

(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(21) Numéro de dépôt: 79400695.7

(51) Int. Cl.³: **B 22 D 11/12**
B 22 D 27/02

(22) Date de dépôt: 01.10.79

(30) Priorité: 05.10.78 FR 7828726

(43) Date de publication de la demande:
16.04.80 Bulletin 80·8

(84) Etats Contractants Désignés:
AT BE DE GB IT

(71) Demandeur: INSTITUT DE RECHERCHES DE LA
SIDERURGIE FRANCAISE (IRSID)
185, rue Président Roosevelt
F-78105 Saint Germain-en-Laye(FR)

(72) Inventeur: Albernny, Robert
87bis, rue Georges Ducrocq
F-57000 Metz(FR)

(72) Inventeur: Ruer, Jacques
87bis, rue Georges Ducrocq
F-57000 Metz(FR)

(72) Inventeur: Birat, Jean-Pierre
10, rue des Pavillons
F-57210 Semecourt(FR)

(72) Inventeur: Ventavoli, Roger
17, rue du Général de Gaulle
F-57440 Algrange(FR)

(74) Mandataire: Giovannetti, Gilberte et al,
185, rue Président Roosevelt
F-78105 Saint-Germain-en-Laye(FR)

(54) Procédé de coulée continue des métaux avec brassage dans la zone du refroidissement secondaire.

(57) L'invention concerne les opérations de coulée continue des métaux en fusion, notamment de l'acier, pour l'obtention de produits de formes allongées, tels que des brames, dans lesquelles on soumet le métal liquide, en cours de solidification dans la zone du refroidissement secondaire, à une action de brassage.

L'invention se caractérise en ce que ce brassage est effectué en entraînant le métal liquide suivant une direction ayant au moins une composante verticale, de sorte que les mouvements de convection forcée qui s'établissent dans la masse liquide favorisent les échanges de matières entre la région du fond 4 du puits de solidification 2 et des régions plus élevées. De préférence, l'entraînement du métal se fait parallèlement à une grande face et selon une direction oblique orientée de bas en haut.

L'entraînement du métal est obtenu par l'action d'un champ magnétique glissant, V_B produit par un inducteur statique polyphasé disposé de préférence en regard de l'une au moins des grandes faces du produit coulé.

L'invention permet d'améliorer la qualité métallurgique des produits coulés en augmentant la proportion de structure de solidification de type équiaxe.

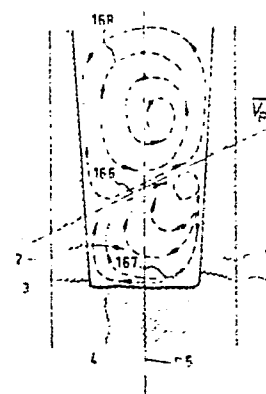


FIG. 15.

EP 0 010 041 A1

PROCEDE DE COULEE CONTINUE DES METAUX AVEC BRASSAGE
DANS LA ZONE DU REFROIDISSEMENT SECONDAIRE

La présente invention a trait à la coulée continue des métaux en fusion, notamment de l'acier. Elle se rapporte plus précisément aux opérations de brassage du métal liquide, en cours de solidification dans l'étage du refroidissement secondaire de la machine de coulée, afin d'améliorer la qualité métallurgique du produit obtenu. L'invention concerne en particulier la coulée de produits de section allongée, par exemple les brames.

On sait que la coulée continue des métaux consiste essentiellement à verser de façon régulière et ininterrompue le métal en fusion dans un récipient sans fond énergiquement refroidi, appelé lingotière, à la base duquel on retire, de façon également continue, une barre à l'aide de moyens de guidage et d'extraction appropriés. La solidification progressive du produit depuis sa périphérie, s'effectue initialement en lingotière et se poursuit en-dessous de celle-ci, généralement sous l'effet de jets d'eau de refroidissement, jusqu'à solidification complète. La zone de refroidissement située en aval de la lingotière est habituellement dénommée : "étage de refroidissement secondaire".

Au cours de la coulée, la partie intérieure liquide du produit se présente donc sensiblement sous la forme d'un cône dont la base correspond à la surface libre du métal en lingotière et dont le sommet se situe à la sortie de l'étage de refroidissement secondaire. On a coutume de désigner ce cône par l'expression "puits liquide" ou "puits de solidification", et la distance séparant la base du sommet par "hauteur métallurgique".

On sait que la coulée continue avec brassage du métal liquide en cours de solidification présente, par rapport à la coulée continue classique, l'avantage d'améliorer la qualité métallurgique des produits obtenus, puisqu'elle influe favorablement sur la propreté inclusionnaire et/ou sur la structure de solidification. A cet égard, il a été constaté que la mise en mouvement du métal liquide favorise la formation et le développement de la zone centrale de solidification de type "équiaxe" au détriment de la zone périphérique de solidification dendritique, dite de type "basaltique". Les résultats métallurgiques obtenus se caractérisent notamment par une réduction de la porosité centrale du produit et une diminution des macroségrégations en éléments d'alliage.

Il est connu de mener les opérations de brassage en entraînant le métal liquide soit en rotation autour de l'axe de coulée, soit en translation, le choix du type d'entraînement dépendant de l'endroit sur la hauteur

métallurgique où l'on souhaite brasser (lingotière ou étage de refroidissement secondaire) ainsi que du format du produit coulé.

Ainsi, le brassage dans l'étage de refroidissement secondaire d'une machine de coulée continue de produits à format allongé, tels que les
5 brames, peut-il s'effectuer en entraînant le métal liquide dans un mouvement de translation horizontal, c'est-à-dire dirigé perpendiculairement à l'axe de coulée et se propageant d'une petite face du produit à l'autre. (Brevet français n° 2.068.803, brevet anglais n° 1.405.312, brevet allemand n° 2.401.145). Ce brassage peut également consister en un entraînement
10 vertical du métal en fusion étendu sur toute la largeur du produit coulé (Brevet allemand n° 2.720.391) ou sur son périmètre (Brevets français n° 2.085.261 et n° 2.104.863).

Face à une telle situation, le demandeur s'est posé la question de savoir si l'amélioration de qualité métallurgique, consécutive à une propor-
15 tion accrue de structure de solidification équiaxe, était due au brassage en tant que tel, auquel cas on peut estimer que ce moyen est utilisé au mieux de ses capacités, ou si cette amélioration dépendait quantitativement du type d'entraînement du métal, c'est-à-dire des caractéristiques directionnelles des mouvements de convection forcée que l'on crée au sein de la
20 masse en fusion, ou de son extension à la plus grande partie du produit.

L'étude et l'expérience ont permis au demandeur de répondre à ces questions et ainsi de réaliser la présente invention dont le but, par rapport aux procédés connus, est d'améliorer encore la qualité métallurgique des produits obtenus grâce à une action plus efficace du brassage sur
25 leur structure de solidification.

A cet effet, l'invention a pour objet un procédé de coulée continue des métaux en fusion, notamment de l'acier, pour l'obtention de produits de section allongée, tels que des brames, procédé selon lequel au sommet le métal en fusion en cours de solidification dans l'étage du refroidissement
30 secondaire de la machine de coulée, a une action de brassage s'exerçant au moins au voisinage de l'extrémité inférieure du puits de solidification, on effectue ce brassage en entraînant le métal suivant une direction ayant au moins une composante verticale, procédé caractérisé en ce que l'entraînement du métal en fusion est localisé sur une partie du périmètre du produit
35 coulé.

Comme on le comprend, la présente invention consiste donc, dans ses caractéristiques essentielles, à favoriser les échanges verticaux de matière en fusion, donc de stimuler une remontée du métal liquide depuis le bas
39 du puits de solidification, de façon plus efficace que par les procédés

précédemment évoqués. Ces derniers, en réalisant un entraînement horizontal du métal liquide parallèle aux grandes faces, favorisent certes un échange de matière entre les régions localisées à un même niveau respectivement au voisinage de l'une et de l'autre des petites faces mais ne sont guère
5 appropriés à permettre un échange entre des régions superposées. En effet, comme l'indique le brevet français n° 2.068.803 déjà cité, la carte des vitesses des mouvements dans un plan parallèle aux grandes faces du produit laisse apparaître un couloir horizontal d'entraînement moteur, c'est-à-dire soumis directement à l'action du champ magnétique et qui, de ce fait, peut
10 être qualifié de "zone motrice" ou "zone de circulation" par opposition aux deux régions plus diffuses de recirculation qui s'établissent nécessairement pour assurer le retour du métal, de part et d'autre du couloir central, selon une forme rappelant celle d'ailes de papillon. Une telle configuration, si elle procure un brassage de la masse liquide localisée res-
15 pectivement dans l'une et l'autre des régions précitées, n'est guère appropriée à assurer un brassage de ces deux régions entre elles, donc en particulier la remontée du métal de la région la plus basse à la région supérieure, puisqu'il faudrait pour cela imposer au métal un changement brutal de recirculation à la sortie du couloir central.

20 D'autre part, par rapport aux procédés utilisant un brassage vertical connu, l'invention permet de localiser exactement où on le désire, l'action des champs électromagnétiques et donc d'obtenir le résultat souhaité.

A première vue, il peut paraître surprenant que le simple fait de favoriser la remontée du métal depuis la région du fond du puit de solidi-
25 fication suffise à promouvoir la formation d'une large zone de structure de solidification équiaxe au sein du produit obtenu par coulée continue.

La longue expérience du demandeur ainsi que ses études récentes sur les mécanismes de solidification des produits de coulée continue lui ont permis de dégager les conclusions qui suivent :

30 Une première observation est que plus tôt commence la solidification équiaxe, plus importante est sa proportion dans le produit brut de coulée. Autrement dit, dans le cas de la coulée continue, cette proportion sera d'autant plus substantielle que la naissance "équiaxe" a lieu plus haut sur la hauteur métallurgique.

