der Breite der Bramme gleitet und eine Mitnahme-bzw. Mitreibbewegung für das flüssige Metall erzeugt, welches Verfahren dadurch gekennzeichnet ist, daß, um das flüssige Metall in jenem Abschnitt des gegossenen Produktes zu rühren, der innerhalb von etwa 2-3 m vom Boden bzw. Ende (6) des Erstarrungsschachtes gelegen ist, eine Vielzahl von gleitenden Magnetfeldern wirken gelassen bzw. Erzeugt wird, die von elektromagnetischen Induktoren (11, 11', 12, 12') erzeugt werden, die abgestuft in einem Abstand von etwa 1-2 m voneinander über den genannten Abschnitt verteilt werden, daß der Kokille am nächsten gelegene Induktor etwa 5-7 m unter der freien Oberfläche (7) des flüssigen Metalls angeordnet wird, daß der dem Boden bzw. dem Ende (6) des Er-

starrungsschachtes am nächsten gelegene Induktor etwa 4-6 m vom genannten Boden angeordnet wird und daß die Induktoren so geregelt werden, daß das von jedem beliebigen Induktor erzeugte Magnetfeld in einer Richtung gleitet, die entgegengesetzt zur Richtung der Magnetfelder ist, die von den am nächsten gelegenen benachbarten Induktoren erzeugt werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Induktoren in einer Fünfpunkt-Konfiguration auf beiden Seiten der großen Flächen der Bramme angeordnet werden.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß der der Kokille am nächsten gelegene Induktor auf dem Rücken bzw. der Schmal-seite der Bramme angeordnet wird.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß auf an sich bekannte Weise für das Rühren des flüssigen Metalls mehrphasige elektromagnetische Induktoren von zylindrischer Form verwendet werden, die in Längsrichtung im inneren der Abstütz- und Führungswalzen der Bramme angeordnet sind, die zu diesem Zweck röhrenförmig ausgebildet sind.

of the magnetic fields created by the closest adjacent inductors.

2. A process according to claim 1, characterized in that the inductors are disposed according to a staggered configuration on each side of the two large surfaces of the slab.
3. A process according to claim 2, characterized in that the inductor closest to the ingot mould is disposed on the extrados of the slab.
4. A process according to any of the above claims, characterized in that polyphase, cylindrical electromagnetic inductors placed longitudinally within support and guide rolls for the slab, made tubular for this purpose, are used, as are known for stirring liquid metal.

Claims

1. A process for electromagnetically stirring continuously cast metal slabs, in particular of steel, according to which in the part of the solidification pool located downstream of the ingot mould in the direction of extraction of the slab, the latter is subjected to at least one mobile magnetic field, sliding according to the width of the slab and creating a driving movement of the liquid metal, characterized in that, in order to stir the liquid metal on the portion of the cast product located between approximately 3 to 4 m below the free surface (7) of the metal in the ingot mould and approximately 2 to 3 m from the bottom (6) of the solidification pool, a plurality of sliding magnetic fields are activated, these fields being produced by electromagnetic inductors (11, 11', 12, 12') which are disposed in stepped fashion spaced apart at a distance of about 1-2 m on said portion, in that the inductor closest to the ingot mould is located approximately 5 to 7 m below the free surface (7) of the liquid metal, and the inductor closest to the bottom (6) of the solidification pool is located approximately 4 to 6 m from said bottom, and in that the inductors are regulated in such a way that the magnetic field created by any inductor slides in an opposite direction to that one

