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

(11) Numéro de publication: **0 083 898**
A2

(12) DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(21) Numéro de dépôt: **82420179.2**

(22) Date de dépôt: **16.12.82**

(51) Int. Cl.³: **B 22 D 11/10**
B 22 D 27/02

(30) Priorité: **13.01.82 FR 8200763**

(43) Date de publication de la demande:
20.07.83 Bulletin 83/29

(84) Etats contractants designés:
AT BE CH DE GB IT LI LU NL SE

(71) Demandeur: **VALLOUREC Société Anonyme dite.**
7, place du Chancelier Adenauer
F-75116 Paris(FR)

(72) Inventeur: **Ernst, Roland**
5, rue Pasteur
F-38160 Gieres(FR)

(72) Inventeur: **Garnier, Marcel**
76 av. Rhin & Danube
F-38100 Grenoble(FR)

(72) Inventeur: **Giroutru, Michel**
30 Allée des Acacias
F-38120 Saint-Egreve(FR)

(72) Inventeur: **Gueussier, André**
142 rue de Courcelles
F-75017 Paris(FR)

(72) Inventeur: **Moreau, René**
Le Cèdre Faubourg Samorens
F-Voiron(FR)

(72) Inventeur: **Peytavin, Pierre**
41 Bd. de la Saussaye
F-92200 Neuilly-sur-Seine(FR)

(74) Mandataire: **de Passemar, Bernard**
VALLOUREC 98, Bd. Victor Hugo
F-92115 Clichy(FR)

(54) Procédé de fabrication de corps creux par coulée continue à l'aide d'un champ magnétique et dispositif de mise en oeuvre du procédé.

(57) Le procédé et le dispositif suivant l'invention concernent la coulée continue de corps creux en métaux tels que l'aluminium, le cuivre, les aciers de tous types, ou autres métaux ou alliages.

Le procédé consiste à introduire le métal liquide dans un espace annulaire compris entre un moule extérieur et un mandrin intérieur, le métal liquide étant soumis au voisinage du mandrin à l'action d'un champ magnétique mobile qui l'entraîne vers le haut. Ce champ est, de préférence, créé par un rotor magnétique logé dans le mandrin.

Dans un mode de réalisation préférentiel, ce rotor comporte une matière magnétique aimantée maintenue en place par une frette.

Le procédé s'applique, en particulier, à la réalisation d'ébauches destinées à la fabrication de tubes sans soudure.

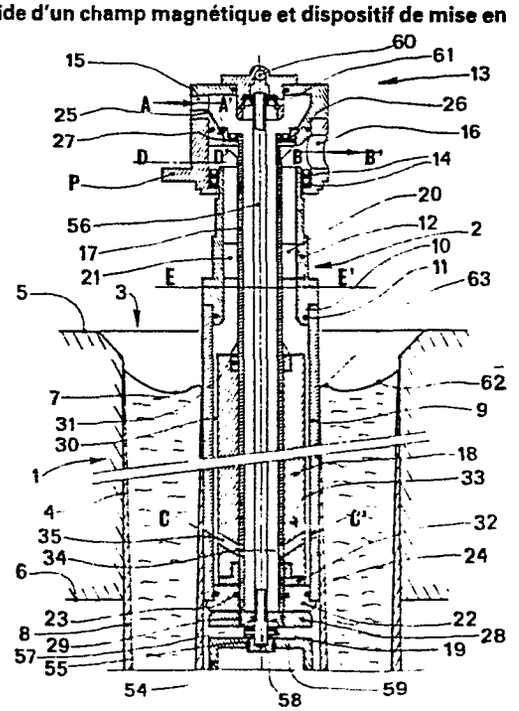


FIG.1

EP 0 083 898 A2

PROCEDE DE FABRICATION DE CORPS CREUX PAR COULEE CONTINUE A L'AIDE D'UN CHAMP MAGNETIQUE ET DISPOSITIF DE MISE EN OEUVRE DU PROCEDE

La présente invention a pour objet un procédé de fabrication de corps creux par coulée continue avec utilisation d'un champ magnétique qui agit sur le métal liquide dans une zone annulaire voisine d'un mandrin intérieur, ainsi que le dispositif de mise en oeuvre dudit procédé.

Le procédé suivant l'invention peut s'appliquer à tous les métaux susceptibles d'être coulés en continu par les méthodes classiques de coulée de corps pleins et parmi lesquels on peut citer l'aluminium, le cuivre et les aciers.

Bien qu'il puisse être appliqué, d'une façon tout à fait générale, à la fabrication de corps creux présentant des sections de formes très diverses, le procédé suivant l'invention sera appliqué avec un intérêt particulièrement grand à la fabrication de corps creux de section circulaire et, en particulier, en opérant par coulée continue rotative, les corps creux obtenus pouvant, par exemple, servir d'ébauches présentant de bonnes qualités de peaux intérieure et extérieure pour la fabrication de tubes sans soudure.

La fabrication de corps creux de section circulaire, c'est-à-dire, présentant un creux intérieur généralement concentrique à la section extérieure, a fait l'objet de nombreuses et diverses descriptions techniques.

D'une façon générale, on utilise dans ces procédés connus un mandrin cylindrique ou cylindro-conique métallique, par exemple en cuivre, refroidi intérieurement à l'eau et disposé co-axialement à l'intérieur de la lingotière ou moule extérieur de coulée. On s'arrange également pour refroidir la paroi intérieure du produit creux obtenu, généralement à l'eau, après formation d'une couche superficielle solidifiée. Au fur et à mesure de la coulée, le métal initialement liquide se solidifie au contact du mandrin, le front de solidification progressant ensuite radialement par rapport audit mandrin.

Cette solidification commençant dès la surface libre du bain métallique, il en résulte un emprisonnement dans la couche superficielle solidifiée, qui constitue la peau intérieure du corps creux obtenu, de toutes les crasses constituées de laitiers, inclusions ou autres particules non métalliques, présentes à la surface du bain et, d'une façon générale, une peau intérieure présentant des défauts, types incrustations, laitiers, repliures, qui devront être éliminés au moyen de traitements de surface difficiles et coûteux avant utilisation ultérieure du corps creux obtenu.

La peau intérieure de ces produits présente donc les mêmes types de défauts qu'on observe sur la peau extérieure des corps pleins dans les coulées classiques. Ces défauts sont encore aggravés par l'exiguïté de l'espace disponible qui empêche l'introduction de tout dispositif mécanique permettant de les éliminer au moins partiellement.

Certains procédés ont été développés pour essayer de résoudre ces difficultés. Tel est le cas de celui décrit dans le brevet suisse n°618.363 du 6/01/1977, qui utilise l'effet électromagnétique d'un inducteur monospire extérieur et d'un inducteur monospire intérieur pour réaliser la coulée continue de corps creux sans utilisation de lingotière extérieure ou de mandrin.

Les inducteurs utilisés dans ce procédé sont alimentés par un courant alternatif monophasé et créent donc un champ magnétique sinusoïdal stationnaire, généralement qualifié de champ pulsant.

Ce champ pulsant favorise principalement la création de forces de pression, au sein du métal liquide, qui l'écartent des parois fixes dans lesquelles sont contenus les inducteurs, sans engendrer au sein de la masse de métal liquide des mouvements circulatoires importants.

Ainsi, selon cette technique, on maintient en équilibre une couronne de métal liquide par un champ magnétique, la surface libre de ce métal ayant une forme convexe, comme le montre la figure 1 du brevet cité.
Etant donné le faible rayon d'action du champ magnétique, cela impose que la colonne de métal liquide soit de hauteur réduite.

Une telle technique est probablement utilisable pour l'aluminium, qui présente un puits de solidification peu profond et un front de solidification relativement plat.

Par contre, dans le cas de l'acier, métal de forte densité (du moins par rapport à l'aluminium), et beaucoup moins conducteur de la chaleur que l'aluminium, le puits de solidification, distance mesurée dans la barre en cours de solidification depuis la surface libre du bain métallique jusqu'à la zone de fin de solidification, est très profond et bien supérieur à celui de l'aluminium. Il en résulterait la nécessité de vitesses de coulée extrêmement lentes pour obtenir une peau solidifiée suffisamment résistante pour contenir le métal encore liquide, compte tenu des forces de pression développées par le champ magnétique pulsant,procédé, à supposer qu'il soit réalisable, dans le cas de l'acier, totalement inutilisable économiquement.

Une autre solution pour améliorer la qualité de la peau intérieure de corps creux coulés, décrite dans le brevet français n°2.180.494, consiste à faire appel à un procédé de coulée continue rotative, dans lequel on utilise un mandrin central en introduisant de façon continue un laitier entre la surface annulaire du métal en cours de solidification et la paroi extérieure du mandrin.

Ce procédé a l'inconvénient de perturber les échanges thermiques et de retarder la progression du front de solidification à partir du mandrin. De plus, il est nécessaire d'effectuer un traitement de la surface intérieure du produit obtenu avant usage pour éliminer, entre autres, la couche de laitier déposée sur la peau intérieure.

On notera, par ailleurs, la difficulté générale du problème à résoudre, étant donné l'environnement hostile : exiguïté de l'espace disponible tant en hauteur qu'en diamètre, au niveau du moule, danger d'explosion par utilisation d'eau en cas de contact avec le métal liquide, particulièrement dans le cas de l'acier.

On a donc recherché un procédé de fabrication de corps creux par coulée continue, qui ne présente pas les inconvénients ci-dessus décrits et permette, en particulier, d'obtenir des corps creux dont

la peau intérieure soit d'une qualité satisfaisante.

On a recherché, en particulier, la possibilité d'obtenir une qualité de peau intérieure telle qu'elle permette la mise en oeuvre de corps creux sans préparation de surface particulière ou en réduisant cette préparation de surface au minimum.

On a recherché également un dispositif de mise en oeuvre d'un tel procédé simple et économique, et applicable à la coulée de nombreux métaux ou alliages.

L'objet de l'invention est un procédé de fabrication de corps creux métalliques par coulée continue verticale, dans lequel on introduit de façon continue un métal liquide dans un espace annulaire compris entre un moule métallique extérieur refroidi par circulation de fluide et un mandrin intérieur refroidi également par circulation de fluide, ce métal se solidifiant progressivement au contact des parois du moule et du mandrin avec formation d'un corps creux qui est extrait au-dessous du moule et dans lequel, dans une zone annulaire voisine de la surface extérieure du mandrin, on soumet le métal liquide à l'action d'un champ magnétique mobile ou champ glissant qui crée à l'intérieur de ce métal des forces, présentant une composante verticale dirigée de bas en haut, qui entraînent ce métal vers la surface libre du bain métallique.

Ainsi, selon le procédé suivant l'invention, le métal liquide situé au voisinage du mandrin intérieur est entraîné de bas en haut, dans une direction opposée à la direction d'extraction du produit creux formé. Ce déplacement vers le haut du métal liquide dans cette zone annulaire, accélère la remontée vers la surface libre du bain métallique, des inclusions ou crasses présentes dans le métal liquide au voisinage de la surface extérieure du mandrin.

Le mouvement circulatoire du métal liquide, qui se produit au voisinage du mandrin de bas en haut, est ensuite dévié dans une direction radiale en approchant de la surface libre du bain métallique.
A la surface du bain métallique, dans la zone proche du mandrin, le déplacement radial du métal liquide écarte les inclusions ou

particules de laitier flottantes. Ainsi, ces inclusions ou particules diverses ne risquent plus de se trouver emprisonnées dans la zone de peau intérieure du corps creux obtenu.