35 La seconde observation est que l'initiation et le développement d'une structure de solidification de type équiaxe est favorisée, d'une part par une faible surchauffe du bain métallique d'autre part par la présence au sein de la masse en fusion de germes de solidification. Ces germes peuvent
39 être notamment de petits cristaux qui se forment dans le bain ou sur

proviennent plus généralement de têtes de dendrites cassées par les mouvements de convection de l'acier liquide contre le front de solidification. Or il est connu que le fond du puits de solidification est une région particulièrement riche en petits cristaux "équiaxes", soit qu'ils se forment
5 en cet endroit car les conditions y sont plus favorables qu'ailleurs, soit qu'ils y descendent par gravité.

L'idée à la base de la présente invention consiste donc à aller chercher ces petits cristaux accumulés au fond du puits, et disponibles en grande quantité et à les transporter à des niveaux plus élevés de la hauteur
10 métallurgique où l'on souhaite voir s'interrompre une croissance basaltique au profit d'une structure équiaxe.

On comprend donc que l'invention est fondamentalement une opération d'ensemencement des régions du puits liquide les plus défavorisées, par des petits cristaux équiaxes en provenance de régions plus riches situées au
15 fond du puits.

Il est apparu au demandeur que l'un des moyens les mieux adaptés pour effectuer le transport des cristaux était le métal liquide lui-même pour peu qu'on lui confère, comme l'enseigne la présente invention des mouvements de convection appropriés.

20 Il doit donc être bien compris que le métal liquide n'a pas tant ici un rôle par lui-même mais plutôt en tant que véhicule de ramassage et de transport des germes de solidification. Accessoirement, il est vrai, ce mouvement de masse liquide entre le bas du puits de solidification et des régions plus élevées permet de mélanger un métal chaud avec un métal plus
25 froid donc d'homogénéiser la température, ce qui a notamment pour effet de réduire la surchauffe des régions supérieures, donc, de faciliter la croissance des germes de solidification qui y sont apportés.

Différents moyens pour entraîner le métal liquide dans le puits de solidification ont déjà été envisagés, au moins dans la littérature, parmi
30 lesquels les moyens de nature électromagnétique semblent désormais devoir s'imposer dans la pratique.

On rappelle pour mémoire que le brassage électromagnétique dont il est question ici consiste à soumettre le produit coulé à l'action d'un champ magnétique mobile, qui donne naissance dans le métal liquide à des mouve-
35 ments de convection dirigés et orientés dans le sens de propagation du champ.

Il apparaît ainsi que, si le brassage du métal est un moyen efficace de contrôle de la structure de solidification du produit coulé, le champ
39 magnétique mobile constitue pour sa part un outil privilégié de mise en

oeuvre puisqu'il permet le contrôle du brassage lui-même, en conférant à l'utilisateur la commande de l'entraînement du métal, donc la maîtrise des mouvements de convection qu'il souhaite y développer.

Dans le domaine de la coulée continue de produits à section droite de forme allongée, tels que des brames d'acier, des techniques assez récentes pour entraîner le métal liquide dans un mouvement de translation horizontal parallèle au plan des grandes faces consistent à soumettre le produit à l'action d'un champ magnétique glissant dont les caractéristiques directionnelles sont en tout point identiques à celles de l'entraînement direct du métal liquide que l'on veut provoquer. Un tel champ est généralement créé par un inducteur statique polyphasé, de conception similaire à celle d'un stator de moteur linéaire à induction et disposé soit derrière les rouleaux servant au guidage et à l'extraction de la brame, soit dans l'espace disponible entre deux rouleaux consécutifs (Brevet français n° 2.185.468) soit en substitution d'un ou plusieurs rouleaux (Brevet français n° 2.068.803 déjà cité) soit encore à l'intérieur même d'un ou plusieurs rouleaux, rendus tubulaires à cette fin (Brevet anglais n° 1.405.312 déjà cité).

Ce sont des dispositifs de ce type, dont on trouvera une description détaillée de leur structure dans les documents précités, qui peuvent être utilisés avec profit pour la mise en oeuvre de la présente invention.

Toutefois, leur application doit bien entendu être adaptée en fonction de l'entraînement du métal liquide que l'on cherche à réaliser, conformément aux caractéristiques de la présente invention.

Cette dernière sera bien comprise et d'autres aspects et avantages ressortiront plus clairement au vu de la description qui suit donnée en référence aux planches de dessins annexées sur lesquelles :

- les figures 1, 9, 12, 15 et 16 montrent, en coupe longitudinale parallèle aux grandes faces, respectivement quatre variantes possibles du mode de brassage conforme à l'invention, dans la région du fond du puits de solidification d'une brame coulée en continu,

- les figures 2 et 4 représentent le mode de brassage de la figure 1 vu en coupe axiale parallèle aux petites faces de la brame et montrent chacune respectivement une variante de réalisation d'un inducteur approprié

- la figure 3 montre l'inducteur de la figure 2 vu de face,

- les figures 5, 6 et 7 montrent l'inducteur de la figure 4 vu de face et illustrent chacune respectivement une variante d'utilisation de l'inducteur appropriée à procurer le mode de brassage des figures 1 et 4,

- la figure 8 est une représentation commode des trois phases K, S, T d'une alimentation électrique triphasée alternative, ainsi que de leurs

inverses respectifs \bar{R} , \bar{S} , \bar{T} ,

- les figures 10 et 11 montrent chacune, vue de face, une variante de réalisation d'un inducteur pour obtenir le mode de brassage illustré sur la figure 9,

5 - les figures 13 et 14 montrent, chacune, vu de face, une variante de réalisation d'un inducteur pour obtenir le mode de brassage illustré sur la figure 12,

- les figures 17 et 18 montrent, chacune, vu de face, une variante de réalisation d'un inducteur pour obtenir le mode de brassage illustré sur la
10 figure 16,

- la figure 19 montre une réalisation de l'inducteur équivalente à celle de la figure 18.

Toutes les figures sont des schémas dépouillés au maximum de manière à faire mieux ressortir l'essentiel utile à la bonne compréhension des moyens
15 de l'invention.

Sur toutes les figures montrant la brame en cours de solidification, on a désigné par 1 le métal coulé déjà solidifié, 2 le puits liquide en cours de solidification, 3 le front de solidification sans distinguer celui relatif aux grandes faces de la brame de celui relatif aux petites faces, 4
20 le fond du puits de solidification en 5 l'axe de coulée qui se confond d'ailleurs avec l'axe de la brame.

Sur les figures illustrant un mode de brassage, les boucles de circulation du métal liquide sont représentées par des lignes fléchées en trait discontinu de faible épaisseur. On a distingué dans ces boucles, la zone
25 motrice, référencée X6 de la ou des zones de recirculation, référencées X7, X8 selon leur nombre, où X désigne le numéro de la figure qui les représente.

Lorsque plusieurs figures représentent les mêmes boucles, X désigne le numéro de la figure qui les montre pour la première fois.

30 Le même principe de notation a été adopté pour les autres éléments représentés.

A l'exclusion de la figure 8, toutes les figures indiquent le sens du déplacement du champ magnétique glissant par des droites fléchées en traits continus de faible épaisseur, désignés par la notation \vec{V}_B (vecteur Vitesse
35 du champ d'induction magnétique B).

Il doit être compris que le puits de métal liquide se trouve représenté sur les figures à titre d'illustration sans qu'il puisse être présumé quantitativement des rapports réels existants entre la hauteur métallurgique et les dimensions transversales du produit coulé.
39

Il est à noter que, dans le cas des formats à section allongée tels que les brames, le fond du puits de solidification se présente sous la forme d'une vallée étroite et profonde orientée parallèlement au plan des grandes faces et dont les versants sont constitués par les fronts de solidification relatifs à ces grandes faces. La fermeture du puits, c'est-à-dire la fin de la solidification intervient alors par rapprochement progressif des deux versants, sans contribution sensible des fronts de solidification des petites faces, contrairement aux formats moins dissymétriques, tels que les ronds ou les carrés, dans lesquels la solidification complète résulte d'une progression équivalente et simultanée de toute la périphérie.

Conformément à l'invention, la remontée du métal liquide depuis le fond du puits de solidification peut être obtenue par une mise en circulation du métal pouvant présenter plusieurs configurations différentes :

L'une d'entre elles est illustrée sur la figure 1, vue de face, et sur les figures 2 ou 4, vue de profil, c'est-à-dire parallèlement au plan des petites faces de la brame. Comme on le voit, ce mode de brassage se caractérise essentiellement par des mouvements à dominante verticale, se produisant sur toute la largeur du puits de solidification 2. Les mouvements créent une circulation remontante 16 le long d'un front de solidification d'une grande face suivie d'une circulation descendante 17 symétrique sur le versant opposé. L'ensemble se présente sous la forme d'une nappe refermée sur elle-même, occupant toute la largeur du puits liquide 2, et tournant autour de son axe, perpendiculaire à l'axe de coulée 5, chaque boucle de courant définissant un mouvement plan parallèle aux petites faces de la brame.

Il est à noter que la zone motrice, telle qu'elle a été définie précédemment, peut être indifféremment la partie remontante ou descendante de la nappe.

Un tel mouvement est obtenu, selon un autre aspect de l'invention, au moyen d'un champ magnétique glissant dont la direction de propagation \vec{V}_B est verticale et qui agit sur toute la largeur du puits de solidification 2.

La direction moyenne des lignes de champ est de préférence perpendiculaire au plan des grandes faces de la brame.