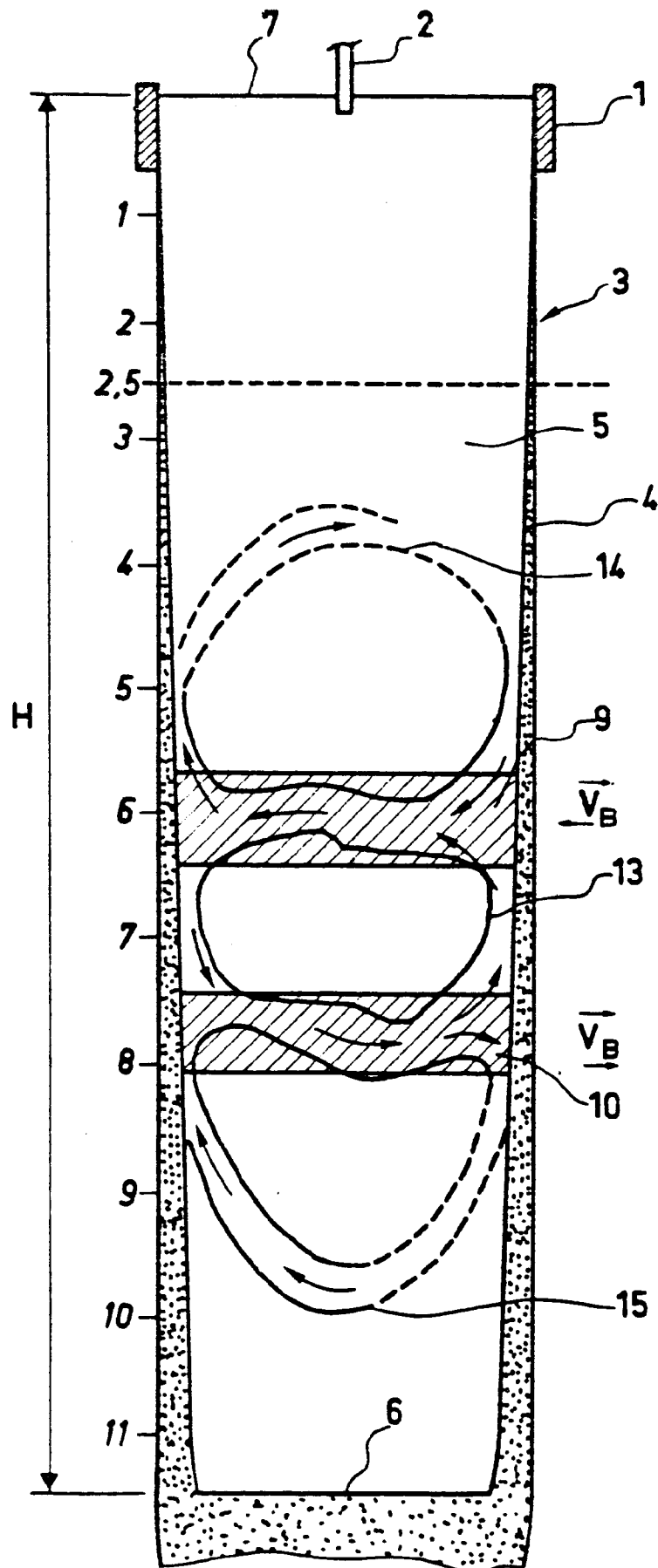


fig-1 -

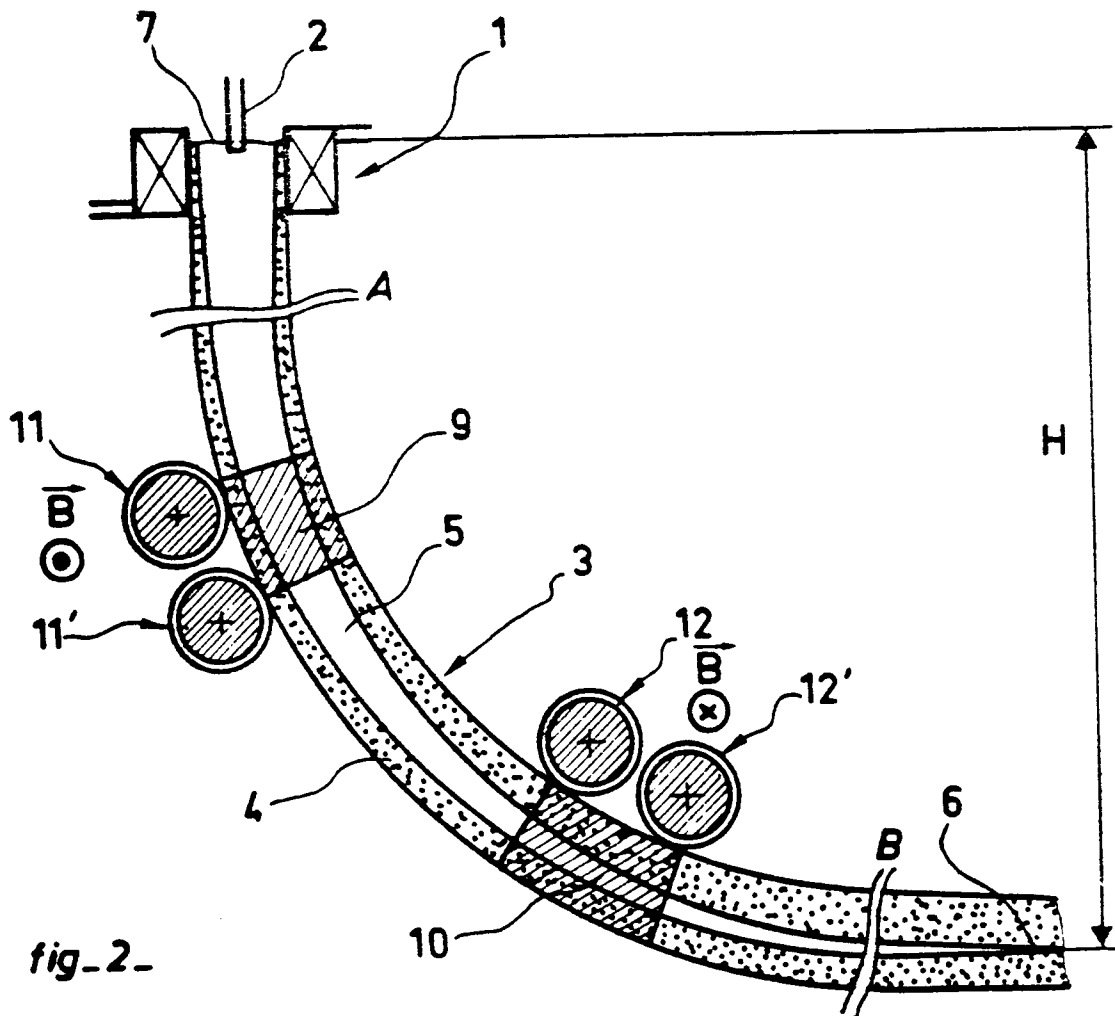