De plus, le déplacement du métal liquide de bas en haut, au voisinage immédiat de la surface extérieure du mandrin intérieur, provoque la formation à la surface du bain métallique, d'une zone annulaire en relief. Ainsi, à l'effet du déplacement radial du métal liquide vers la périphérie s'ajoute l'effet de barrière de ce relief qui empêche les inclusions ou particules de laitier flottantes, de venir à proximité de la paroi du mandrin dans la zone de formation de la peau intérieure du corps creux.

Il en résulte une qualité de peau nettement supérieure à celle que l'on obtient sans utilisation d'un champ magnétique ayant les effets cités.

Le métal liquide est, en général, introduit de façon continue et contrôlée par un jet provenant, par exemple, d'une busette de coulée qui permet de régler le débit et l'impact du jet, tant en angle qu'en position.

La surface libre du bain métallique peut être, soit en contact avec l'atmosphère, soit protégée par tout moyen en soit connu tel que, par exemple, un gaz neutre protecteur introduit à l'état liquide ou gazeux, ou encore un laitier.

Le champ magnétique mobile, qui joue un rôle essentiel, peut être créé par tout moyen adéquat consistant en des systèmes inducteurs, fixes ou mobiles par rapport au métal liquide, alimentés en courant alternatif polyphasé, ou en des systèmes inducteurs mobiles constitués par des enroulements alimentés en courant continu ou par une matière magnétique aimantée.

Un mode de réalisation particulièrement simple et efficace du champ magnétique mobile consiste à utiliser un rotor magnétique constitué par un rotor de révolution sur lequel une matière magnétique aimantée est fixée, ce rotor magnétique étant contenu dans le mandrin

intérieur, et animé d'un mouvement de rotation autour de son axe grâce à un moyen d'entraînement.
Dans une solution préférentielle, ledit rotor magnétique est entraîné en rotation par le fluide de refroidissement du mandrin intérieur par l'intermédiaire d'une turbine ou de tout autre moyen convenable d'entraînement direct ou indirect.

D'une façon générale, dans le cas de l'utilisation d'un rotor magnétique, on s'arrange pour privilégier la composante verticale du champ magnétique mobile par rapport à la composante horizontale qui tend à entraîner le métal liquide en rotation autour du mandrin.

Un tel mouvement de rotation du métal liquide dans le moule n'étant pas utile au fonctionnement du procédé, on peut réduire ou bloquer ce mouvement par tout moyen adéquat. A cette fin, on peut en particulier orienter le jet de métal liquide qui pénètre dans le moule de façon que le sens de déplacement de ce métal présente une composante tangentielle de sens opposé au sens de rotation dû au champ magnétique.

La vitesse de rotation adoptée pour le rotor est telle que le champ magnétique mobile appelé aussi champ glissant quand on considère essentiellement sa composante verticale, ait une fréquence suffisante pour avoir un effet d'ascension du métal le long du mandrin notable, sans pour autant que cette fréquence soit trop importante,le champ étant alors absorbé, en majeure partie, par l'écran métallique que constituent le mandrin et aussi la couche de métal solidifié le long de la paroi extérieure du mandrin.

Des vitesses de rotation de 1000 à 3000 tr/min. correspondant à des fréquences de 17 à 50 Hz, sont généralement adoptées ; des vitesses plus élevées ou plus faibles peuvent cependant être avantageuses dans certains cas.

Il peut être avantageux de procéder de façon continue, lors de la coulée, à une lubrification de la paroi externe du mandrin intérieur, en contact avec le métal, par une huile végétale, par exemple, une huile de colza, en soit connue pour cette application.

On confèrera au mandrin intérieur la conicité nécessaire pour permettre un bon démoulage des produits.

Le procédé suivant l'invention, qui vient d'être décrit, s'applique de la façon la plus générale à tout type de coulée continue et, en particulier, à la coulée continue rotative.

La coulée continue rotative qui est pratiquée couramment pour la réalisation de corps pleins de section circulaire, comporte, en général, une lingotière verticale animée d'un mouvement de rotation uniforme autour de son axe, le métal coulé étant extrait verticalement sous la lingotière par un mouvement hélicoïdal de rotation-translation continu vers le bas.

Une telle technique est décrite dans de nombreuses publications telles que les FR 1.440.618, 2.119.874, et aussi dans la "Revue de Métallurgie" CIT février 1981 (pages 119 à 136).

Dans le cas de l'application du procédé suivant l'invention à la coulée continue rotative, on introduit le métal liquide dans l'espace annulaire compris entre un moule extérieur à axe vertical, de section circulaire, refroidi, tournant à une vitesse angulaire uniforme autour de cet axe et un mandrin intérieur également vertical, dont l'axe est, le plus souvent, confondu avec l'axe du moule extérieur, ledit mandrin étant refroidi par circulation interne de fluide et tournant sur lui-même autour de son axe, dans le même sens que le moule extérieur, l'ébauche creuse formée étant extraite verticalement par un mouvement hélicoïdal vers le bas, par des moyens d'extraction.

Comme cela a été dit plus haut, le métal liquide est soumis à un champ magnétique mobile ayant sa source à l'intérieur du mandrin, de façon à créer des forces telles qu'elles impriment au métal liquide un mouvement présentant une composante verticale, parallèle à l'axe du mandrin, dirigée du bas vers le haut. Dans le cas de la coulée rotative, la vitesse angulaire du mandrin intérieur est en général, sensiblement égale à celle du moule extérieur, ce mouvement étant, soit commandé par un dispositif mécanique, soit le résultat

de l'entraînement par frottement du produit creux en cours de solidification sur le mandrin.

Avantageusement, le produit creux en cours de solidification est soumis, le long du mandrin intérieur, et à proximité de celui-ci, non seulement au voisinage de la surface, mais sur une hauteur correspondant sensiblement à la totalité de la hauteur du moule extérieur, au champ magnétique mobile.

Dans une solution préférentielle de coulée continue rotative, on adopte des sens de rotation tels que la rotation du métal liquide due à la composante horizontale du champ magnétique mobile et le mouvement de rotation du moule extérieur et du mandrin soient de sens opposés. L'effet de remontée du métal le long du mandrin est alors le plus marqué malgré la forme générale concave du ménisque due à la rotation du moule extérieur et du mandrin.

La vitesse de rotation du moule extérieur est généralement comprise entre 30 et 120 tr/min.

Les solutions avantageuses d'exploitation du procédé suivant l'invention dans le cas général, sont applicables, bien entendu, dans le cas de la coulée continue rotative et en constituent des solutions préférentielles de réalisation. On notera bien dans ce procédé que, du fait de la présence du mandrin intérieur étanche, on évite tout contact direct de la surface intérieure du produit creux en cours de formation avec le fluide de refroidissement, tel que de l'eau, ce refroidissement se faisant par mandrin interposé. Pour parfaire le refroidissement, on peut prévoir, en prolongement du mandrin intérieur, un écran anti-rayonnement avec adjonction ou pas d'un adjuvant gazeux de refroidissement permettant d'écouler plus facilement les calories.

L'invention a aussi pour objet un dispositif pour la mise en oeuvre du procédé précédemment décrit. Ce dispositif comprend un moule extérieur vertical à paroi intérieure métallique refroidie par circulation interne de fluide, un mandrin intérieur à paroi métallique refroidie par circulation de fluide, des moyens d'introduction

d'un métal liquide à la partie supérieure de l'espace annulaire compris entre le mandrin et le moule, des moyens d'extraction vers le bas du corps creux en cours de solidification et des moyens de création d'un champ magnétique mobile logés à l'intérieur du mandrin.

Dans ce dispositif, le champ magnétique mobile peut être créé par des enroulements inducteurs, alimentés en courant polyphasé, fixes ou mobiles par rapport à la paroi extérieure du mandrin.

De façon préférentielle, on crée le champ magnétique mobile au moyen d'un système inducteur tournant par rapport à la paroi extérieure du mandrin et comportant soit des enroulements alimentés en courant continu, soit une matière magnétique aimantée de façon permanente.

Dans le cas de la coulée rotative, le dispositif objet de l'invention comprend, de plus, des moyens d'entraînement en rotation du moule extérieur ainsi que des moyens d'extraction permettant d'extraire verticalement vers le bas, d'un mouvement hélicoïdal, le corps creux en cours de solidification. Le mandrin intérieur est, de préférence, disposé de façon coaxiale par rapport au moule.

Selon une solution préférentielle, la rotation du rotor est assurée par le fluide du circuit de refroidissement par l'intermédiaire d'une turbine située à l'intérieur du mandrin intérieur.

Le mandrin intérieur est réalisé impérativement en un matériau amagnétique présentant avantageusement une bonne conductivité calorifique et une conductivité électrique aussi faible que possible. La partie interne du mandrin, c'est-à-dire la partie correspondant au rotor magnétique, s'étend avantageusement sur une hauteur sensiblement égale à celle du moule extérieur, le rotor dépassant au-dessus du niveau libre du bain métallique.

Une solution préférentielle de création du champ magnétique mobile consiste à utiliser comme matière magnétique aimantée des aimants permanents, sous forme de parallélépipèdes à faces rectangles, à la périphérie d'un rotor constitué d'une pièce de révolution en matériau magnétique, selon une hélice présentant une aimantation nord-

sud homogène, préférentiellement radiale.

Pour accroître l'intensité du champ magnétique, on dispose la matière magnétique aimantée suivant deux hélices décalées enroulées autour du rotor à la façon d'une vis à deux filets, chaque hélice présentant, dans ce cas, une aimantation homogène radiale, l'une des hélices étant aimantée de façon telle que en chaque point un pôle nord, soit plus proche de l'axe du rotor, et l'autre hélice de façon que un pôle sud soit le plus proche de l'axe du rotor en chaque point On peut prévoir aussi plus de deux hélices décalées. Dans ce cas, on dispose un nombre pair d'hélices présentant chacune une aimantation homogène radiale, le sens de l'aimantation alternant d'une hélice à la suivante. De cette façon, on obtient, au moyen d'aimants permanents, un champ magnétique polyphasé mobile, qui est plus simple à réaliser que par utilisation d'une pluralité d'inducteurs polyspires décalés dans l'espace et qu'il faudrait alimenter par des courants polyphasés.

Afin d'éviter les risques d'arrachement de la matière magnétique aimantée par la force centrifuge, il est important de solidariser celle-ci avec le rotor au moyen d'une frette constituée par une matière à base de fibres naturelles ou synthétiques recouvrant la matière magnétique aimantée et entourant le rotor magnétique. La liaison entre la frette et le substrat est de préférence assurée par une résine synthétique polymérisée qui imprègne la frette. Le matériau magnétique qui constitue le rotor est de préférence un acier doux ou un acier au carbone tel qu'un acier de construction. Les intervalles entre les spires successives de l'hélice ou des hélices en matière magnétique aimantée sont de préférence remplis par une matière de remplissage telle qu'un mastic polymérisable armé par de la fibre de verre.

Entre la frette et la matière magnétique aimantée, on dispose de préférence un feutre en matière fibreuse non tissée. On utilise de préférence pour constituer la frette des fibres à hautes caractéristiques mécaniques telles que des fibres de verre ou de polyamides. La liaison entre le feutre et la frette et le substrat est de préférence assurée par une résine synthétique polymérisée qui imprègne à la fois la frette et le feutre.