Un tel champ magnétique peut être créé par des inducteurs statiques polyphasés de type connu dont deux exemples sont donnés ici en référence aux figures suivantes : un inducteur monobloc 21 placé derrière les rouleaux de soutien 22 (figure 2 et 3), ou un ensemble inductif 41 constitué par l'association fonctionnelle de plusieurs inducteurs unitaires identiques 42 structurellement indépendants les uns des autres, et placés chacun à l'intérieur

rieur des rouleaux de soutien tubulaires 43 (figure 4, 5, 6 et 7). On rappelle que l'inducteur monobloc 21 des figures 2 ou 3 présente une structure similaire à celle d'un stator de moteur linéaire à induction. Il est constitué par une culasse plane 23 en tôles feuilletées présentant, sur sa face tournée vers le produit coulé, des encoches parallèles entre elles et perpendiculaires au plan des tôles. Ces encoches sont occupées par des conducteurs électriques 24, généralement des barres de cuivre. L'inducteur est disposé, conformément à l'invention, en regard de l'une des grandes faces de la brame et de manière que les barres conductrices 24 soient perpendiculaires à l'axe de coulée 5. Comme le montre la figure 3, ces barres sont reliées entre elles par paires en série de sorte que le courant électrique y circule dans des sens opposés. Chaque barre est distante de sa partenaire d'un nombre d'encoches égal au nombre de phases de l'alimentation électrique de manière à constituer globalement un enroulement de type imbriqué bien connu.

Ces barres sont reliées, de façon également connue, par l'intermédiaire d'une boîte de connexion 20, à une alimentation électrique polyphasée, par exemple triphasée, représentée symboliquement en 25 sur les figures, par les trois phases R, S, T et le neutre N, de manière à générer un champ magnétique glissant verticalement le long de l'axe 5.

L'une des caractéristiques de cet inducteur est, comme le montre clairement la figure 3, que la longueur des barres 24 est au moins égale à la largeur du puits de solidification 2, afin que le champ magnétique produit agisse bien sur toute la largeur. Il est à noter que, pour ne pas surcharger la figure, les rouleaux de soutien n'ont pas été représentés. L'action électromagnétique en un point s'affaiblissant avec la distance de ce point à l'inducteur, la "zone motrice" au sein du métal liquide, telle qu'elle a été définie dans les lignes précédentes, est bien entendu celle la plus voisine de l'inducteur.

De ce fait, le mode de brassage de la figure 2 est obtenu par une propagation \vec{V}_B du champ orientée de bas en haut. Ce sens de propagation est réalisé grâce au mode de connexion de l'inducteur 21 à l'alimentation électrique 25 tel qu'il est schématiquement montré sur la figure 3. De plus, on a porté sur chaque barre 24 la lettre R, S ou T représentative de la phase à laquelle elle est reliée, et éventuellement surmontée d'un trait \bar{R} , \bar{S} et \bar{T} indiquant le sens relatif du courant électrique qui la traverse. Ainsi les barres marquées R et \bar{R} constituent une paire montée en série, reliée à la phase R de l'alimentation et sont respectivement parcourues par le même courant circulant en sens opposés, par exemple de gauche à droite

" pour la barre R et de droite à gauche pour la barre \bar{R} .

Il est à noter que le mode de circulation du métal liquide illustré sur la figure 2 est réversible, ce qui peut être obtenu soit en disposant l'inducteur 21 en regard de l'autre grande face de la brame tout en conservant le même sens de propagation du champ, soit plus simplement en inversant le sens de glissement du champ magnétique sans modifier l'emplacement de l'inducteur, par inversion de deux phases de l'alimentation électrique. A cet égard, la figure 8, traduisant schématiquement sur un cercle les trois phases R, S, T de l'alimentation électrique décalées les unes des autres de 120° , ainsi que leurs "inverses". \bar{R} , \bar{S} , \bar{T} , par des vecteurs tournants, constitue un moyen commode pour retrouver rapidement, à partir d'un mode de connexion donné de l'inducteur, le sens de glissement du champ magnétique qu'il crée. Il suffit pour cela de se souvenir que le champ progresse comme le maximum de tension de chaque phase, à savoir dans le sens $R \rightarrow S \rightarrow T \rightarrow R \dots$ c'est-à-dire, comme le montre la flèche de la figure, dans le sens contraire du sens trigonométrique.

Il est à noter également que le mode de brassage du métal de la figure 2 peut être encore obtenu en plaçant l'inducteur 21 en regard de l'autre face de la brame et en y inversant le sens de glissement du champ. Dans ce cas, on le comprend bien, c'est la partie descendante 17 de la nappe qui est motrice.

Il est possible également que les zones 16 et 17 soient toutes les deux motrices, l'une remontante, l'autre descendante. Il suffit pour cela de compléter le système par un second inducteur disposé symétriquement au premier, en regard de l'autre grande face de la brame et créant un champ magnétique glissant dans un sens opposé.

Il peut encore être envisagé que le sens de glissement du champ soit le même sur les deux inducteurs, auquel cas il se crée une zone de recirculation dans le centre du puits liquide qui sépare les deux zones motrices d'entraînement direct de même sens, localisées le long de chacun des fronts de solidification des grandes faces.

En se reportant à présent à la figure 4, on voit que le dispositif à induction 41 est cette fois constitué par l'association de plusieurs unités inductrices élémentaires identiques 42, par exemple au nombre de six et placées chacune à l'intérieur d'un rouleau de soutien 43 tubulaire.

La technologie de chaque unité inductrice est connue et décrite en détail dans le brevet anglais n° 1.405.312 déjà cité. On rappelle qu'elle est constituée de bobines 44 disposées côte à côte, les unes à la suite des autres, autour d'un axe commun horizontal, de manière à couvrir la totalité

de la largeur de la crame.

Dans la pratique habituelle, le montage des bobines ainsi que leur connexion à une alimentation électrique polyphasée sont réalisés de manière à créer un champ magnétique glissant horizontalement selon les génératrices du rouleau en se propageant d'une bobine à la suivante. Ici, il s'agit de créer un champ magnétique glissant, non plus horizontalement, mais verticalement d'une unité inductrice à la suivante, et dont l'action se manifeste uniformément sur toute la largeur du puits liquide 2.

A cet égard, les figures 5, 6, et 7 montrent respectivement trois variantes possibles de mise en oeuvre. Afin d'exposer clairement les moyens de l'invention tout en évitant de surcharger les figures, six bobines seulement ont été représentées par unité inductrice.

Comme précédemment (figures 2 et 3) on affecte à chaque bobine une lettre indiquant à la fois la phase à laquelle elle est connectée ainsi que le sens relatif de circulation du courant électrique.

Une première variante, illustrée sur la figure 5, consiste :

- à connecter chaque unité inductrice 42 à une phase unique de l'alimentation électrique 25,

- à réaliser le montage des bobines 44 de manière que le courant électrique circule dans des sens opposés dans deux bobines immédiatement voisines appartenant à une même unité inductrice ainsi que dans deux bobines de même rang, appartenant chacune respectivement à des unités inductrices 42 distinctes et immédiatement voisines.

Il est à noter que les bobines appartenant à une même unité inductrice peuvent être montées en parallèle ou en série.

Par ailleurs, l'inversion du sens du courant électrique entre deux bobines peut être réalisée, comme on le voit, par inversion, soit du sens d'enroulement des bobinages, soit du sens de connexion.

Ainsi, si on respecte le montage des bobines et le mode de connexion de l'inducteur tels que le montre la figure 5, on crée un champ magnétique glissant verticalement de bas en haut, parallèlement à l'axe de coulée 5, et qui se propage d'une bobine donnée sur une unité inductrice à son homologue de même rang sur l'unité inductrice suivante, et ainsi de suite.

On conçoit ainsi un système analogue à une pluralité d'inducteurs à champ glissant, constitués chacun par une succession verticale de bobines, et disposés côte à côte parallèlement à l'axe de coulée 5 et couvrant la totalité de la largeur du puits de solidification 2.

La seconde variante est illustrée sur la figure 6.

Le troisième montage du l'inducteur 42 à l'alimentation triphasée 25

ne change pas : comme précédemment, chaque unité inductrice 42 est connectée à une seule phase de l'alimentation.

Le montage des bobines appartenant à une même unité inductrice ne change pas non plus : il est tel que le courant électrique circule dans des sens opposés dans deux bobines immédiatement voisines. Seul change le montage relatif des bobines de même rang sur des unités inductrices distinctes de sorte qu'à présent le courant électrique y circule dans le même sens.

Il en résulte la disparition d'un champ magnétique glissant verticalement. Toutefois, si l'on observe plus attentivement la figure 6, on constate qu'il se crée cette fois deux champs magnétiques glissant obliquement selon des directions symétriques, par rapport à l'axe de coulée 5, l'un se propageant de la bobine de rang i (compte par exemple de gauche à droite) sur une unité inductrice à la bobine de rang $i + 1$ sur l'unité suivante, l'autre de la bobine i à la bobine $i - 1$. On comprend sans difficulté que ce système est équivalent au premier, car le métal liquide est soumis à un effet électromagnétique global identique à l'effet que produirait sur lui un champ glissant unique se propageant selon la résultante de ces deux champs, laquelle, pour des raisons de symétrie, est bien orientée verticalement.

La troisième variante est illustrée sur la figure 7.

Là encore le mode de connexion de l'inducteur 41 à l'alimentation électrique 25 n'a pas varié. N'est pas modifié non plus, par rapport à la variante de la figure 5, le montage relatif des bobines 44 de même rang sur des unités inductrices 42 distinctes : il est tel que le courant y circule dans des sens opposés. Par contre, le montage des bobines 44 appartenant à une même unité inductrice a cette fois été modifié de manière que le courant circule dans le même sens dans deux bobines immédiatement voisines. Ce qui revient à dire que chaque unité inductrice 42 se comporte globalement comme un simple solénoïde.

