

⑫

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

⑪ Numéro de dépôt: **87870041.8**

⑤① Int. Cl.4: **B 22 D 11/10**
B 22 D 41/08

⑫② Date de dépôt: **01.04.87**

③⑩ Priorité: **02.04.86 BE 6048215**
08.08.86 BE 6048253
17.12.86 BE 6048278

④③ Date de publication de la demande:
07.10.87 Bulletin 87/41

⑥④ Etats contractants désignés:
AT DE ES FR GB IT LU NL SE

⑦① Demandeur: **CENTRE DE RECHERCHES**
METALLURGIQUES CENTRUM VOOR RESEARCH IN DE
METALLURGIE Association sans but lucratif
Vereniging zonder winstoogmerk Rue Montoyer, 47
B-1040 Bruxelles (BE)

⑦② Inventeur: **Wilmotte, Stéphan**
54, rue de la Loignerie
B-4930 Chaudfontaine (BE)

D'Haeyer, Raymond
2, rue des Forgerons
B-4511 Barchon (BE)

Francois, Hubert
148, rue de Cimetiere
B-4300 ANS (BE)

⑦④ Mandataire: **Pirmolin, Guy Jean**
CENTRE DE RECHERCHES METALLURGIQUES Abbaye
du Val Benoît 11, rue Ernest Solvay
B-4000 Liege (BE)

⑤④ **Dispositif pour la coulée de l'acier.**

⑤⑦ Dispositif de type busette pour la coulée de l'acier qui comporte un corps (2) dans lequel est ménagé un canal (D1, D6) de coulée de l'acier liquide, des moyens (3,6) de refroidissement pour assurer le refroidissement du corps (2), ainsi que des moyens (3) de brassage pour créer une agitation au sein de l'acier liquide se trouvant dans le canal (D1, D6). Le canal présente un tronçon final dont la section est constante et égale à la section de sortie, un tronçon initial dont la section est constante et supérieure à la section de sortie, et un tronçon intermédiaire reliant le tronçon initial et le tronçon final et dont la section varie de façon continue depuis la section du tronçon initial jusqu'à la section du tronçon final.

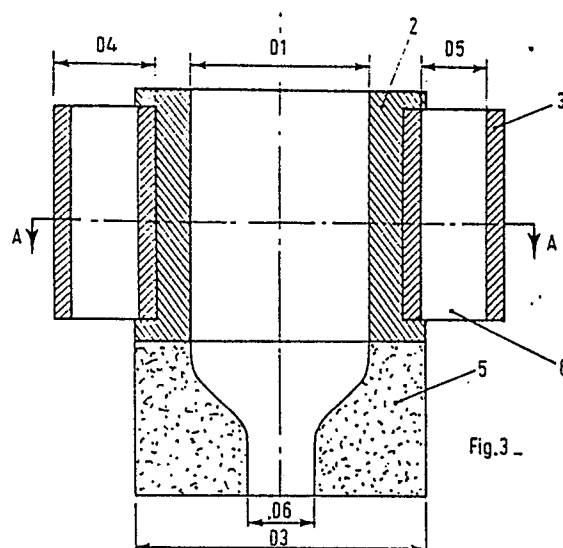


Fig. 3

Description

Dispositif pour la coulée de l'acier.

La présente invention concerne un dispositif pour la coulée, en particulier pour la coulée continue de l'acier.

Dans la description qui va suivre, on a utilisé l'expression coulée en lingotière. Bien qu'il soit ainsi fait spécialement référence à la coulée continue de l'acier, il doit être bien entendu qu'il ne s'agit là que d'une application particulière, choisie en raison de l'importance que présente actuellement cette technique de coulée. Il va de soi que l'invention est également applicable avec intérêt aux procédés de coulée plus classiques, tels que la coulée en lingotière ou en moules.

Actuellement, l'acier liquide destiné à la coulée est contenu dans un récipient tel qu'une poche à acier ou un panier répartiteur à partir duquel il est coulé dans la lingotière à travers un orifice situé généralement dans le fond du récipient. Cet orifice est normalement pourvu d'un dispositif d'obturation permettant de modifier le débit d'acier et éventuellement d'interrompre la coulée. Habituellement, l'orifice de coulée est constitué par une pièce de forme généralement tubulaire, appelée busette; cette pièce tubulaire, ainsi que le dispositif d'obturation qui lui est associé, sont généralement réalisés en un matériau réfractaire, afin éviter tout refroidissement de l'acier qui vient en contact avec eux.