Suivant une solution particulièrement avantageuse, on peut utiliser comme matière magnétique aimantée un caoutchouc magnétique par exemple sous forme de rubans ou encore un alliage à base de cobalt contenant au moins un métal des terres rares, tel que par exemple le samarium.

De cette conception générale du dispositif suivant l'invention, il résulte une grande simplicité, tant du point de vue construction que mise en oeuvre et une grande compacité.

Ceci permet d'assurer une grande fiabilité et une sécurité d'exploitation, tout en obtenant un coût d'utilisation très favorable.

Les figures et les exemples ci-après décrivent, de façon non limitative, des modes de réalisation du dispositif suivant l'invention, appliqués à la réalisation de corps creux de section circulaire par coulée continue rotative.

La figure 1 est une vue d'ensemble, en coupe axiale verticale, du dispositif suivant l'invention.

La figure 2 est une vue de la turbine d'entraînement du rotor magnétique en coupe, suivant C-C', comme montré figure 1.

La figure 3 est une vue du système d'entraînement en rotation du mandrin de la figure 1, qui se place entre les plans de coupe D-D' et E-E' de la figure 1.

La figure 4 est une vue de face en coupe axiale partielle, du rotor magnétique de la figure 1.

La figure 5 est un rotor magnétique suivant un premier mode de réalisation de la présente invention, en coupe axiale partielle dans le haut de la figure, comportant deux hélices en caoutchouc magnétique.

La figure 6 est un rotor magnétique suivant un deuxième mode de réalisation de la présente invention, en coupe axiale partielle dans

le haut de la figure, comportant deux hélices en alliage magnétique cobalt-terres rares.

Le dispositif suivant l'invention, décrit ici dans le cas d'une coulée continue rotative pour l'obtention de barres creuses en acier, est représenté dans son ensemble en figure 1, qui a été coupée dans sa partie inférieure pour faciliter la représentation.

Le dispositif permettant la coulée continue rotative de corps pleins en acier, de section circulaire, est en soi connu, en particulier par les publications dont les références ont été données plus haut.

La description ci-après portera donc essentiellement sur les moyens nouveaux utilisés pour la réalisation du procédé et du dispositif suivant l'invention.

La figure 1 représente un dispositif de coulée continue rotative de corps creux suivant l'invention, qui comporte un moule extérieur (1), ou lingotière, tournant autour d'un axe vertical de forme générale tubulaire et de section circulaire, refroidi, un mandrin intérieur (2), un système d'amenée de métal liquide schématisé par la flèche (3) et un système d'extraction hélicoïdale verticale des produits coulés. Ces deux derniers systèmes étant les mêmes que ceux utilisés pour la coulée continue rotative de barres rondes pleines, sont connus de l'homme de l'art et, donc, non représentés. La lingotière (1) ou moule extérieur, est figurée simplement par sa paroi (4) limitée en (5) et (6). Cette paroi présente en général une légère conicité, avec diminution de section dans la partie inférieure, qui assure le contact avec le métal en cours de solidification. Son système de refroidissement et ses moyens d'entraînement en rotation, connus de l'homme de l'art, n'ont pas été représentés. La surface libre du métal est en (7) et le corps creux de section circulaire, partiellement solidifié est en (8).

Le mandrin intérieur creux (2) est constitué de deux parties : la partie basse, située au niveau du moule (1) immergée dans le métal en cours de solidification, qui constitue la partie active du mandrin, et la partie haute, située au-dessus du moule (1), portant

les mécanismes de commande et de support de la partie basse.

Dans sa partie basse, le mandrin comporte un manchon (9), de forme généralement tubulaire, de section circulaire et de hauteur légèrement supérieure à la hauteur de la lingotière (1).

Le manchon (9) présente avantageusement une conicité avec rétrécissement de la section vers le bas pour permettre le retrait du métal en cours de solidification. Le manchon (9) est réalisé, de façon générale, en un matériau amagnétique présentant une bonne conductivité calorifique, par exemple, en cuivre ou alliage de cuivre.

Le mandrin (2) est maintenu en position dans le moule par des moyens de soutien représentés figure 2, de façon que le manchon (9) soit parfaitement coaxial avec le moule (1).

Le manchon (9) est assemblé, par exemple, par manchonnage en (10) avec un joint d'étanchéité statique (11) avec un tube support de révolution (12) qui constitue la partie supérieure du mandrin et dont l'extrémité supérieure pénètre dans la tête de mandrin (13). Un double joint à lèvre (14) permet la libre rotation du mandrin par rapport à la tête (13) tout en garantissant l'étanchéité vis-à-vis du fluide sous pression qui circule à l'intérieur.

La rotation du manchon (9) est commandée par un système moteur représenté figure 3, qui assure à la fois la mécanisation en rotation du mandrin (2) et son maintien général en position verticale et centrée par rapport au moule (1), l'axe du mandrin étant confondu avec celui du moule (1). Ce dispositif d'entraînement mécanique est décrit plus loin.

La tête (13), fixée sur le dispositif moteur de la figure 3 par une patte de fixation (P), porte les conduites d'amenée (15) et de départ (16) du fluide de refroidissement.

A l'intérieur du mandrin creux (2), un tube central (17), de section circulaire et co-axial au manchon (9), supporte, dans sa partie basse, un rotor magnétique (18) qui l'entoure, et qui est monté libre

en rotation par rapport au tube (17).
Le tube (17) est fermé de façon étanche à sa partie inférieure (19); il est solidarisé avec le tube support (12) par l'intermédiaire de plaques radiales (20-21), qui ne font pas obstacle à l'écoulement axial entre (12) et (17) du fluide de refroidissement.

Le manchon (9) et le tube (17) sont solidarisés, de façon étanche, à la partie inférieure par la pièce de fond annulaire (22) avec joints statiques d'étanchéité toriques (23) et (24). A son extrémité supérieure, le tube (17) est centré par une pièce annulaire (25) par rapport à laquelle il est libre en rotation grâce à un joint torique statique (27) à l'intérieur de la tête du mandrin (13).

Un écrou (28) vissé en (29) sur le tube (17) assure le blocage de la pièce de fond (22).

Ainsi, le manchon (9), le support (12), le tube (17) et la pièce de fond (22) sont parfaitement solidaires et peuvent tourner à la même vitesse de rotation.

Le rotor magnétique (18) est constitué par un cylindre creux libre en rotation sur le tube (17) et porte sur sa surface extérieure une matière magnétique. Sa structure particulière sera décrite plus loin. La longueur du rotor est choisie de façon que sa partie supérieure dépasse nettement le niveau correspondant à la surface libre du métal liquide au voisinage du manchon (9). On s'arrange, dans la construction, pour que l'intervalle entre rotor (18) et manchon (9) soit le plus réduit possible, compte tenu de la nécessité de conserver une section de passage suffisante pour le fluide de refroidissement.

La vitesse du rotor (18) n'est pas liée à la vitesse du tube (17) et ledit rotor tourne sur des bagues en matériau approprié, par exemple en matériau à base de résine plus fibre type céleron, (31) et (32) positionnées sur le tube (17). Le rotor (18), dont la vitesse de rotation doit être élevée, de l'ordre de 1000 à 3000 tr/min, est entraîné en rotation par le fluide de refroidissement par l'intermédiaire d'une turbine (33) usinée dans la partie inférieure du rotor, et, donc, solidaire de celui-ci.

La figure 2 donne, en coupe, le profil de la turbine. Le fluide de refroidissement, qui se trouve sous une pression convenable à l'intérieur du tube (17), sort de celui-ci par des trous radiaux tels que (34) répartis en nombre convenable à la périphérie du tube (17). Un ensemble d'orifices, tels que (35), de profil convenable, sont répartis à la périphérie du rotor (18) et orientés de façon à provoquer par réaction l'entraînement du rotor.

Le profil des orifices (35), ainsi que le réglage de la pression du fluide de refroidissement utilisé, permettent de maîtriser la vitesse de rotation du rotor magnétique (18) dans la gamme de vitesses voulue.

Ainsi, selon ce dispositif, le fluide de refroidissement, en général de l'eau, entrant en (15), descendant à l'intérieur du tube (17)et remontant dans l'intervalle (30) pour sortir en (16), assure à la fois le refroidissement du manchon (9), pour permettre l'élimination des calories du bain métallique, et le refroidissement du rotor et de la matière magnétique aimantée.

Un dessin convenable des pièces permet, avec une pression d'eau de 2 à 3 kg/cm^2 d'atteindre une vitesse d'environ 3000 tr/min, en maintenant la température du rotor magnétique dans son ensemble au-dessous de 100°C, les vitesses de circulation adoptées permettant d'éviter la présence d'air dans le circuit de refroidissement.

On choisit, de préférence, comme vitesse de rotation du rotor, celle qui permet d'obtenir une vitesse de déplacement ascendant du métal liquide suffisamment élevée. Le rapport entre la vitesse de déplacement ascendant du métal liquide et la vitesse de rotation du rotor est fonction de cette vitesse de rotation. Au-delà d'une vitesse de rotation critique, la vitesse de déplacement ascendant du métal liquide ne s'accroît plus et, au contraire, se met à diminuer rapidement. Cette vitesse critique de rotation dépend en particulier de la nature du matériau qui constitue la paroi du manchon (9) et de l'épaisseur de celle-ci.

Dans le cas d'un manchon en cuivre, cette vitesse critique de rotation du rotor "N_c" exprimée en tr/min. est déterminée

approximativement par la formule :

$$N_c = \frac{300\ 000}{e^2}$$

"e" étant l'épaisseur de la paroi du manchon (9) exprimée en millimètres.

La rotation du mandrin (2) est assurée par le mécanisme de la figure 3. Cet ensemble vient se placer entre les plans D-D' et E-E' de la figure 1. Ce mécanisme est essentiellement constitué d'une couronne dentée (36) frettée sur la pièce (12) mue par un arbre moteur (37), à l'extrémité duquel on trouve un pignon conique (38).

La couronne est supportée dans sa rotation par deux boîtes à rouleaux coniques (39) et (40), qui permettent de maintenir en position verticale fixe et centrée le mandrin (2). L'arbre (37) tourne également dans une boîte à deux rouleaux coniques (41) et (42),un carter étanche et refroidi (43-44) venant fermer le tout.
Des joints (45-46) assurent l'étanchéité lors de la rotation du mandrin.

La tête du mandrin (13) est fixée sur le boîtier porte-arbre moteur par les pattes (P) et (47) et les boulons (48).

Le mandrin (2) est positionné sur le moule (1) par un système non figuré, de pattes amarrées d'une part, sur le plancher de travail qui peut se trouver à hauteur du moule (1), et d'autre part, sur le carter (43-44) ou sur la tête (13) du mandrin. Ainsi, on assure un maintien en position verticale bien définie du mandrin.

De nombreux modes de réalisation du rotor magnétique utilisé dans le procédé suivant l'invention sont possibles.

On décrit ci-après plusieurs modes avantageux de réalisation de ce rotor magnétique.

Dans un premier mode de réalisation, la strucutre du rotor magnétique (18), créant le champ mobile, est représentée en élévation,

figure 4, la partie haute de la figure étant en coupe.

Ce rotor est constitué d'un cylindre creux (49) en acier de construction, dont les extrémités sont profilées pour permettre le logement des bagues de friction (31-32) permettant de centrer en rotation avec un minimum de frottement ledit rotor.