On voit clairement sur la figure 7 que l'effet d'un tel système correspond à la superposition des effets obtenus par les deux systèmes précédents, représentés respectivement sur les figures 5 et 6, en créant un champ magnétique glissant verticalement et deux champs magnétiques glissant obliquement, selon des directions symétriques par rapport à la verticale, tous trois étant orientés dans le même sens.

Il est rappelé que les unités inductrices 42 reliées à une même phase de l'alimentation électrique 25 peuvent indifféremment être montées en série, comme le montrent les figures, ou en parallèle.

Conformément à l'invention, une autre configuration possible des

mouvements de convection du métal, appropriés à favoriser les échanges de matières entre le fond du puits 2 et les régions plus élevées, consiste à créer une zone motrice verticale sur une grande face du produit qui soit non plus uniformément étendue sur la largeur du puits mais limitée à une
5 portion déterminée.

De nombreuses réalisations du mode de brassage sont possibles :

L'une d'entre elles est illustrée sur la figure 9. La carte des vitesses montre une zone motrice verticale 96 localisée au milieu d'une grande face, suivie de deux zones de recirculation 97 et 98 le long du front de
10 solidification de chacune des petites faces, ces deux zones étant disposées symétriquement de part et d'autre de la zone centrale d'entraînement direct. Il se crée ainsi, contrairement aux modes de brassage précédemment décrits, des mouvements circulatoires se bouclant dans des plans parallèles aux grandes faces.

15 L'organisation de mouvements plans étant, d'autant plus aisée que la surface disponible est plus importante, on comprend que, compte tenu du format du produit coulé, ce mode de brassage, dont les boucles de circulation occupent la demi-largeur du puits, est plus avantageux que les modes de brassage précédents dont les boucles se referment selon l'épaisseur du
20 puits liquide.

La zone motrice verticale 96, remontante dans le cas de la figure, peut être obtenue au moyen d'un champ magnétique glissant verticalement mais dont l'action demeure cette fois localisée dans la région centrale du puits.

25 Les figures 10 et 11 suivantes montrent deux exemples de réalisation des moyens pour produire un tel champ.

Le premier exemple (figure 10) consiste à utiliser un inducteur monobloc 101, dont la structure, la disposition sur la machine de coulée, ainsi que la mise en oeuvre sont identiques à celles de l'inducteur de la figure
30 3, mais dont les dimensions transversales sont réduites de manière à limiter son action à la région centrale du puits liquide 2.

Le second exemple, illustré sur la figure 11, reprend le principe de l'inducteur 41 constitué de plusieurs unités inductrices élémentaires 42 disposées à l'intérieur des rouleaux de soutien 43. On réalise alors un
35 système analogue à ceux décrits précédemment mais qui s'en distingue, comme on le voit, par le fait que seules sont activées, sur chaque unité inductrice 42, les bobines 44 localisées en regard de la région centrale du puits liquide 2. Il doit être noté que le montage des bobines peut être indiffé-
39 remment repris de l'une quelconque des trois variantes précédemment décrites

et illustrées respectivement sur les figures 5, 6 et 7.

Une autre variante de réalisation de mouvements plans parallèles au plan des grandes faces consiste à créer cette fois deux zones motrices verticales localisées chacune en regard des fronts de solidification des petites faces du produit. Lorsque ces deux zones motrices sont orientées en sens inverses, il s'établit un régime circulatoire simple et relativement bien organisé autour d'un axe perpendiculaire aux grandes faces et passant par l'axe médian 5 (figure 1). Cependant, comme le montre la figure 12, les mouvements se compliquent si l'on rapproche les zones motrices 126 et 126' de l'axe 5, car il se crée alors des zones de recirculation 127 et 127' confinées dans les régions étroites situées entre une zone motrice et le front de solidification de la petite face la plus voisine.

Bien entendu, le sens de l'entraînement est réversible. En pratique, il est même conseillé de l'inverser périodiquement afin d'égaliser les possibilités d'ensemencement entre les fronts des petites faces.

Un tel mode d'entraînement peut être obtenu, comme le montrent les deux figures suivantes (13 et 14), au moyen de champs magnétiques glissant verticalement, produits par des inducteurs disposés en regard d'au moins une grande face de la brame et placés latéralement de part et d'autre de l'axe de coulée. Ces inducteurs peuvent être du type "monobloc" (figure 11 réf. 131 et 131') donc disposés derrière les rouleaux de soutien, et de conception tout à fait analogue à l'inducteur représenté sur la figure 10 mais connectés, comme le montre la figure 13, à l'alimentation 25 de manière à créer deux champs magnétiques glissant verticalement orientés dans des sens opposés.

Ces inducteurs peuvent également être constitués par les unités motrices 42 précédemment décrites, auquel cas, comme le montre la figure 14, ne seront activées que quelques bobines 44 par unité 42, disposées respectivement en dehors et de part et d'autre de la région centrale du puits liquide 2.

En revenant à la figure 12, il peut également être envisagé d'orienter les zones motrices 126 et 126' dans le même sens, par exemple du bas vers le haut. Il se crée alors une zone de recirculation centrale commune aux deux zones d'entraînement direct latérales. Cette zone centrale peut elle-même être motrice, en interposant, si les conditions d'encombrement le permettent, un inducteur supplémentaire entre les inducteurs latéraux. Pour éviter tout risque de perturbation dans le fonctionnement de ces derniers inducteurs, dû à leur faible écartement, il est préférable la place de ces deux inducteurs latéraux en regard de l'axe 5.

et l'inducteur 151' en regard de l'autre grande face.

Ce mode d'entraînement peut encore être obtenu, comme le montre la figure 5, au moyen d'inducteurs électromagnétiques 151 et 151' disposés en regard des petites faces de la brame et créant chacun un champ magnétique glissant verticalement, mais dont l'action maximale est cette fois nécessairement localisée contre les fronts de solidification des petites faces. C'est là un inconvénient de cette solution par rapport à celle consistant à placer l'inducteur en regard des grandes faces. Un autre inconvénient est lié à la faible épaisseur du puits liquide, de sorte que l'action électromagnétique s'exerce sur un volume de métal liquide sensiblement plus réduit. Par contre cette solution présente des avantages appréciables dont les principaux peuvent être résumés comme suit :

- l'environnement immédiat des petites faces étant généralement exempt de tout organe ou pièce constitutifs de la machine de coulée, l'inducteur peut être mis en place sans modification ou adaptation particulière de cette dernière,

- l'absence de rouleaux en cet endroit permet de rapprocher l'inducteur contre la paroi de la brame, ce qui accroît d'autant son action de brassage sur le métal.

Il doit être noté que l'inconvénient lié au faible volume de métal disponible peut être compensé en renforçant l'action de brassage au moyen d'inducteurs supplémentaires disposés en regard des grandes faces, à proximité de leurs extrémités latérales conformément à la représentation de la figure 13 ou de la figure 14. Mais ce faisant, on perd en contrepartie, l'un ou l'autre des avantages précités, selon que l'on adopte l'inducteur monobloc (figure 13) ou le système à rouleaux-brasseurs de la figure 14.

Conformément à l'invention, une autre configuration des mouvements de circulation du métal liquide, aptes à assurer le transport des cristaux entre le fond du puits liquide et les régions plus élevées, consiste à créer comme le montre la figure 16, une zone motrice 166 parallèle aux grandes faces du produit, dirigée obliquement et orientée du bas vers le haut. Il se forme ainsi de part et d'autre de la zone motrice 166, une zone de recirculation inférieure 167 et une zone de recirculation supérieure 168. De cette façon, les cristaux en provenance de la région inférieure 167 pénètrent par l'extrémité basse de la zone d'entraînement direct 166 et en ressortent par l'extrémité haute, en empruntant le chemin le plus facile, c'est-à-dire en s'engageant dans la région supérieure 168. Ainsi les cristaux parcourent un trajet en forme de S en passant de la demi-boucle inférieure à la demi-boucle supérieure opposée sans avoir à opérer un

changement brutal de direction.

Cette solution est inspirée par les considérations précédemment exposées relatives à l'importance de la surface offerte pour assurer la recirculation du métal.

5 Il est clair que plus la zone motrice 166 se rapproche de l'horizontale, plus la surface disponible à la recirculation du métal est grande puisqu'elle peut s'étendre verticalement sans être limitée par les fronts de solidification.

A cet égard, l'orientation souhaitable pour la zone motrice serait horizontale, comme cela se pratique habituellement. Cependant, cette inclinaison
10 croissante défavorise corrélativement les possibilités d'échanges de matières entre le fond du puits et les niveaux plus élevés et va donc à l'encontre du résultat recherché. Il existe ainsi un compromis entre la facilité avec laquelle s'organisent les mouvements du métal liquide et la facilité
15 avec laquelle ces mouvements assurent la remontée des matières. Les travaux du demandeur ont révélé que ce compromis se caractérise par un entraînement du métal parallèlement aux grandes faces et dont la direction de propagation présente un angle non nul avec l'horizontale, et de préférence compris entre 30 et 60° environ. Par ailleurs, il est clair que pour l'efficacité
20 des échanges, le sens d'entraînement du métal ne peut plus être réversible, comme dans les modes de brassage précédents, mais nécessairement orienté de bas en haut. Par contre, le système demeure symétrique par rapport à l'axe de coulée 5 en ce qui concerne la direction de l'entraînement.

Cet entraînement oblique du métal peut être obtenu par au moins deux
25 manières distinctes d'opérer :

1°) au moyen d'un champ magnétique glissant lui-même obliquement dans la direction souhaitée,

2°) au moyen de deux champs mobiles distincts se propageant dans deux directions différentes mais déterminées de manière que leur résultante soit
30 oblique car, comme dit plus haut, le métal liquide est soumis à leurs effets conjugués et se comporte comme s'il était soumis à un champ unique glissant selon leur résultante.