fig-2-

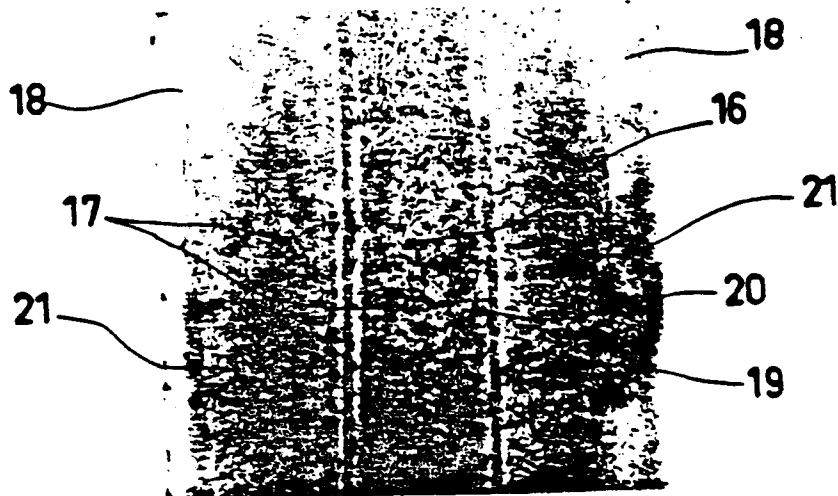


fig-3-