La matière magnétique aimantée est constituée par des aimants permanents tels que (50) positionnés dans des logements tels que (51), réalisés côte à côte en hélice, à la surface du cylindre. Ces aimants sont fixés dans leur logement, par exemple par collage. On utilise avantageusement des aimants de forme parallélépipédique à faces rectangle, dont les grands côtés sont orientés parallèlement aux génératrices, l'axe nord-sud, perpendiculaire aux grandes faces, correspondant à la plus faible distance entre faces du parallélépipède, et étant radial, c'est-à-dire perpendiculaire à l'axe du rotor.

Dans ce mode de réalisation, les hélices sont au nombre de deux, coaxiales (52) et (53), disposées autour du rotor à la façon d'un filetage à double filet présentant un pas à droite, chaque hélice étant orientée magnétiquement de façon homogène, c'est-à-dire que les pôles les plus proches de l'axe du rotor de l'ensemble des aimants d'une même hélice sont de même nom. Par contre, l'orientation magnétique des deux hélices est opposée. Ainsi, dans le cas de la figure 4, les pôles de l'hélice (52), les plus proches de l'axe du rotor, sont sud, tandis que ceux de l'hélice (53) les plus proches de l'axe du rotor, sont nord.

Tout aimant permanent suffisamment stable peut être utilisé.

Le sens d'enroulement de l'hélice ou des hélices sur le rotor magnétique doit être le même que le sens de rotation du rotor autour de son axe vu de dessus. Ainsi, si le rotor vu de dessus tourne dans le sens des aiguilles d'une montre, l'hélice ou les hélices doivent avoir un pas à droite.

Cette structure de rotor crée par rotation, un champ magnétique mobile appelé aussi champ glissant dont la direction de déplacement est en chaque point perpendiculaire aux filets de l'hélice et

contenue dans le plan tangent à la surface du cylindre. La direction de déplacement de ce champ glissant présente donc, d'une part, une composante verticale qui entraîne le métal liquide de bas en haut, d'autre part une composante horizontale qui tend à entraîner le métal liquide en rotation.

Le pas de l'hélice ou des hélices, c'est-à-dire la distance entre deux spires d'une même hélice le long d'une génératrice, est choisi de façon à ce que la composante horizontale du champ magnétique reste faible, tout en ne rapprochant pas trop les pôles de noms contraires sur une même génératrice du rotor, de façon à avoir des lignes de champ pénétrant en profondeur dans le métal liquide. La distance sur une même génératrice, entre les extrémités les plus proches d'un aimant nord et d'un aimant sud, n'est pas, de préférence, prise inférieure à la grande longueur du parallélépipède de base.

La qualité des résultats obtenus dans le procédé suivant l'invention dépend en particulier, comme on le verra plus loin, de l'obtention d'une vitesse de déplacement ascendant du métal liquide le long du manchon, suffisamment élevée. C'est en effet ce déplacement ascendant qui entraîne les crasses et inclusions jusqu'à la surface libre du métal et qui crée un relief annulaire autour du manchon qui empêche les crasses surnageant à la surface du bain métallique de venir se déposer sur la surface intérieure du corps creux en cours de solidification.

On a vu que pour obtenir une vitesse de déplacement ascendant suffisamment grande, il est en général nécessaire de faire tourner le rotor magnétique à une vitesse optimale qui est souvent très proche de la vitesse critique calculée par la formule donnée plus haut. Dans bien des cas, cette vitesse optimale est telle que la couche aimantée qui recouvre le rotor est susceptible d'être arrachée par la force centrifuge. Ce risque est d'autant plus grand que, étant donné la faible perméabilité de l'entrefer constitué par l'intervalle entre le rotor et la paroi intérieure du mandrin, la paroi du mandrin et la couche de métal déjà solidifiée au contact de la paroi extérieure du mandrin, il est nécessaire de mettre en oeuvre un volume suffisant de matière magnétique de densité relativement élevée pour obtenir l'induction souhaitée, alors que la structure

proprement dite du rotor doit demeurer aussi légère que possible et de volume réduit. En effet, le rotor est logé à l'intérieur d'un mandrin de longueur relativement grande, qui est solidaire, par l'une de ses extrémités seulement, d'un moyen de fixation. On est donc obligé, dans bien des cas, de limiter la vitesse de rotation du rotor à une valeur inférieure à la vitesse optimale qui donnerait la plus grande vitesse de déplacement ascendant du métal liquide pour éviter les arrachements.

Afin de permettre d'atteindre la vitesse de rotation optimale, on a développé dans le cadre de la présente invention, un rotor magnétique relativement léger capable de tourner à grande vitesse sans risque d'arrachement de la matière magnétique aimantée.

Ce rotor magnétique comporte une pièce de révolution en matériau magnétique,capable de tourner autour de son axe,sur la surface de laquelle est disposée, suivant au moins une hélice, une matière magnétique aimantée ; cette matière magnétique aimantée est solidarisée avec le rotor par au moins une frette constituée par une matière à base de fibres naturelles ou synthétiques ainsi que par une résine synthétique, cette frette recouvrant la matière magnétique aimantée et entourant le rotor.

On décrit ci-après de façon non limitative 2 modes de réalisation de ce rotor magnétique perfectionné suivant l'invention.

La figure 5 représente un premier mode de réalisation de ce rotor magnétique.

Ce rotor comporte une pièce de révolution en métal magnétique, constituée d'un cylindre (64) en acier au carbone tel qu'un acier type X C 35 (norme AFNOR).Ce cylindre comporte à chacune de ses deux extrémités un logement (65-66) destiné à recevoir une bague de friction ou un roulement à billes lui permettant de tourner à grande vitesse autour de son axe avec le minimum de frottement. Une turbine, usinée dans la partie inférieure du rotor, comporte des orifices représentés de façon schématique en (67-68), orientés et dimensionnés de façon telle que le fluide qui les traverse, comme cela est décrit plus haut, provoque l'entraînement en rotation du rotor

à la vitesse désirée. A la surface de ce cylindre, sont usinées deux gorges parallèles en hélice (69-70). Ces gorges ont une relativement faible profondeur (e) et une grande largeur (l_1). La distance (l_2) entre deux gorges successives, est, de préférence, voisine de (l_1). La matière magnétique est engagée en partie dans ces gorges. On utilise par exemple un ruban de caoutchouc magnétique dont la matière active est le plus souvent une ferrite qu'on colle par un moyen convenable dans la gorge. Afin d'obtenir un volume suffisant de matière magnétique, on colle de préférence plusieurs épaisseurs de caoutchouc magnétique. Dans le cas de la figure 5, on réalise deux hélices magnétiques (71-72), constituées chacune de trois couches de caoutchouc magnétique (71_1-71_2-71_3) et (72_1-72_2-72_3). Au sein de chaque hélice, l'axe d'aimantation Nord-Sud est radial et de même sens tout le long de l'hélice. Par contre, le sens d'aimantation change d'une hélice à l'autre. Ainsi, dans le cas de la figure 5, l'hélice (71) présente à l'extérieur un pôle Nord (N) et l'hélice (72), au contraire, un pôle Sud (S).

Afin de solidariser efficacement les hélices magnétiques entre elles et avec le cylindre d'acier, on remplit l'intervalle (73) entre les hélices d'une matière de remplissage et de liaison telle qu'un mélange de matière fibreuse et d'une résine polymérisable ayant un bon pouvoir mouillant vis-à-vis de la surface du cylindre d'acier et vis-à-vis aussi de la matière magnétique. On peut, pour améliorer l'adhérence, effectuer sur la surface du cylindre un moletage. Après durcissement de la résine, cette matière de liaison permet, en particulier, d'éviter tout déplacement des hélices magnétiques l'une par rapport à l'autre.

Le frettage de la matière magnétique et de la matière de remplissage sur le cylindre en acier au carbone est réalisé au moyen d'une frette (74) comportant un tissu à base de fibres à haut module d'élasticité qui recouvre entièrement la surface cylindrique formée par les deux hélices magnétiques et la matière de remplissage. Cette frette (74) est représentée en coupe partielle sur la figure 5.

Pour améliorer la liaison entre le tissu de la frette (74) et les matériaux sous-jacents, on peut loger entre les deux une couche

mince, non représentée sur la figure 5, d'un feutre non tissé à base de fibre de verre, l'ensemble étant ensuite imprégné d'une résine synthétique liquide, qui, après polymérisation, assure une excellente liaison entre la frette, le feutre et le substrat, c'est-à-dire le cylindre en acier entouré des hélices magnétiques et de la matière de remplissage.

L'épaisseur de la frette est calculée de façon à maintenir les hélices magnétiques plaquées contre le cylindre malgré la force centrifuge qui s'exerce sur la matière magnétique lorsque le rotor tourne à sa vitesse de régime. Parmi les fibres à hautes caractéristiques mécaniques, qui permettent de réaliser la frette, on peut utiliser en particulier des fibres de verre, des fibres polyamides, ou encore des fibres de carbone ou de bore.

On utilise, de préférence, des fibres à haut module d'élasticité. Certaines fibres naturelles peuvent également convenir.

Les dimensions relatives des différents éléments constituant le rotor magnétique sont choisies par l'homme de l'art en fonction des différents paramètres de l'installation de coulée continue de corps creux qu'il s'agit de réaliser et peuvent varier dans d'assez larges limites. On peut ainsi utiliser pour la coulée continue de corps creux en acier un mandrin intérieur en cuivre, dans lequel est logé un rotor magnétique de 144 mm de diamètre extérieur et 600 mm de haut.Ce rotor est entraîné en rotation autour de son axe à une vitesse de l'ordre de 3000 tr/min. par une turbine, de la façon décrite plus haut. Ce rotor comporte un noyau cylindrique en acier de construction, de 87 mm de diamètre et 600 mm de haut.

Sur ce noyau sont usinées deux gorges parallèles en hélice, à fond cylindrique de 1,5 mm de profondeur et 50 mm de largeur. Chacune de ces gorges en hélice est usinée autour du cylindre au pas de 200 mm de façon que la distance entre les bords les plus proches de deux gorges soit de 50 mm.

Dans chacune de ces gorges on loge trois couches superposées d'un ruban de caoutchouc magnétique d'environ 9 mm d'épaisseur et dont la largeur correspond à celle de la gorge.

Ces rubans sont collés dans le fond de la gorge et également collés entre eux. L'intervalle entre les rubans est rempli par un mastic polymérisable armé de fibre de verre. L'ensemble est ensuite

enveloppé par une couche mince d'environ 1 mm d'épaisseur d'un feutre de verre lui-même recouvert d'un tissu constitué de fibres de polyamides à haute résistance mécanique et haut module d'élasticité, d'environ 2 mm d'épaisseur qui constitue la frette.

La frette et le feutre sont imprégnés d'une résine liquide polymérisable qui, après durcissement, assure la liaison entre la frette, le feutre, et le substrat.

L'épaisseur de la frette et celle du feutre sont ajustées de façon que le diamètre extérieur du rotor magnétique atteigne environ 144 mm. Grâce à cette frette, le ruban magnétique fait bloc avec le noyau du rotor et supporte sans déplacement les efforts centrifuges résultant de la rotation à 3000 tr/min. du rotor magnétique.

Le jeu entre la surface extérieure du rotor magnétique et la surface intérieure du mandrin dans lequel il est logé, doit être le plus réduit possible, compte tenu de la nécessité de laisser un passage suffisant pour la circulation du fluide de refroidissement, le plus souvent de l'eau. Dans le cas présent, le débit de ce fluide doit être déterminé en tenant compte non seulement des calories à évacuer mais aussi de la nécessité d'entraîner la turbine à la vitesse voulue.