La première variante est réalisée, conformément à la figure 17 au moyen d'un inducteur monobloc 171, similaire en tout point à l'inducteur
35 représenté sur la figure 10, sauf en ce qui concerne son orientation inclinée par rapport à l'axe de coulée 5. L'avantage de cette variante réside essentiellement dans le fait que l'inducteur étant indépendant des organes constitutifs de la machine de coulée, on peut lui donner l'inclinaison la
39 meilleure.

La seconde variante est réalisée comme le montre la figure 18, au moyen d'unités inductrices 42 logées dans les rouleaux de soutien 43. Cette fois, chaque unité 42 présente une autonomie fonctionnelle et crée un champ magnétique glissant horizontalement (\vec{V}_B^H), le long des génératrices des rouleaux. Pour ce faire, chaque unité 42 n'est plus, comme dans les cas précédents, connectée à une phase unique de l'alimentation électrique 25, mais aux trois phases simultanément et le câblage interne des bobines 44, ainsi que les sens d'enroulements, sont réalisés selon le schéma de la pratique habituelle.

Le système selon l'invention se caractérise cependant par le fait que les unités inductrices présentent entre elles un décalage de phase, de façon qu'une succession de bobines de même rang, prises à la suite l'une de l'autre sur des unités différentes, constitue, comme dans le cas des figures 5 et 6, un inducteur à champ magnétique glissant verticalement de bas en haut (\vec{V}_B^V). L'effet combiné du champ à déplacement horizontal \vec{V}_B^H , avec le champ à déplacement vertical remontant \vec{V}_B^V s'identifie avec l'effet d'un champ unique se propageant obliquement selon leur résultante (\vec{V}_B^O).

Bien entendu, comme le montre la figure 19 suivante, le sens d'orientation du champ à déplacement horizontal est réversible. Cette réversibilité, opérée périodiquement en cours de coulée, est d'ailleurs conseillée car elle permet de remédier à la dissymétrie du mode de brassage en égalisant les apports de matières en provenance du fond du puits sur les fronts de solidification des petites faces de la brame.

C'est là un avantage appréciable de cette variante par rapport à celle représentée sur la figure 17 laquelle, pour obtenir le même résultat, nécessite le déplacement de l'inducteur lui-même parallèlement à la grande face de la brame.

La présente invention ne saurait bien entendu se limiter aux exemples décrits.

Ainsi, ce qui a été dit à propos des inducteurs placés dans les rouleaux de maintien est également applicable au cas où l'on dispose les inducteurs entre les rouleaux ou à la place de certains rouleaux.

Par ailleurs, la position réelle de l'inducteur sur la hauteur métallurgique n'est pas limitée à celle visible sur les figures. L'utilisateur pourra agir sur cette position pour que les mouvements provoqués parviennent bien jusqu'au voisinage immédiat du fond du puits de solidification.

La mise en mouvement du métal liquide au fond du puits dépend non seulement de la position en hauteur de l'inducteur mais également de sa puissance, autrement dit de l'intensité de son action électromagnétique sur

le métal.

Il va de soi que plus cette action est faible, plus l'inducteur doit être placé bas sur la machine de coulée. Corrélativement, les régions supérieures, alimentées en métal liquide chargé en cristaux équiaxes en provenance de fond, se situeront à des niveaux plus bas et, avec elles, la proportion de structure de solidification équiaxe.

Si l'on souhaite une proportion "équiaxe" accrue, il faut pouvoir ensemen- cer en cristaux des régions de niveaux plus élevés, donc remonter l'inducteur vers le haut de la machine de coulée et, par conséquent, augmenter sa puissance de brassage.

REVENDICATIONS

1) Procédé de coulée continue des métaux en fusion, notamment de l'acier, pour l'obtention de produits de section allongée tels que des brames, procédé selon lequel on soumet le métal en fusion en cours de solidification dans l'étage du refroidissement secondaire de la machine de coulée à une action de brassage s'exerçant au moins au voisinage de l'extrémité inférieure du puits de solidification, on effectue ce brassage en entraînant le métal suivant une direction ayant au moins une composante verticale, procédé caractérisé en ce que l'entraînement du métal en fusion est localisé sur une partie du périmètre du produit coulé.

2) Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'entraînement s'effectue verticalement, contre les fronts de solidification des petites faces du produit coulé.

3) Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'entraînement s'effectue verticalement et en ce qu'il est localisé sur une grande face du produit coulé, dans la zone médiane.

4) Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'entraînement s'effectue verticalement et en ce qu'il est localisé sur une grande face du produit coulé de part et d'autre de la zone médiane.

5) Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'entraînement s'effectue obliquement de bas en haut, parallèlement au plan des grandes faces du produit coulé et en ce que sa direction fait avec l'axe de coulée, un angle compris entre 30 et 60° environ.

6) Procédé selon la revendication 5, caractérisé en ce que l'entraînement du métal en fusion est obtenu au moyen d'au moins deux champs magnétiques glissants se propageant selon des directions différentes mais dont la résultante fait avec l'axe de coulée un angle compris entre 30 et 60° environ.

7) Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que l'entraînement du métal en fusion est réalisé au moyen d'un champ magnétique glissant dont l'action sur le métal en fusion est localisée sur une partie du périmètre du produit coulé.

8) Procédé selon la revendication 7, caractérisé en ce que le champ magnétique glissant est produit par un inducteur polyphasé statique de type monobloc.

9) Procédé selon les revendications 6 et 7, caractérisé en ce que le (ou les) champ magnétique glissant est produit par un inducteur polyphasé statique composé d'une succession verticale d'unités inductrices séparées les unes des autres et constituées chacune par une juxtaposition horizontale de bobines coaxiales s'étendant sur toute la largeur d'une grande face du produit coulé.