Dans son brevet belge n° 903.805, le présent Demandeur a proposé un procédé de coulée de l'acier en phase pâteuse, notamment afin d'augmenter la vitesse de coulée continue de l'acier sans accroître le risque de percées.

La présente invention propose un procédé permettant de réaliser cette phase pâteuse pendant la coulée de l'acier.

A cet effet, le procédé de la présente invention, dans lequel on coule l'acier à travers une busette, est essentiellement caractérisé en ce que l'on provoque une solidification partielle des couches périphériques de l'acier en contact avec les parois de la busette, et en ce que l'on crée au sein de l'acier se trouvant dans la busette une agitation suffisante pour mettre en suspension dans l'acier liquide des particules d'acier provenant des couches périphériques en cours de solidification.

Selon une mise en oeuvre intéressante de l'invention, l'acier présente une surchauffe faible, c'est-à-dire inférieure à 30°C, avant de pénétrer dans la busette.

La limitation de la surchauffe de l'acier permet de réduire la durée et l'intensité du refroidissement requis pour provoquer la solidification partielle désirée.

Egalement selon l'invention, on provoque ladite solidification partielle en réalisant un refroidissement intense des parois de la busette.

Selon une autre particularité de l'invention, on crée l'agitation dans l'acier au moyen d'un champ électromagnétique tournant.

Un tel champ électromagnétique peut être établi au moyen de bobines judicieusement disposées

autour de la veine d'acier. Le champ électromagnétique tournant induit dans l'acier des forces qui créent l'agitation et conduisent à l'apparition de contraintes de cisaillement, lesquelles donnent lieu à des vitesses de déformation élevées en particulier dans la zone en cours de solidification.

Sous l'effet de ce champ tournant, l'acier liquide est entraîné en un mouvement de rotation qui arrache des particules solidifiées de la couche périphérique et les maintient en suspension.

Ce mouvement de rotation de l'acier dans la busette peut encore être accentué, conformément à l'invention, si l'on injecte un gaz inerte dans l'acier au voisinage de l'entrée de l'acier dans la busette. Il se forme ainsi, à l'entrée de la busette, une poche de gaz qui provoque la formation d'un vortex au sein de l'acier liquide.

En outre, cette poche de gaz se prolonge dans la busette proprement dite. L'acier s'écoulant à travers la busette est ainsi appliqué contre la paroi intérieure, refroidie, du canal de coulée, ce qui favorise le refroidissement de ses couches périphériques.

L'action combinée du refroidissement périphérique et du cisaillement provoque ainsi l'apparition d'une phase pâteuse qui conserve une bonne fluidité et qui ne perturbe dès lors pas l'écoulement de l'acier par la busette.

Selon l'invention, on peut régler la proportion de la fraction solide qui se trouve ainsi mise en suspension dans l'acier liquide, en faisant varier l'intensité du refroidissement et la viscosité du mélange en modifiant au moins un des paramètres du champ tournant, par exemple sa fréquence ou son intensité, et/ou le débit dudit gaz inerte. Le sens de rotation du vortex provoqué par ledit gaz inerte est de préférence le même que le sens de la rotation imprimée par le champ tournant.

La présente invention a également pour objet de proposer une busette de coulée qui, grâce à sa configuration et à sa constitution particulières, permet de créer des conditions qui conduisent à l'apparition d'une phase pâteuse dans l'acier, au cours de son trajet entre la poche ou le panier de coulée d'une part et la lingotière d'autre part.

A cet effet, le dispositif de coulée, du type busette, qui fait l'objet de la présente invention est caractérisé en ce qu'il comporte un corps dans lequel est ménagé un canal de coulée de l'acier liquide, des premiers moyens de refroidissement pour assurer le refroidissement dudit corps ainsi que des seconds moyens de brassage pour créer une agitation au sein de l'acier liquide se trouvant dans ledit canal.

Selon une réalisation particulière de ce dispositif, les sections d'entrée et de sortie dudit canal sont de dimensions différentes, ladite section de sortie étant apte à assurer le débit d'acier visé compte tenu de la hauteur de la charge d'acier liquide au-dessus de cette section.

En outre, ledit canal peut comporter au moins deux tronçons de sections de passage différentes

et, sur au moins une partie de sa longueur, présenter une section de passage supérieure à ladite section de sortie.