Comme on l'a dit plus haut, il faut limiter au minimum la distance entre les surfaces polaires des hélices magnétiques et la surface du métal liquide en regard. Cette distance, appelée aussi entrefer, correspond à la somme de 3 termes: l'épaisseur de métal solidifié au contact de la surface extérieure de la paroi du mandrin, l'épaisseur de cette paroi du mandrin et la distance entre la surface intérieure de cette paroi du mandrin et la surface extérieure des hélices magnétiques. Chacun de ces termes doit donc être optimisé en appliquant les connaissances habituelles de l'homme de l'art en matière de résistance des matériaux, de thermique, et d'hydrodynamique.

Dans un deuxième mode de réalisation du rotor magnétique perfectionné suivant l'invention, on se propose de mettre en oeuvre un champ magnétique beaucoup plus intense que celui qui peut être obtenu au moyen de caoutchouc aimanté. Pour cela, on fait appel en particulier à des aimants à base de cobalt-terres rares tels que les aimants CORAMAG (marque déposée de AIMANTS UGIMAG S.A.). Ces aimants, grâce à leur très grand champ coercitif d'induction, d'environ

8000 Oe et à leur très grande inducation rémanente de l'ordre de 8300 G, permettent de multiplier par un facteur 4, à volume égal, le champ magnétique produit.

Ceci veut dire que l'utilisation de ces aimants permet, grâce à une très grande énergie spécifique d'environ 17 MG.Oe, de réaliser des gains de poids et d'inertie très importants.

La figure 6 représente en coupe partielle un rotor magnétique comportant de tels aimants.

La disposition générale est analogue à celle décrite figure 5. On utilise dans ce cas un rotor constitué d'un cylindre en acier au carbone (75), de même conception que le cylindre (64) de la figure 5. La partie inférieure du cylindre, qui comporte la turbine d'entraînement analogue à celle décrite de façon schématique figure 5, n'est pas représentée.

Ce rotor comporte, comme celui de la figure 5, deux gorges parallèles en hélice (76) et (77), de faible profondeur et de relativement grande largeur dans lesquelles sont logées des plaquettes parallélépipédiques en alliage magnétique cobalt-terres rares telles que celles commercialisées sous la marque CORAMAG. Ces alliages sont à base de cobalt et contiennent des terres rares telles que le samarium combiné au cobalt au moins en partie sous forme de composés intermétalliques tels que TR Co_5 ou TR_2Co_{17}, TR étant un métal des terres rares.

Dans le cas, par exemple, d'un diamètre à fond de gorge d'environ 80 mm, on met en oeuvre des plaquettes parallélépipédiques de 18 x 19 x 10 mm aimantées dans le sens de l'épaisseur la plus faible (10 mm dans le cas présent). Afin d'obtenir un effet maximal, on superpose trois couches de plaquettes telles que (78), (79) et (80), la plus grande dimension des plaquettes étant parallèle aux génératrices du cylindre, et la plus courte, qui correspond à l'axe d'aimantation, étant orientée de façon radiale. De même que, dans le cas de l'exemple précédent, le sens d'aimantation est le même au sein d'une même hélice et change d'une hélice à l'autre.

Dans le cas de la figure 6, l'hélice (81) comporte des plaquettes dont le pôle Nord (N) se trouve du côté le plus éloigné de l'axe du rotor, tandis que, pour l'hélice (82), c'est au contraire le pôle Sud (S) qui est le plus éloigné de l'axe du rotor. On voit mieux, dans la moitié inférieure de la figure 6, la disposition en hélice côte à côte des plaquettes aimantées (telles que 83, 84, 85, 86) sur la périphérie du rotor. Ces plaquettes sont de préférence collées sur le rotor, et les unes sur les autres au moyen d'une colle synthétique. Cependant, étant donnée la densité élevée de ces alliages magnétiques (de l'ordre de 8,4), les risques d'arrachement sont très importants et il est nécessaire, suivant l'un des moyens essentiels de l'invention, de serrer avec force ces plaquettes aimantées sur le rotor au moyen d'une frette comportant des fibres à haute résistance mécanique. On fait appel, comme dans l'exemple précédent, à une matière de remplissage et de liaison (87) telle qu'un mastic polymérisable armé de fibre de verre qui remplit l'intervalle entre les spires, et on dispose ensuite autour de l'ensemble une frette (88) constituée par une couche de tissu à base de fibres à hautes caractéristiques mécaniques et, en particulier, à haut module d'élasticité, qui recouvre entièrement le cylindre. Cette frette peut, par exemple, être constituée par un ruban enroulé en hélice autour du cylindre ou bien avoir la forme d'un manchon qu'on enfile autour du cylindre. On peut utiliser pour cela par exemple un tissu à base de fibres de verre.

Sur la figure 6, la frette (88) est figurée seulement de façon partielle dans la zone en coupe axiale. Elle recouvre bien évidemment l'ensemble de la surface cylindrique du rotor de façon à serrer fortement les plaquettes aimantées et à les maintenir solidement en contact avec le fond des gorges (76) et (77), même lorsque le rotor est entraîné en rotation à 3000 tr/min. ou davantage. On solidarise de préférence la frette (88) avec le substrat en imprégnant cette frette d'une résine liquide polymérisable de type connu.

Pour améliorer la liaison entre la frette et les matières sous-jacentes, on peut disposer entre les deux un feutre non tissé à base de fibres de verre par exemple, qui permet de réaliser en tous points un serrage élastique. La liaison entre la frette, le feutre

et les matières sous-jacentes est réalisée de préférence par imprégnation au moyen de résine liquide polymérisable.

De nombreux modes de réalisation du rotor magnétique suivant l'invention peuvent être envisagés.

On peut utiliser pour réaliser le rotor, différents métaux ou alliages magnétiques ; on préfère généralement utiliser des aciers de types courants.

On peut utiliser, comme matière magnétique aimantée, de nombreux types d'aimants dont les caractéristiques magnétiques ou dimensionnelles peuvent être extrêmement variées.

On peut envisager de disposer, non pas deux hélices magnétiques de polarités opposées, mais une seule de polarité unique. La variation du champ dans le métal liquide est alors au moins deux fois plus faible et l'efficacité réduite. On peut aussi disposer plus de deux hélices coaxiales en faisant alterner la polarité entre spires adjacentes. Une telle solution peut être intéressante pour des rotors de grands diamètres.

De même, l'entraînement en rotation du rotor magnétique peut être réalisé par de nombreux moyens différents. On peut, en particulier, réaliser cet entraînement, non pas au moyen d'une turbine entraînée par le fluide de refroidissement, mais au moyen d'un moteur électrique, lequel peut être lié directement au rotor, ou, au contraire, être relié à celui-ci par un moyen d'entraînement mécanique de longueur convenable. Enfin, la frette peut être également réalisée d'un grand nombre de façons différentes en faisant appel à une très grande variété de fibres synthétiques ou mêmes naturelles.

Toutes ces variantes d'exécution, ne permettent pas de sortir du domaine de l'invention.

On peut perfectionner encore le dispositif de coulée continue suivant l'invention en prévoyant de placer, comme le montre la figure 1, sous le mandrin rotatif, un écran (54), dont la fonction est de réduire le rayonnement de la surface interne de la barre creuse, une fois sortie du mandrin. Un tel écran, constitué par un cylindre creux de métal à fond plein, peut être fixé par vissage en (55) sur un prolongement du tube central (17).

On peut également, qu'il y ait ou non un écran (54) prévoir

avantageusement un dispositif de refroidissement secondaire par gaz protecteur neutre. La distribution d'un tel gaz protecteur, comme le montre la figure 1, est assurée par un tube (56) fileté en (57) et vissé dans un trou axial (58) percé dans le fond (19) du tube (17). Des canaux radiaux tels que (59) mettent en communication le trou (58) avec l'extérieur. Le gaz, qui sort par ces trous, vient frapper la paroi intérieure en cours de solidification du corps creux et accélère donc cette solidification.

Ce gaz protecteur est amené sur la tête (13) en (60). De cette façon, l'eau de refroidissement ne peut s'échapper du mandrin (2) et il n'y a pas risque de pénétration intempestive de l'eau dans la cavité intérieure des barres en cours de solidification. A l'extrémité supérieure du tube (56), un joint (61) empêche la pénétration de l'eau de refroidissement du tube (17).

On peut prévoir avantageusement un dispositif de lubrification par huile végétale, type huile de colza, dans l'interface manchon (9)-peau de métal en cours de solidification, par exemple, par un distributeur goutte à goutte.

Le dispositif qui vient d'être décrit, en ce qui concerne le rotor magnétique, a l'avantage d'être particulièrement simple et compact.

Dans le cas des modes de réalisation de ce rotor qui ont été décrits il n'est pas nécessaire de faire appel à une source d'énergie électrique pour créer le champ magnétique, et pas davantage pour entraîner en rotation le rotor magnétique. Cette conception est particulièrement intéressante du fait de l'environnement qui règne au niveau du moule : température élevée, place disponible très réduite, danger des infiltrations d'eau sur le métal liquide.

Par ailleurs, un autre avantage du dispositif décrit est sa simplicité de mise en oeuvre. En effet, à un même tube support (12), on peut adapter des dimensions de manchons (9) différentes dont le diamètre de travail, c'est-à-dire le diamètre de la partie

immergée dans le métal en cours de solidification, correspondant aux différents diamètres intérieurs des corps creux à fabriquer. Pour cela, le manchon (9), au lieu d'avoir la forme d'un cylindre de révolution de section constante, comme sur la figure 1, a sur toute sa partie qui se trouve en contact avec le métal coulé, une forme de révolution correspondant à la section intérieure de la barre creuse à fabriquer et, dans sa zone supérieure, une section correspondant au manchonnage (10) du tube support (12), les deux parties dudit manchon (9) se raccordant, dans ce cas, par un épaulement.

On adapte, bien entendu, le diamètre du rotor (18) au diamètre intérieur du manchon (9). Un même rotor peut être utilisé pour plusieurs dimensions de manchons (9), donc de barres creuses.

Le démontage de l'ensemble s'opère très facilement par dévissage de l'écrou (28), dégagement de la pièce de fond (22) et dégagement du manchon (9), le rotor (18) venant alors de lui-même et le tube (17) restant solidaire du tube support (12).

On décrit, maintenant le fonctionnement du procédé mis en oeuvre au moyen du dispositif ci-dessus.

Le métal liquide est amené de façon continue par (3) dans le moule (1), qui est animé d'un mouvement de rotation à vitesse constante. Le mandrin intérieur (2) est, lui aussi, animé d'un mouvement de rotation à vitesse constante sensiblement égale à celle du moule (1) et de même sens. Cette rotation du mandrin est assurée, soit par le mécanisme décrit figure 3, soit simplement par le frottement du métal en cours de solidification sur le mandrin intérieur, le mécanisme décrit figure 3 ne servant plus dans ce cas qu'à maintenir en position verticale et centrée le mandrin tournant. Du fait de la rotation continue du moule (1) et du mandrin (2), on évite toute surchauffe localisée du moule et du mandrin, en particulier, par rayonnement à l'endroit où le métal liquide est introduit par (3) dans le moule. De ce fait, le procédé a une grande symétrie, tant thermique que géométrique.

Au contact de la paroi (4) refroidie du moule (1) et du manchon (9) également refroidi, une croûte solide (8) se forme et la solidification progresse au fur et à mesure de l'extraction de la barre creuse du moule par le bas.