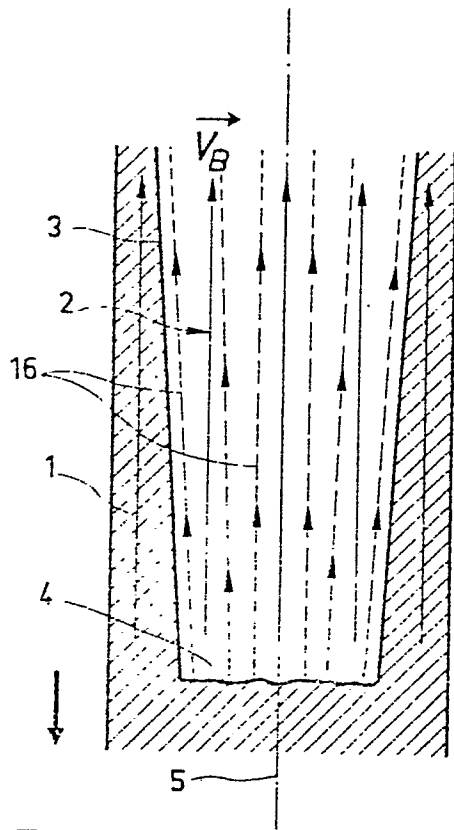


FIG. 1_

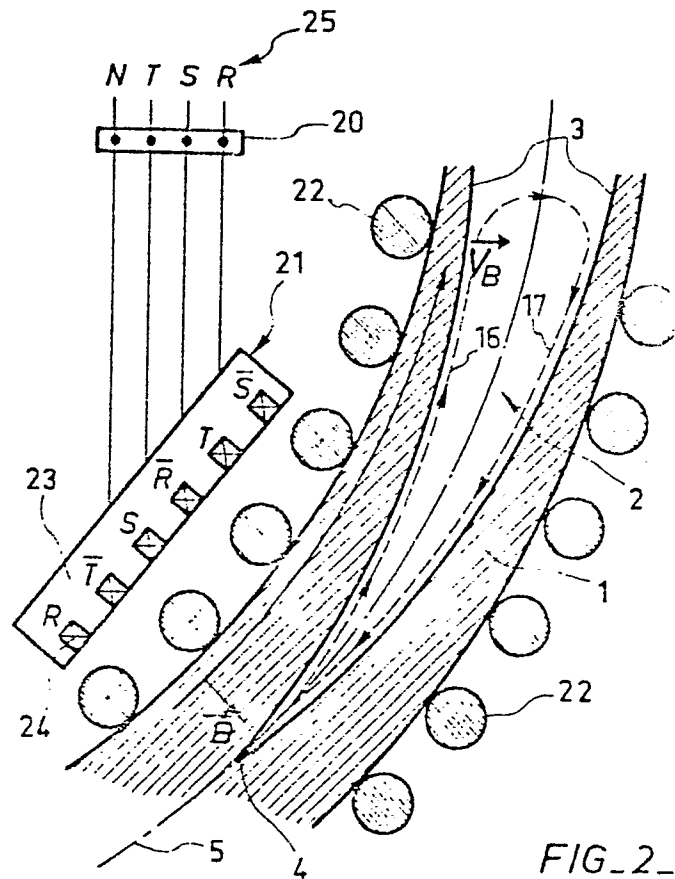


FIG. 2_

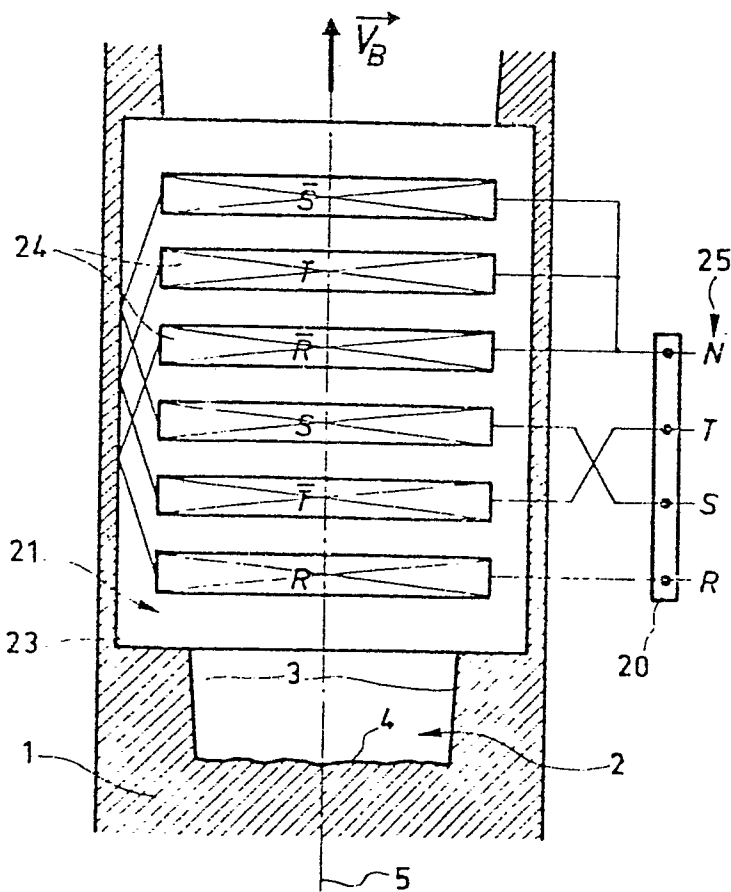


FIG. 3_

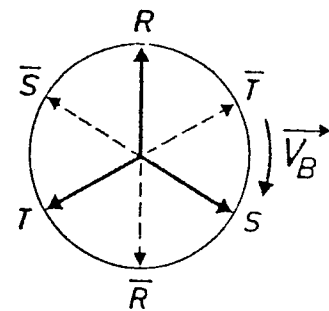
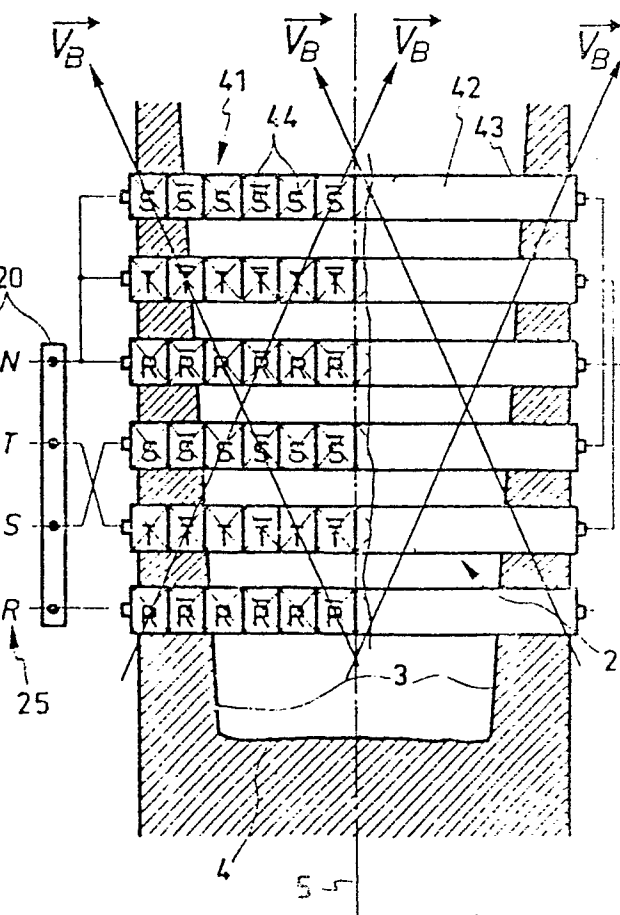
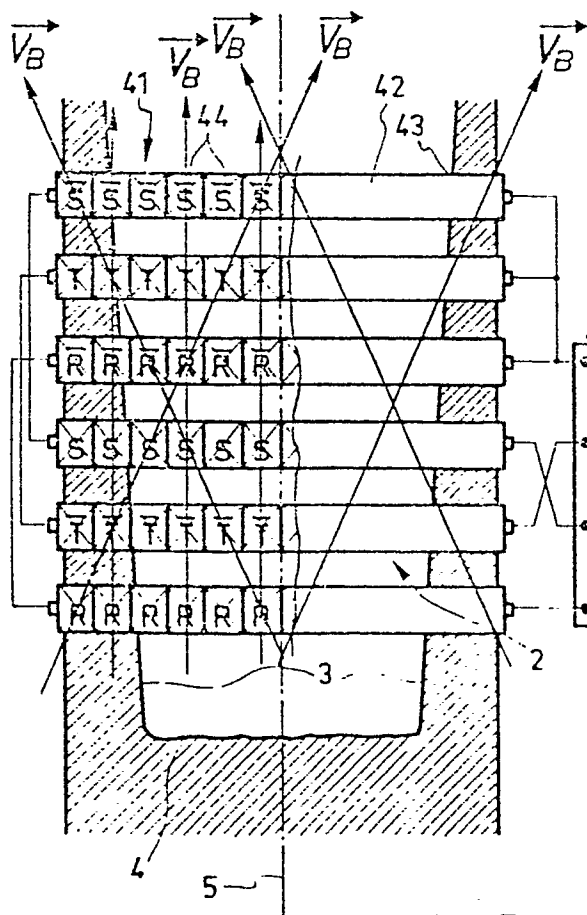
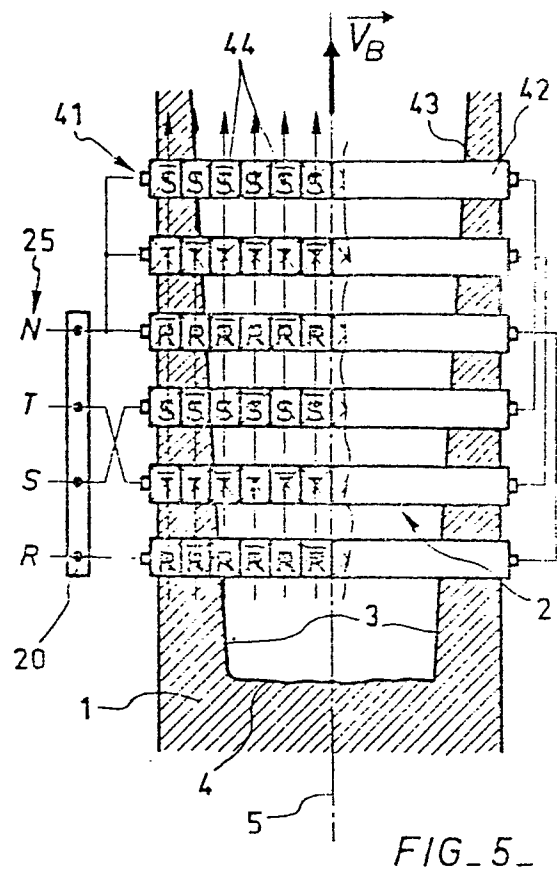
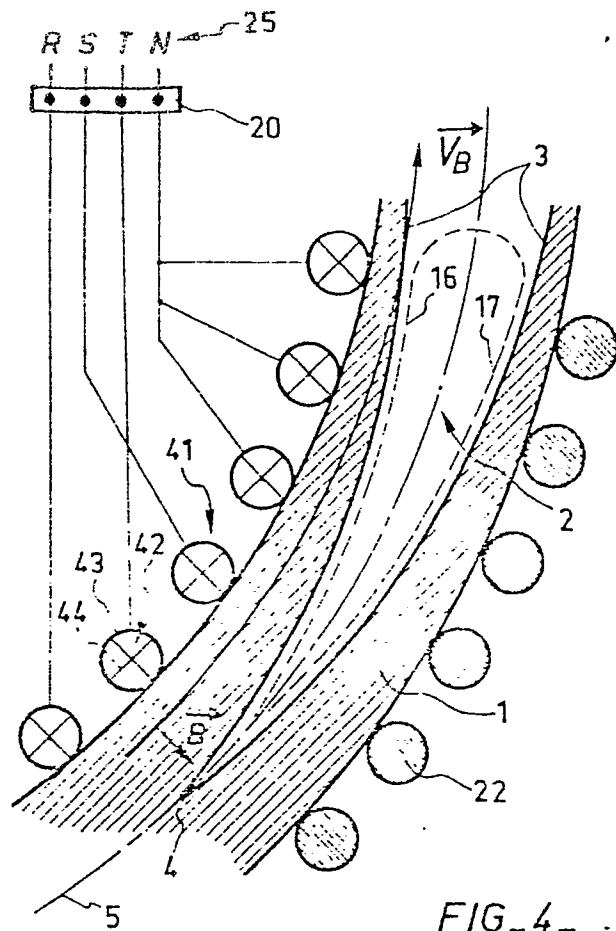