Selon un autre mode de réalisation d'une busette conforme à l'invention, ledit canal présente un tronçon final de faible longueur, dont la section est constante et égale à ladite section de sortie, un tronçon initial dont la section est constante et supérieure à ladite section de sortie, et un tronçon intermédiaire reliant le tronçon initial et le tronçon final et dont la section varie de façon continue depuis la section du tronçon initial jusqu'à la section du tronçon final.

Selon une caractéristique supplémentaire de l'invention, l'élément dans lequel est ménagé ledit canal est avantageusement constitué de deux parties, une partie, dite corps de la busette présentant le tronçon initial dudit canal, et l'autre partie, dite tête de la busette, présentant le tronçon intermédiaire et le tronçon final dudit canal.

Il ne sortirait évidemment pas du cadre de la présente invention de réaliser l'une et/ou l'autre de ces parties elles-mêmes en plusieurs pièces présentant chacune une portion de canal de section, constante ou non, appropriée à la position de ladite pièce dans la partie concernée dudit élément.

Selon encore une autre caractéristique supplémentaire, la surface intérieure de la busette porte des nervures inclinées, de faible longueur, disposées de préférence au voisinage de l'entrée dudit canal.

Ces tronçons de nervures sont avantageusement des fragments de nervures hélicoïdales.

Il s'est également avéré avantageux d'incliner ces tronçons de nervures dans le sens du vortex provoqué par le gaz, comme cela est décrit plus haut.

D'autres particularités et avantages de la présente invention apparaîtront à la lecture de la description qui suit, donnée à titre d'exemple de réalisations préférées et se référant aux dessins annexés, dans lesquels la

Figure 1 montre une vue en plan, en coupe transversale, d'une busette de coulée continue d'acier permettant la mise en oeuvre du procédé de l'invention; la

Figure 2 représente un double diagramme donnant la distribution de la vitesse tangentielle V_t de l'acier liquide et de la vitesse de déformation V_d , le long d'un rayon de la veine d'acier dans la busette de la figure 1; la

Figure 3 est une vue d'une busette conforme à l'invention, en coupe longitudinale suivant la ligne B-B de la figure 4; la

Figure 4 est une vue de cette même busette, en coupe transversale suivant la ligne A-A de la figure 3; et la

Figure 5 est un diagramme montrant l'évolution de la vitesse de cisaillement V_c au sein de l'acier en fonction du rayon intérieur du corps de la busette des figures 3 et 4.

Faisant à présent référence à la figure 1, on a représenté en 1 le canal de rayon r par lequel la veine d'acier s'écoule à travers la busette 2. Le repère numérique 3 désigne les conducteurs groupés par

paires (1 +, 1 -; 2 +, 2 -; 3 +, 3 -) pour constituer trois inducteurs raccordés aux trois phases d'une source de courant triphasé non représentée. L'ensemble est solidarisé par une enveloppe 4.

La veine d'acier s'écoule par le canal 1 perpendiculairement au plan du dessin, dans la direction indiquée par la flèche figurée au centre. La busette 2 est constituée d'un matériau qui est à la fois bon conducteur de la chaleur, pour faciliter le refroidissement de l'acier, et électriquement isolant, afin de ne pas perturber le champ électromagnétique. A cet effet, on peut par exemple utiliser un matériau à base de nitrure de bore, de nitrure de silicium ou de carbure de silicium.

Les conducteurs 3 sont constitués par des tubes en un matériau bon conducteur de la chaleur et de l'électricité, par exemple en cuivre. Ils pénètrent dans l'épaisseur de la paroi de la busette et ils sont parcourus par de l'eau; ils assurent à la fois le refroidissement intense de la busette 2 et l'application du champ électromagnétique. Enfin, l'enveloppe extérieure 4 est de préférence réalisée en un matériau non conducteur de l'électricité.

Dans une variante avantageuse, on peut faire circuler un agent de refroidissement, de préférence gazeux, dans les canaux compris entre l'enveloppe extérieure 4, les conducteurs 3 et la busette 2.

Dans un exemple de mise en oeuvre, on a utilisé une busette en nitrure de bore présentant un rayon intérieur r de 10 mm, tandis que le rayon R de la circonférence tangente aux conducteurs 3 valait 15 mm.

Avec une intensité de courant électrique de 620 A par phase et une fréquence de 5000 Hz dans les inducteurs, l'intensité de l'induction au niveau des inducteurs était de 20 mT et la densité de courant à la périphérie de la veine d'acier s'élevait à $12,5 \cdot 10^6$ A/m².