La surface libre du métal (7), qui peut éventuellement être protégée par un courant de gaz protecteur amené à l'état gazeux ou liquide, prend alors, du fait de la rotation du moule, la forme générale concave, comme on le voit figure 1, les bords extérieurs se relevant en (62). De ce fait, les inclusions, crasses ou toutes particules non métalliques surnageant à la surface du métal, ont tendance à s'écarter de la périphérie. Il en résulte une surface extérieure particulièrement soignée ne nécessitant pas de préparation de surface avant transformation ultérieure. Ceci est bien connu et exposé, entre autre, dans l'article de la "Revue de Métallurgie-CIT", déjà cité.

Du côté du mandrin, la composante verticale du champ magnétique mobile créé par le rotor tournant (18) a pour effet de modifier totalement les conditions normales de solidification au voisinage de la surface extérieure du manchon (9). En effet, le courant ascendant de métal liquide, qui se produit le long de ce manchon, entraîne toutes les crasses et inclusions éventuellement présentes, de façon rapide jusqu'à la surface libre du métal, et, de plus, ce courant, qui est ensuite dévié radialement vers la périphérie, provoque la remontée du niveau du métal liquide au voisinage du mandrin (2), le relief annulaire (63) ainsi formé empêchant les crasses surnageant sur la surface libre du bain métallique (7) de venir se déposer sur la surface intérieure du corps creux en cours de solidification. Cet effet mécanique de barrage vient s'ajouter à l'effet d'entraînement par le courant de surface qui maintient éloignées du mandrin, les crasses se trouvant sur le bain.

Afin d'obtenir en (63) un relief d'amplitude maximale, on fait en sorte que la rotation du métal, due à la composante horizontale du champ magnétique mobile soit contrecarrée par le mouvement général de sens opposé de la barre creuse en cours de solidification. Il faut donc que le sens de rotation de la barre creuse (8), et, par conséquent, celui de la paroi du moule (1) qui l'entraîne, et aussi

celui du mandrin (2), soient opposés au sens de rotation du rotor magnétique (18).

Le jet de distribution de métal liquide est orienté de façon telle qu'il conserve aux courants ascendants et de convection, au voisinage du mandrin, leur efficacité maximale. Pour cela, on oriente préférentiellement le jet (3) de façon à ce que le mouvement du métal versé dans le moule ait une composante radiale centrifuge, la composante tangentielle, qui tend à faire tourner le bain, étant dirigée dans le sens de rotation du moule (1). Par ailleurs, le brassage opéré sur le métal liquide en cours de solidification, au voisinage du mandrin, a pour effet d'affiner la structure de la peau intérieure du corps creux obtenu.

Il en résulte une très belle peau intérieure du corps creux, qui ne nécessite pas de traitement de surface prolongé pour continuer le cycle de fabrication.

Le procédé de coulée continue rotative de corps creux s'applique particulièrement bien au cas de l'acier. On peut, par exemple, fabriquer des barres en acier ayant un diamètre extérieur de 350 à 400 mm et un diamètre intérieur de 115 à 200 mm.

Pour un diamètre extérieur de 400 mm et un diamètre intérieur de 200 mm les paramètres de marche sont les suivants :

- hauteur du moule : 430 mm
- hauteur du rotor magnétique : 350 mm
- vitesse de rotation du moule : 40 tr/min.
- vitesse de rotation du mandrin : 40 tr/min. (dans le même sens que le moule)
- vitesse de rotation du rotor magnétique : 3000 tr/min. (dans le sens opposé an sens de rotation du moule).
- mandrin en cuivre, épaisseur : 10 mm
- pression d'eau de refroidissement : 2,5 bars

Bien que l'exemple qui vient d'être donné concerne l'application du procédé suivant l'invention, à la coulée continue rotative, c'est-à-dire au cas où le corps creux coulé est entraîné en rotation ainsi

que le moule, le procédé suivant l'invention s'applique également de la façon la plus générale aux procédés dans lesquels le moule est fixe.

Ainsi que cela a été décrit plus haut, il est également possible de réaliser le procédé suivant l'invention en faisant appel à un champ magnétique mobile obtenu non pas au moyen d'un rotor magnétique, mais au moyen d'un inducteur comportant des enroulements alimentés en courant alternatif polyphasé.

L'utilisation de tels inducteurs comportant par exemple des enroulements alimentés en courant triphasé est connue pour le pompage de métaux liquides tels que le sodium et même l'aluminium.

Leur structure correspond sensiblement à celle d'une portion de stator de moteur à courant alternatif polyphasé dont la courbure est annulée de façon à obtenir un champ magnétique glissant dont le mouvement de translation est linéaire.

Dans le cas du procédé suivant l'invention on peut loger à l'intérieur du mandrin, à la place d'un rotor,un inducteur constitué par un cylindre à axe vertical en matériau magnétique comportant sur sa paroi extérieure cylindrique des encoches en saillie dans lesquelles sont disposées des séries de bobines alimentées en courant alternatif polyphasé.

On peut en particulier, dans le cas d'une alimentation en courant triphasé, utiliser 3 séries de bobines qui sont disposées dans les encoches du cylindre magnétique de façon que, lorsqu'elles sont alimentées en courant alternatif, on obtienne un champ électromagnétique glissant qui se déplace parallèlement aux génératrices du cylindre. La vitesse "V" de translation du champ est égale au produit du pas de l'enroulement "l" par la fréquence "f" du courant alternatif. Les bobines sont connectées à la source de courant triphasé de façon que le glissement vertical du champ se produise de bas en haut.

On ajuste la vitesse de translation en agissant d'une part sur le pas du bobinage et d'autre part, éventuellement, sur la fréquence du courant polyphasé utilisé.

De façon préférentielle, le cylindre est fixe de façon à entraîner verticalement le métal liquide dans la zone voisine du mandrin. Dans ce cas, le champ magnétique mobile ne comporte pas de composante horizontale tendant à entraîner le métal liquide en rotation.

Lorsqu'on utilise un procédé de coulée continue rotative, l'inducteur accompagne de préférence le mandrin dans son mouvement de rotation.

De très nombreuses variantes d'exécution peuvent être apportées au procédé et au dispositif qui font l'objet de l'invention, sans sortir du domaine de celle-ci.

REVENDICATIONS

1. Procédé de fabrication de corps creux métalliques par coulée continue verticale, dans lequel on introduit, de façon continue, un métal liquide dans un espace annulaire compris entre un moule métallique extérieur (1) refroidi par circulation de fluide et un mandrin intérieur (2), refroidi également par circulation de fluide, ce métal se solidifiant progressivement au contact des parois du moule et du mandrin avec formation d'un corps creux (8) qui est extrait au-dessous du moule, caractérisé en ce que, dans une zone annulaire voisine de la surface extérieure du mandrin, on soumet le métal liquide à l'action d'un champ magnétique mobile qui crée à l'intérieur de ce métal des forces, présentant une composante verticale dirigée de bas en haut, qui entraînent ce métal vers la surface libre du bain métallique.

2. Procédé suivant revendication 1, caractérisé en ce qu'une zone annulaire en relief (63)est formée à la surface du bain métallique liquide, au voisinage du mandrin intérieur (2), dont l'effet barrière s'ajoute à celui du déplacement radial du métal liquide en direction de la paroi du moule, pour empêcher les particules non métalliques qui surnagent à la surface du métal, de venir se déposer sur la surface intérieure du corps creux en cours de solidification.

3. Procédé suivant revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que le moule extérieur (1) tourne.

4. Procédé suivant revendication 3, caractérisé en ce que le mandrin intérieur (2) tourne dans le même sens que le moulè extérieur (1) à vitesse sensiblement égale.

5. Procédé suivant revendication 3 ou 4, caractérisé en ce que la vitesse de rotation du moule et du mandrin est de 30 à 120 tr/min.

6. Procédé suivant l'une des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que le champ magnétique mobile a sa source à l'intérieur du mandrin.

7. Procédé suivant l'une des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que le champ magnétique mobile est créé par un inducteur comportant des enroulements alimentés en courant alternatif polyphasé.

8. Procédé suivant l'une des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que le champ magnétique mobile est créé par un inducteur tournant comportant des enroulements alimentés en courant continu ou une matière magnétique aimantée.

9. Procédé suivant revendication 8, caractérisé en ce que, lorsque le moule extérieur et le mandrin sont entraînés en rotation, leur sens commun de rotation est inverse de celui du système inducteur tournant.

10. Application du procédé suivant l'une des revendications 1 à 9 à la coulée continue des aciers ordinaires ou alliés, des aciers inoxydables et réfractaires et des alliages réfractaires à base de Ni et/ou Co.

11. Dispositif de coulée continue verticale pour la fabrication de corps creux métalliques, qui comprend un moule extérieur vertical (1) à paroi intérieure métallique refroidie par circulation interne de fluide, un mandrin intérieur (2) refroidi également par circulation interne de fluide, des moyens d'introduction d'un métal liquide (3) à la partie supérieure de l'espace annulaire compris entre le mandrin (2) et le moule (1), des moyens d'extraction vers le bas du corps creux (8) en cours de solidification, caractérisé en ce que des moyens de création d'un champ magnétique mobile sont logés à l'intérieur du mandrin (2).

12. Dispositif suivant revendication 11, caractérisé en ce que des moyens d'entraînement en rotation agissent de façon directe ou indirecte, sur le moule (1) et/ou sur le corps creux (8) extrait du moule et/ou sur le mandrin (2).

13. Dispositif suivant revendication 11 ou 12, caractérisé en ce que le mandrin intérieur (2) est disposé de façon coaxiale par

rapport au moule (1).

14. Dispositif suivant l'une des revendications 11 à 13, caractérisé en ce que le champ magnétique mobile est créé par un inducteur comportant des enroulements alimentés en courant alternatif polyphasé.

15. Dispositif suivant revendication 14, caractérisé en ce que les enroulements sont placés dans des encoches réalisées sur la paroi extérieure d'un cylindre logé à l'intérieur du mandrin, ces enroulements étant disposés et reliés à la source de courant alternatif polyphasé de façon à créer un champ électromagnétique glissant qui se déplace de bas en haut.

16. Dispositif suivant revendication 14 ou 15, caractérisé en ce que lorsque le mandrin est rotatif il est accompagné dans sa rotation par le cylindre qui porte les enroulements inducteurs.

17. Dispositif suivant l'une des revendications 11 à 13, caractérisé en ce que le champ magnétique mobile est créé par un inducteur entraîné en rotation par un moyen d'entraînement, cet inducteur comportant des enroulements alimentés en courant continu ou une matière magnétique aimantée.

18. Dispositif suivant revendication 17, caractérisé en ce que le moyen d'entraînement fait tourner l'inducteur a une vitesse d'environ 1000 à 3000 tours par minute.

19. Dispositif suivant revendication 17 ou 18, caractérisé en ce que l'inducteur est solidaire d'une turbine (33) traversée par le fluide de refroidissement du mandrin (2) qui l'entraîne en rotation.

20. Dispositif suivant l'une des revendications 17 à 19, caractérisé en ce que l'inducteur tournant est constitué par un rotor magnétique (18) qui tourne à l'intérieur du mandrin (2) et sur lequel la matière magnétique aimantée (50) est disposée autour de l'axe du rotor suivant au moins une hélice (52,53).

21. Dispositif suivant revendication 20, caractérisé en ce que le sens de rotation de l'inducteur tournant tel qu'il est vu au-dessus de son axe de rotation est le même que le sens du pas de l'hélice.