FIG. 8_



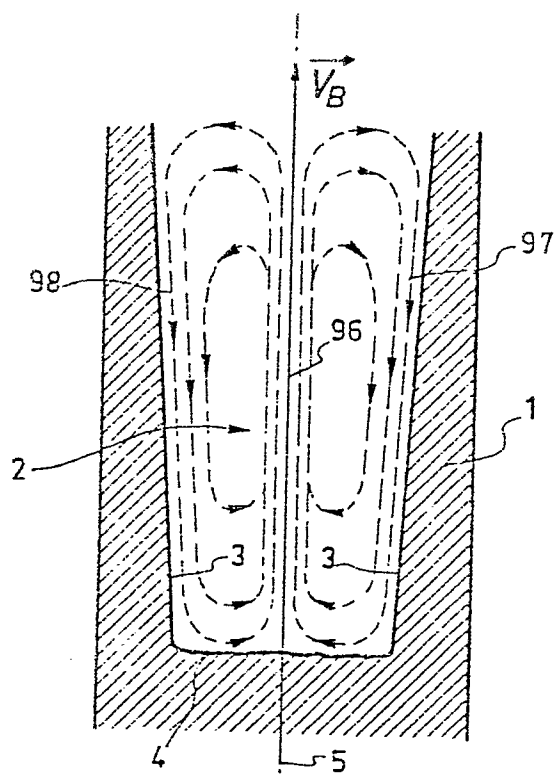


FIG. 9_

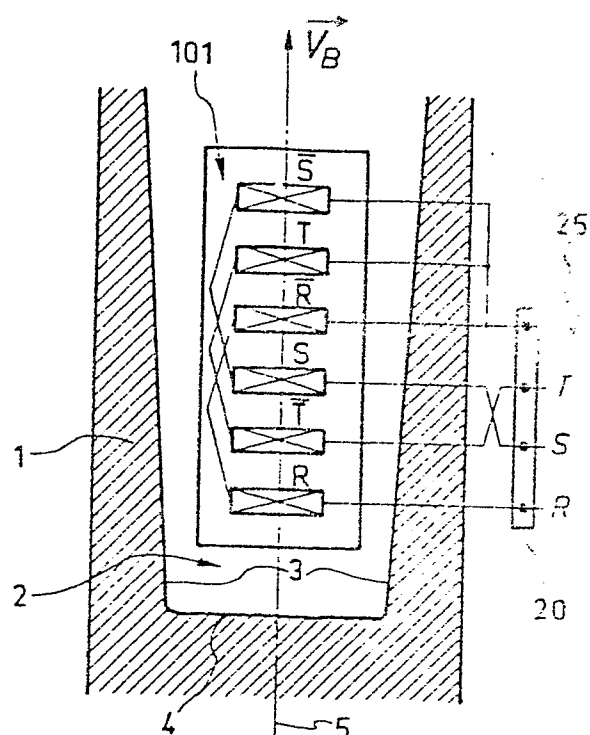


FIG. 10_

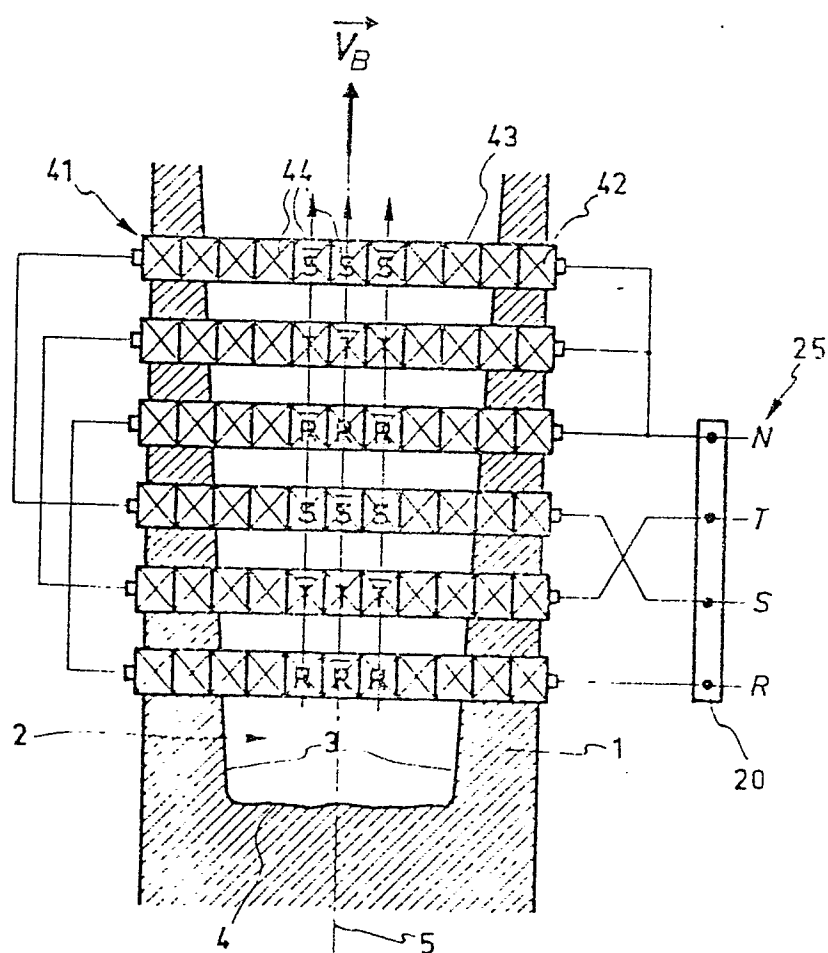


FIG. 11_

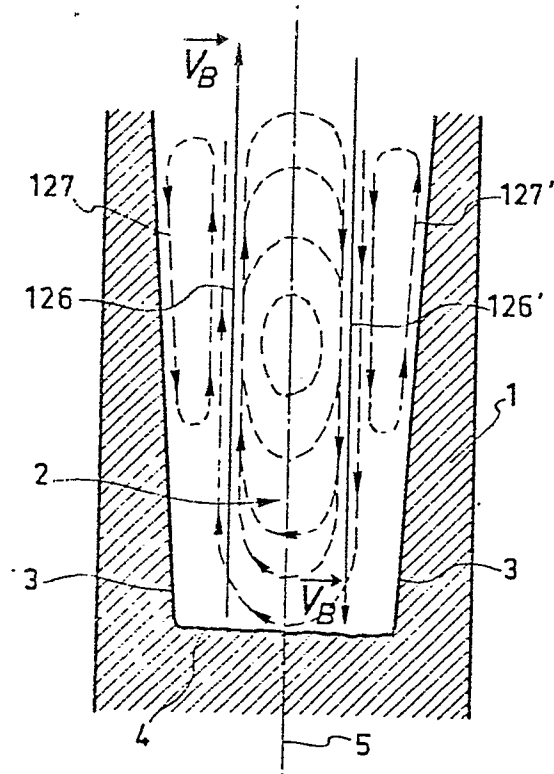


FIG. 12_

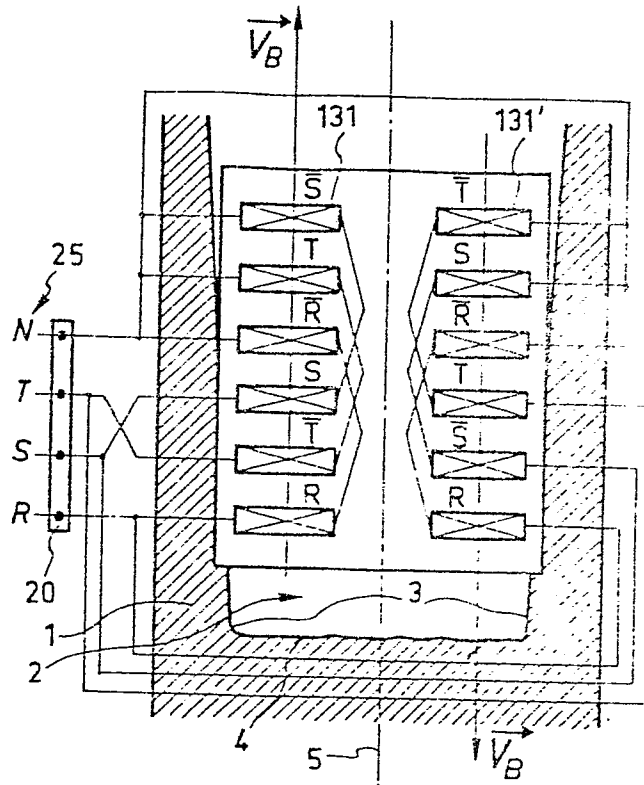


FIG. 13_

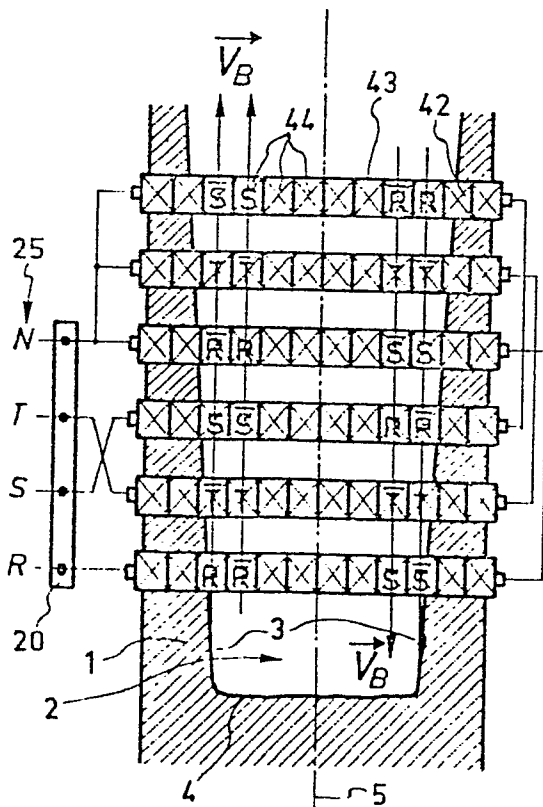


FIG. 14_

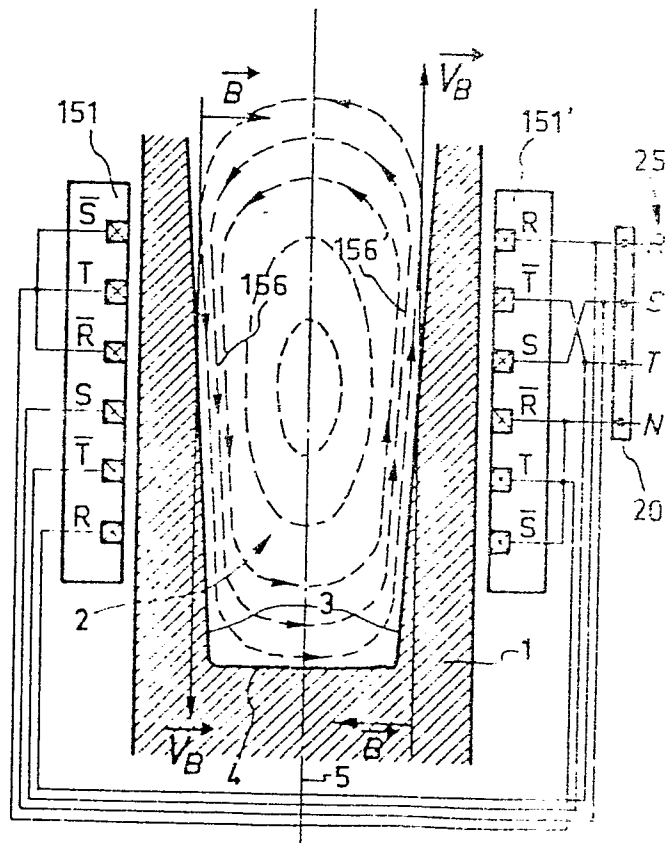
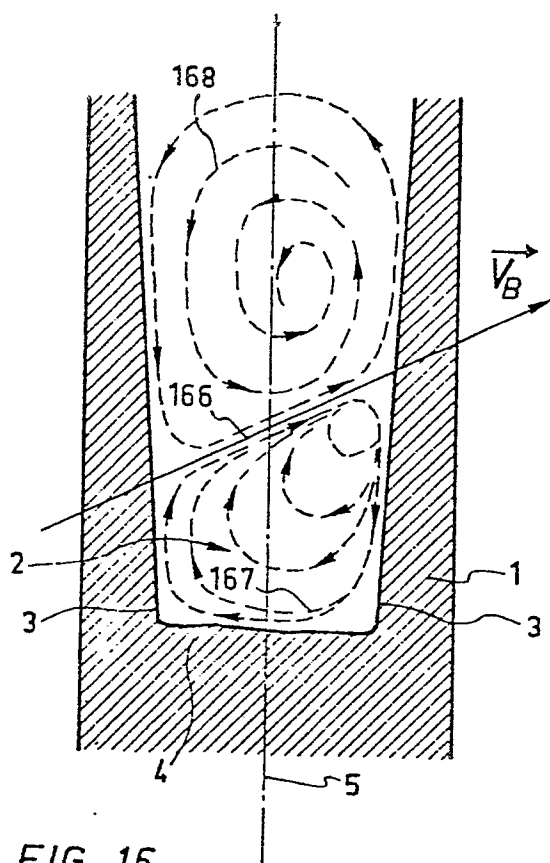


FIG. 15_



FIG_16_

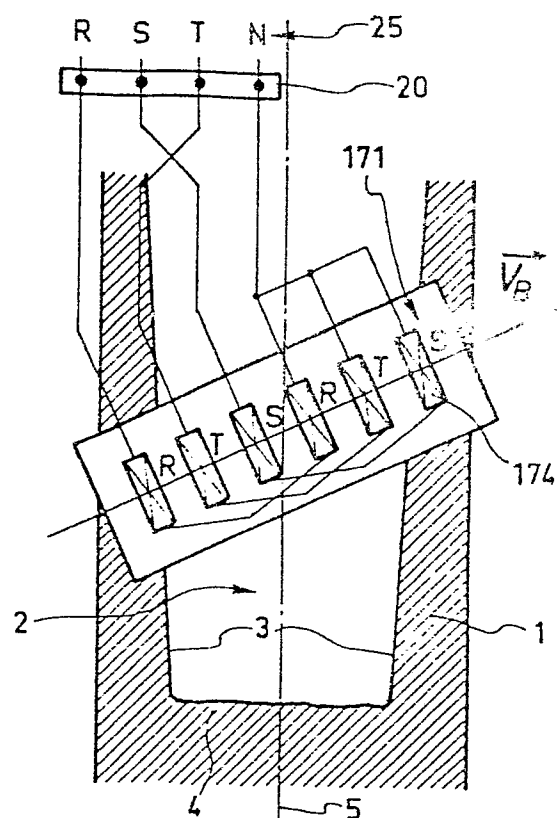


FIG. 17_

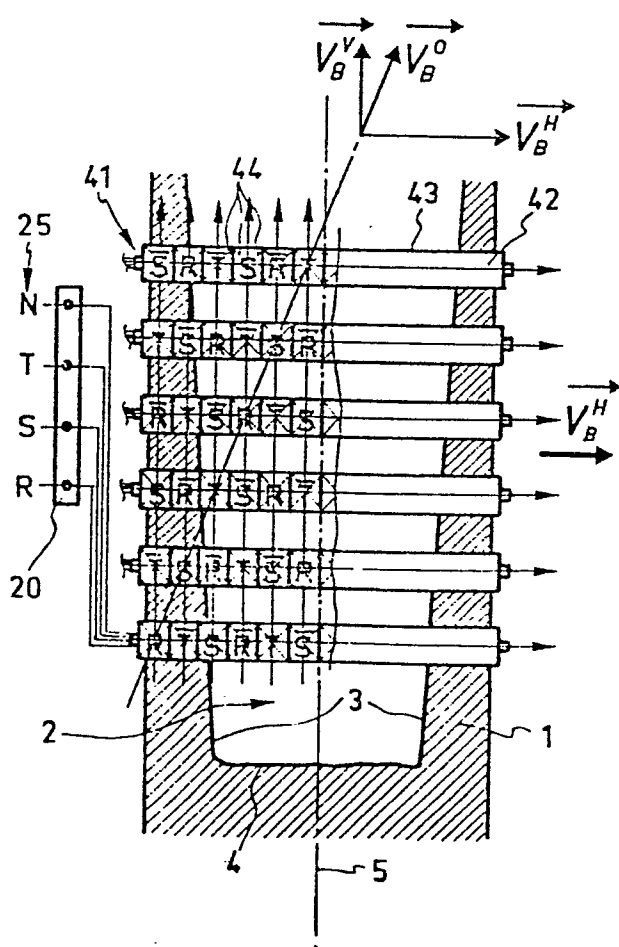
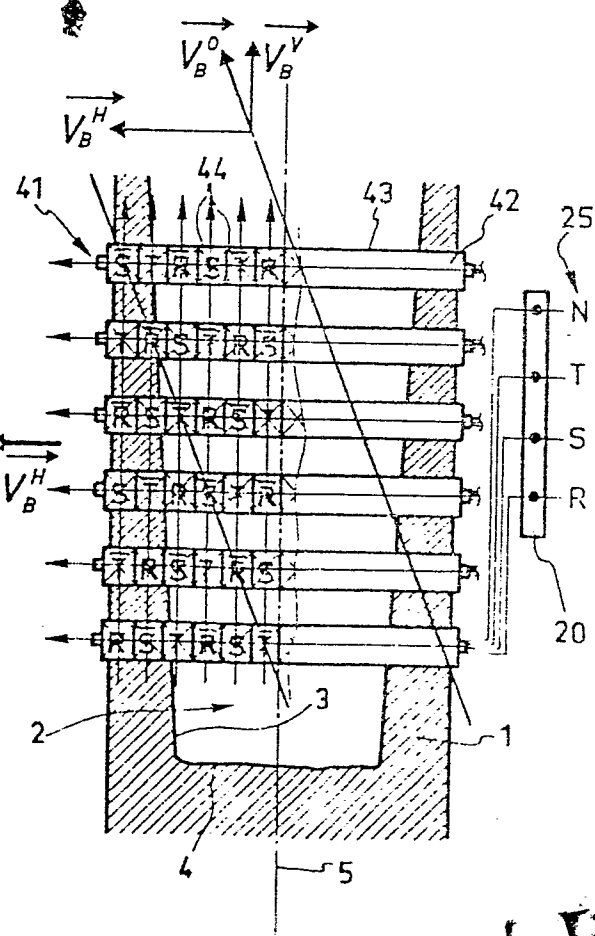


FIG. 18.



FIG_19_

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int. Cl. ³)
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	
X	DE - A - 2 720 391 (ASEA AB) * Page 3, ligne 4; page 8, lignes 1-6, 13-14, 24-26; page 9, lignes 1-3 *	1,5,6, 8	B 22 D 11/12 B 22 D 27/02
	--		
DX	GB - A - 1 405 312 (IRSID) * Page 7, lignes 51-105; figure 12 *	1-4,8, 9	
	--		
	FR - A - 2 085 261 (SOCIETE CIVILE D'ETUDES DE CENTRIFUGATION) * Page 2, ligne 10 - page 3, ligne 9; page 11, lignes 8-18 *	1	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl. ³) B 22 D 11/12 B 22 D 27/02
	--		
	FR - A - 2 104 863 (REPUBLIS STEEL) * Page 3, lignes 1-33; revendications 1,2,8,15; figure 2 *	1	

			CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES
			X: particulièrement pertinent A: arriere-plan technologique O: divulgation non-écrite P: document intercalaire T: théorie ou principe à la base de l'invention E: demande faisant interference D: document cite dans la demande L: document cite pour d autres raisons
			& membre de la même famille, document correspondant
<input checked="" type="checkbox"/> Le présent rapport de recherche a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche La Haye		Date d'achèvement de la recherche 14-01-1980	Examineur SCHIMBERG