La veine d'acier a été mise en rotation avec une vitesse tangentielle V_t croissante le long du rayon r , suivant la répartition représentée dans la figure 2 (ordonnées - axe de gauche). On voit que la vitesse tangentielle passe par un maximum au voisinage de la paroi de la busette. Cette zone est donc le siège de l'agitation la plus forte, ce qui permet d'en arracher des particules déjà solidifiées sous l'effet du refroidissement extérieur.

Cette même figure 2 montre également (ordonnées - axe de droite) l'évolution de la vitesse de déformation V_d dans l'acier le long du rayon r . Cette vitesse de déformation croît d'abord très faiblement à partir du centre, puis très brusquement dans la zone en cours de solidification. Cette croissance de la vitesse de déformation provoque la désagrégation de la couche solidifiée au fur et à mesure de sa formation.

Dans les figures 1 et 3, les busettes sont représentées dans leur position normale de coulée, c'est-à-dire avec l'acier liquide circulant de haut en bas, et dans les figures 1, 3 et 4, les mêmes constituants sont désignés par les mêmes repères numériques.

La busette représentée schématiquement dans la figure 3 se compose d'un corps de busette 2 et d'une tête de busette 5 qui se succèdent sans

interruption dans le sens de l'écoulement de l'acier liquide. Ces deux parties sont fixées l'une à l'autre par des moyens non représentés.

Dans le corps de la busette 2 est ménagé un tronçon initial de diamètre D_1 , du canal de coulée, tandis que la tête de la busette 5 est pourvue du tronçon final, de diamètre D_6 , et du tronçon intermédiaire, d'un diamètre décroissant de D_1 à D_6 , dudit canal de coulée.

Des conducteurs électriques tubulaires 3 sont répartis sur la périphérie du corps de busette 2; ils sont refroidis par une circulation d'eau 6. Ces conducteurs 3 sont en outre raccordés à une source de courant alternatif, non représentée. L'enveloppe extérieure 4 (figure 1) n'est pas représentée ici. Ces conducteurs 3 sont destinés d'une part à brasser par induction l'acier présent dans le tronçon initial du canal de coulée et d'autre part à provoquer, par refroidissement, un début de solidification de cet acier, en particulier dans les zones proches de la paroi du canal de coulée.

Pour accentuer ces deux effets, le canal de coulée présente dans son tronçon initial un diamètre D_1 supérieur au diamètre D_6 de la section de sortie, ce dernier étant déterminé de façon à assurer le débit d'acier désiré, compte tenu de la hauteur de la charge d'acier liquide au-dessus de la section de sortie.

Dans ces conditions, la vitesse axiale d'écoulement de l'acier dans le tronçon initial est plus faible que dans la section de sortie; la durée de séjour de l'acier dans le tronçon initial est ainsi accrue, et l'acier y est soumis pendant une durée plus longue à la double action de refroidissement et de brassage exercée par les conducteurs 3. Par conséquent, la busette conforme à l'invention permet une accentuation d'une part de la solidification de l'acier sous l'action des conducteurs 3 refroidis et d'autre part du mouvement de rotation de l'acier provoqué par le champ électrique tournant appliqué par les conducteurs 3.

La figure 4 montre la répartition périphérique des conducteurs 3 autour du corps de busette 2, ainsi que leur pénétration dans l'épaisseur de ce corps de busette 2.

Selon l'invention, le corps de busette 2 et la tête de busette 5 sont avantageusement réalisés en des matériaux réfractaires différents adaptés aux fonctions respectives de ces deux parties.

Le corps de busette est réalisé en un matériau qui est bon conducteur de la chaleur et mauvais conducteur de l'électricité, afin d'assurer aussi bien le refroidissement de l'acier que l'isolation électrique des conducteurs 3. A cet effet, on utilise par exemple une céramique à base de nitrure de bore, de nitrure de silicium ou de carbure de silicium.

Pour la tête de la busette 5, on utilisera de préférence un matériau présentant une résistance élevée à l'érosion, en particulier de l'oxyde de zirconium.

Comme on l'a indiqué plus haut, la section de sortie de la tête de busette 5, ou son diamètre (D_6 dans les figures 3 et 4) est déterminé de façon à assurer le débit d'acier, c'est-à-dire la vitesse de coulée désirée (en t/h par exemple), compte tenu de

la hauteur de la charge d'acier liquide au-dessus de cette section. Une assimilation entre la section et le diamètre du canal de coulée se justifie par le fait que ce canal présente habituellement une section circulaire.