22. Dispositif suivant revendication 20 ou 21, caractérisé en ce que la matière magnétique aimantée présente un axe nord-sud orienté radialement, et en ce que les pôles les plus proches de l'axe, relatifs à l'ensemble de la matière magnétique aimantée d'une même hélice, sont de même nom.

23. Dispositif suivant l'une des revendications 20 à 22, caractérisé en ce que la matière magnétique aimantée est disposée suivant un nombre pair d'hélices coaxiales enroulées à la façon d'un filetage à plusieurs filets autour du rotor, les pôles les plus proches de l'axe changeant de nom en passant d'une hélice à l'hélice à filets adjacents.

24. Dispositif suivant l'une des revendications 17 à 23, caractérisé en ce que le rotor magnétique entraîné en rotation autour de son axe par un moyen d'entraînement, comporte une pièce de révolution, réalisée en un matériau magnétique, autour de laquelle est disposée suivant au moins une hélice, une matière magnétique aimantée, solidarisée avec le rotor par au moins une frette constituée par une matière à base de fibres naturelles ou synthétiques à hautes caractéristiques mécaniques, cette frette recouvrant la matière magnétique aimantée et entourant le rotor.

25. Dispositif suivant revendication 24, caractérisé en ce que le matériau magnétique est un métal ou alliage métallique, tel qu'un acier doux, ou un acier au carbone tel qu'un acier de construction.

26. Dispositif suivant l'une des revendications 22 à 24, caractérisé en ce que les intervalles entre les spires successives de l'hélice ou des hélices en matière magnétique aimantée sont remplis par une matière de remplissage telle qu'un mélange de matière fibreuse et de résine synthétique polymérisée.

27. Dispositif suivant revendication 26, caractérisé en ce que la matière de remplissage est un mastic, comportant une résine synthétique polymérisée, armé par de la fibre de verre.

28. Dispositif suivant l'une des revendications 24 à 27, caractérisé en ce que, entre la frette et la matière magnétique aimantée, est disposé un feutre en matière fibreuse non tissée.

29. Dispositif suivant l'une des revendications 24 à 28, caractérisé en ce que la matière fibreuse, qui constitue la frette, comporte des fibres à hautes caractéristiques mécaniques, telles que des fibres de verre ou des fibres de polyamides.

30. Dispositif suivant revendication 28 ou 29, caractérisé en ce que la liaison entre la frette, le feutre et le substrat, est assurée par une résine synthétique polymérisée.

31. Dispositif suivant l'une des revendications 17 à 30, caractérisé en ce que la matière magnétique aimantée est un caoutchouc magnétique ou un alliage à base de cobalt contenant au moins un métal des terres rares tel que le samarium.

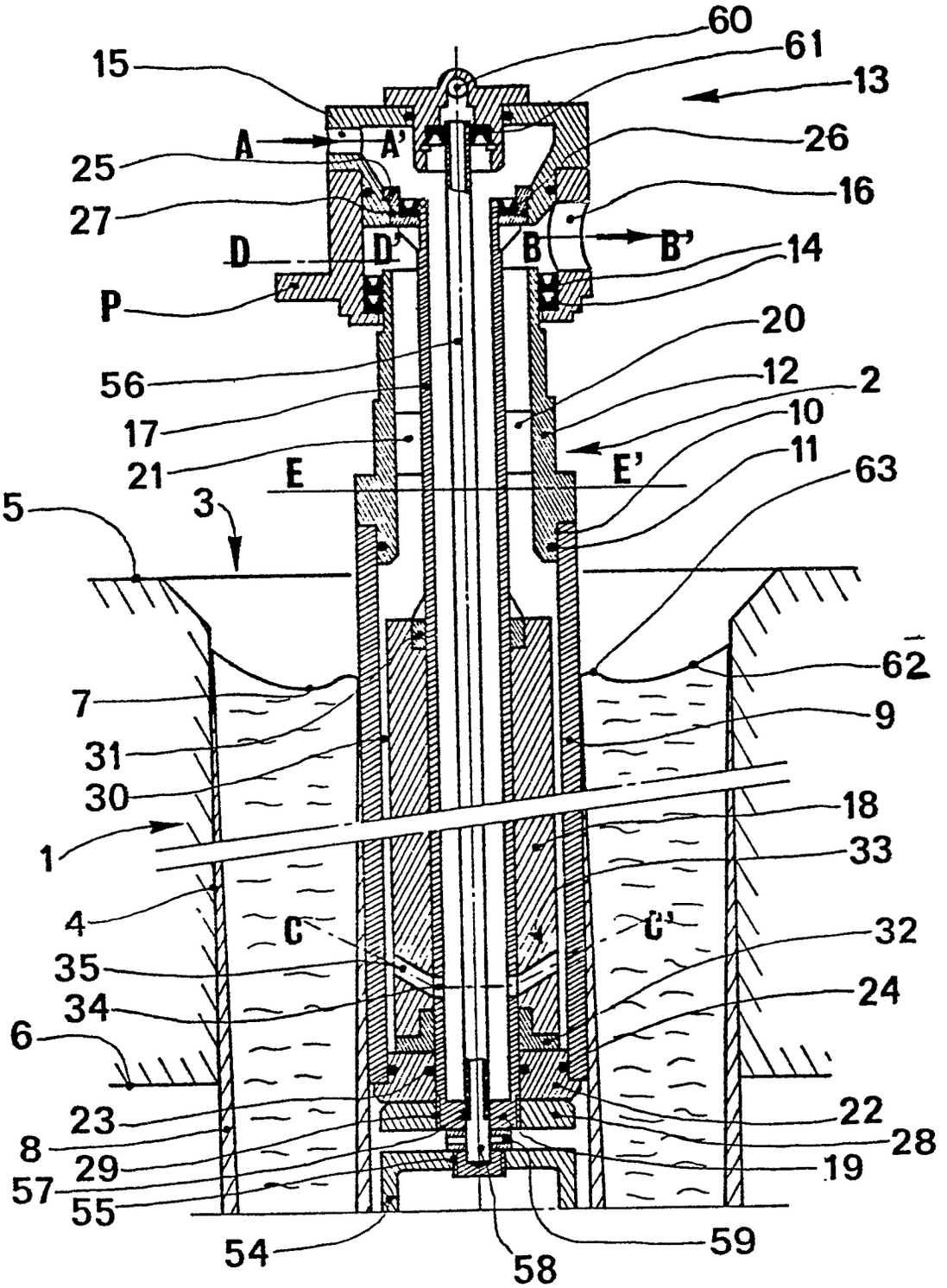

60
61
15
13
A
A'
26
25
16
27
D
D'
B
B'
14
P
20
56
12
2
17
10
21
E
E'
11
63
5
3
62
7
9
31
30
18
1
33
4
C
C'
32
35
24
34
6
22
23
28
8
29
19
57
55
54
58
59

FIG.1

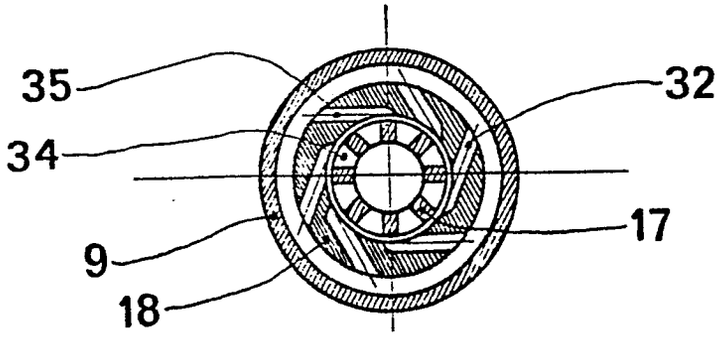

35
32
34
17
9
18

FIG.2

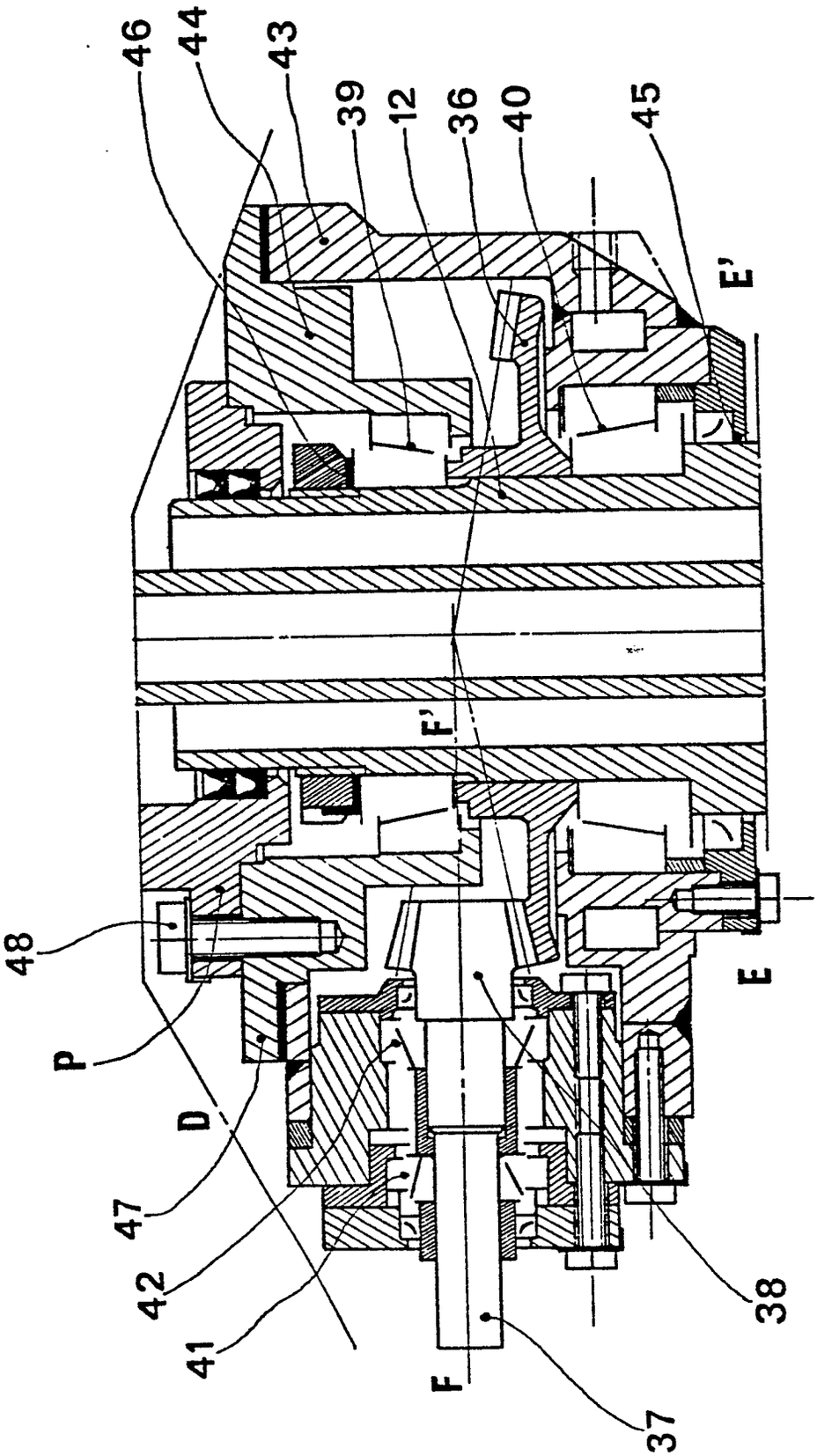
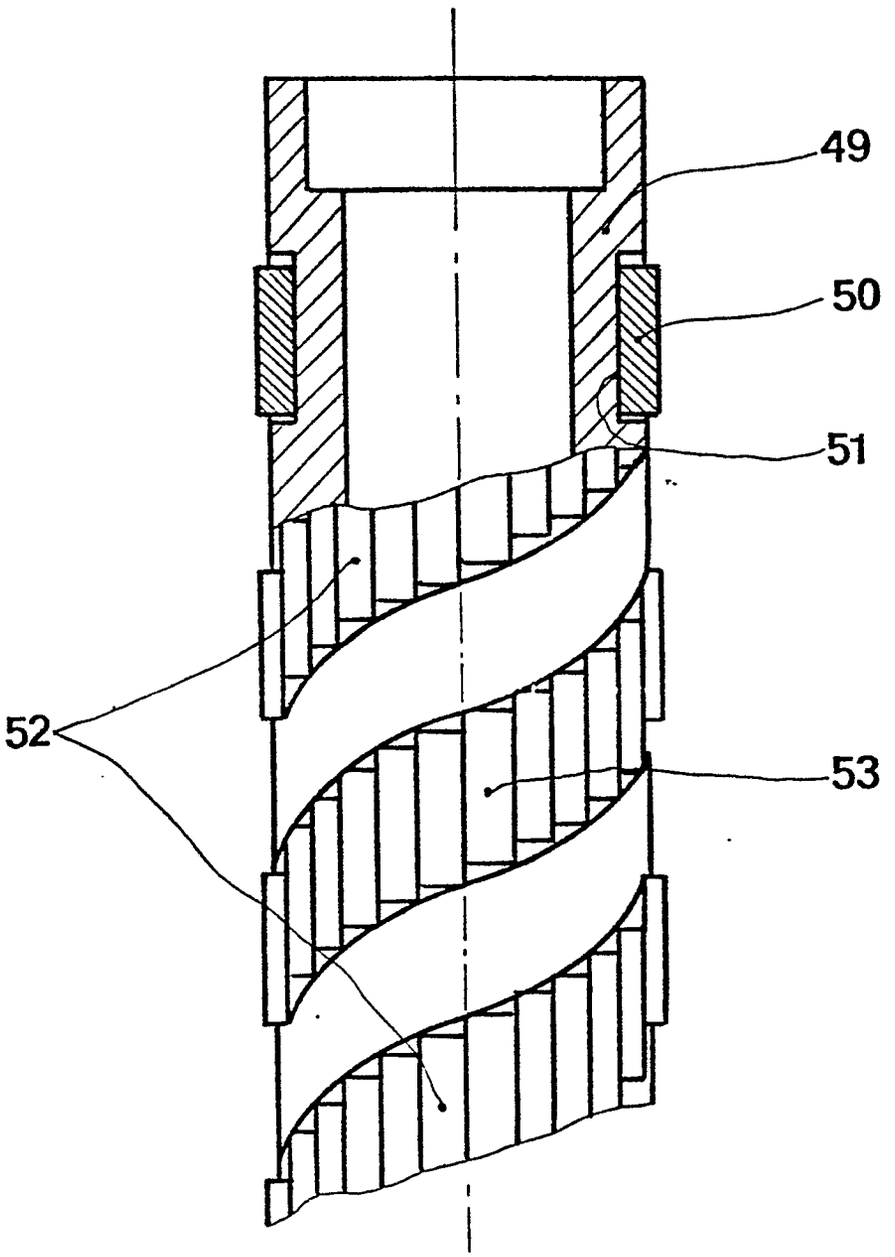


FIG.3

FIG.4



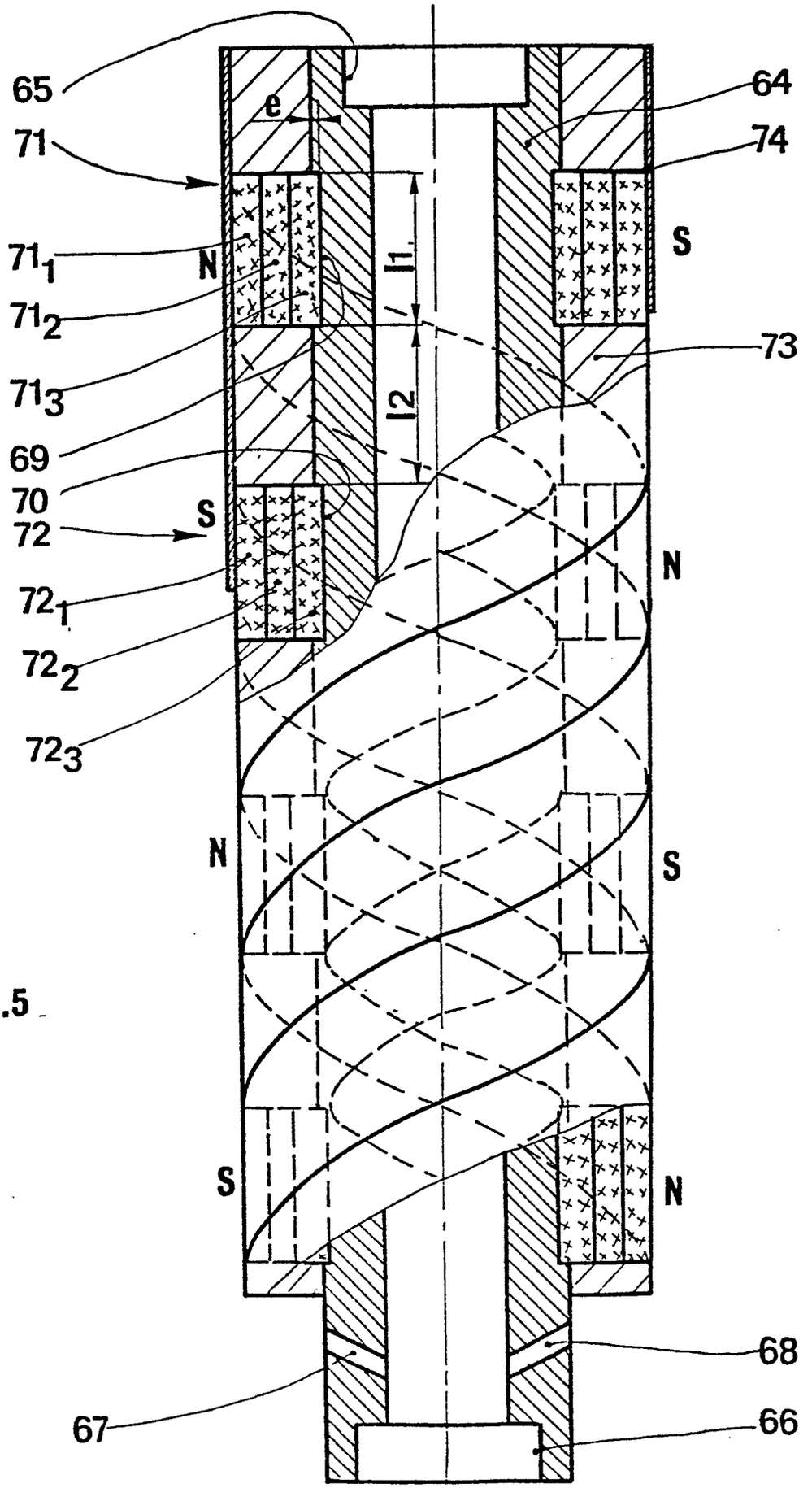


FIG.5

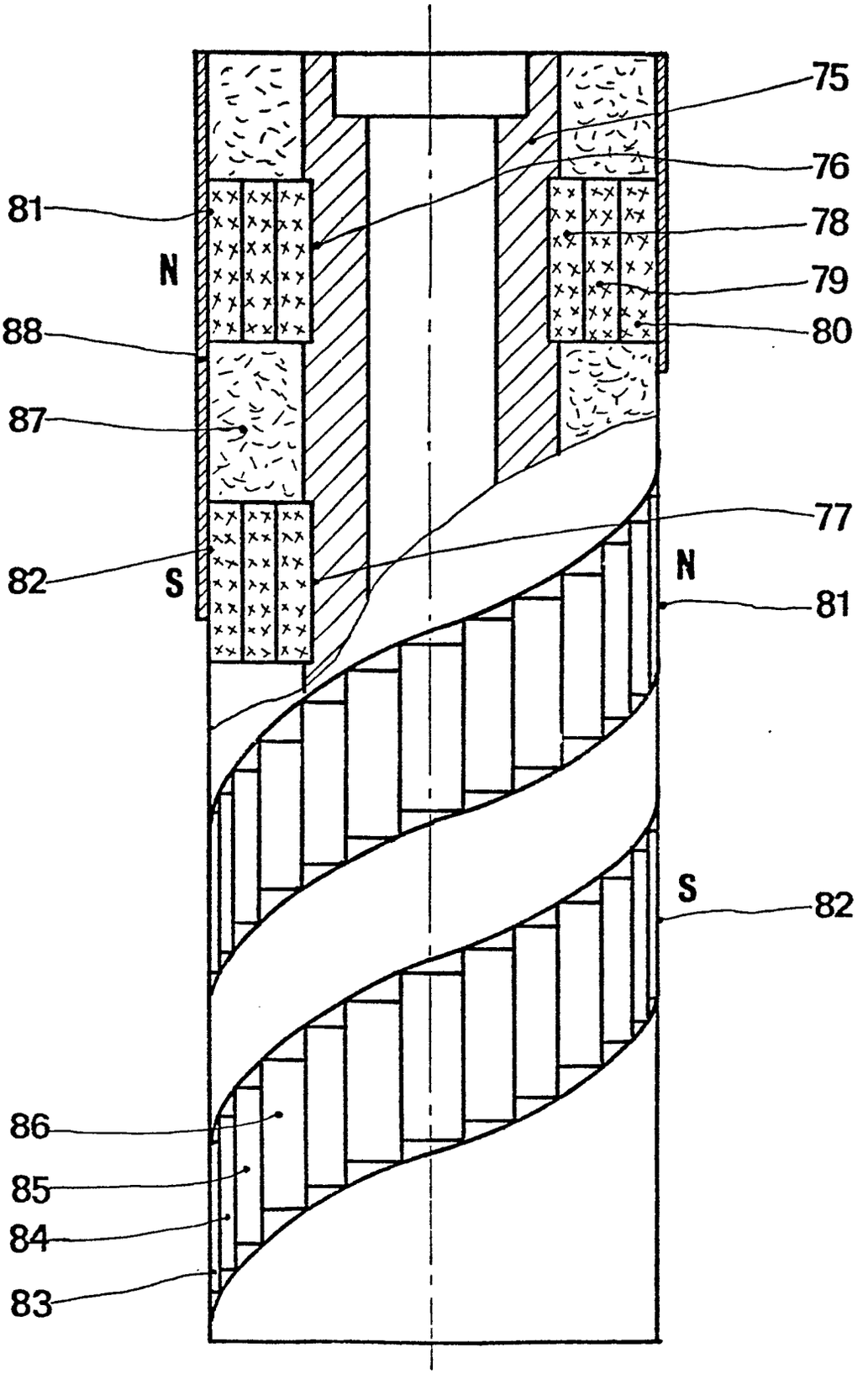


FIG.6