Les essais du demandeur ont en outre montré que le diamètre du tronçon initial du canal de coulée, soit D_1 devait avantageusement être compris entre deux fois et cinq fois le diamètre de la section de sortie D_6 .

La limite inférieure ($D_1 = 2 D_6$) résulte de la nécessité d'abaisser suffisamment la vitesse axiale de l'acier dans ce tronçon pour assurer le refroidissement et le brassage requis.

La limite supérieure ($D_1 = 5 D_6$) est fixée par la limitation de l'encombrement de la busette et des conducteurs, ainsi que de la puissance du système d'induction.

Par ailleurs, le tronçon final du canal de coulée aura une longueur axiale comprise entre une fois et trois fois le diamètre de la section de sortie D_6 .

Une longueur au moins égale au diamètre est nécessaire pour annuler la composante tangentielle de la vitesse d'écoulement de l'acier. Au-delà de trois fois ce diamètre, un accroissement de cette longueur n'apporte plus d'amélioration à cet égard, il ne se traduit en fait que par une augmentation inutile du prix de la tête de la busette.

Exemple.

On a réalisé une busette conforme à l'invention, dont le corps était constitué d'une céramique composée de nitrure de bore et de nitrure de silicium, et dont la tête était en oxyde de zirconium. Les conducteurs 3 étaient des tubes de cuivre parcourus par de l'eau circulant à grande vitesse.

Les différents diamètres indiqués dans les figures 3 et 4 avaient les valeurs suivantes :

$D_1 = 54 \text{ mm}$ $D_4 = 32 \text{ mm}$

$D_2 = 74 \text{ mm}$ $D_5 = 20 \text{ mm}$

$D_3 = 88 \text{ mm}$ $D_6 = 20 \text{ mm}$.

L'acier avait une teneur en carbone de 0,7 % et il présentait à l'entrée de la busette, une surchauffe de 25°C. Le débit d'acier à assurer s'élevait à 20 t/h. L'inducteur triphasé à une paire de pôles était alimenté en courant ayant une fréquence de 3000 Hz et une intensité par phase de 1550 A. L'induction magnétique au niveau de l'inducteur était de 20 mT.

Dans le tronçon initial du canal de coulée, c'est-à-dire dans le corps de busette 2, l'acier avait une vitesse axiale de 0,25 m/s et une vitesse tangentielle de 1,5 m/s. La vitesse résultante élevée, soit 1,52 m/s, conduisait à un coefficient d'échange élevé entre le corps de busette et l'acier liquide, soit environ 20 kW/m² °C. Il en résultait la possibilité d'évacuer un flux de chaleur de 0,56 kW/m.

Dans ces conditions, un tronçon initial d'une longueur de 0,59 m permettait d'atteindre 14 % d'acier solidifié à la sortie de la busette, tandis que ce volume passait à 20 % pour une longueur de 0,75 m.

La figure 5 montre l'évolution de la vitesse de cisaillement V_c de l'acier le long d'un rayon r d'une section quelconque du tronçon initial du canal de coulée (diamètre : $D_1 = 54 \text{ mm}$), dans les condi-

tions précitées de coulée et de brassage.

Cette vitesse augmente rapidement et fortement au voisinage de la paroi refroidie du canal, c'est-à-dire dans la zone où le refroidissement de l'acier est le plus prononcé. Elle traduit la désagrégation de la couche d'acier solidifiée, qui conserve ainsi une fluidité suffisante pour la coulée.

Revendications

1. Dispositif de type busette pour la coulée de l'acier, caractérisé en ce qu'il comporte un corps (2) dans lequel est ménagé un canal (1) de coulée de l'acier liquide, des premiers moyens (3) de refroidissement pour assurer le refroidissement dudit corps, ainsi que des seconds moyens (1 +, 1 -; 2 +, 2 -; 3 +, 3 -) de brassage pour créer une agitation au sein de l'acier liquide se trouvant dans ledit canal.

2. Dispositif suivant la revendication 1, caractérisé en ce que les moyens de brassage comprennent au moins un inducteur permettant de créer un champ électromagnétique tournant.

3. Dispositif suivant l'une ou l'autre des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que lesdits moyens de refroidissement et lesdits moyens de brassage sont simultanément constitués par une pluralité de tubes en un matériau bon conducteur de la chaleur et de l'électricité, en ce que ces tubes constituent au moins un inducteur permettant de créer un champ électromagnétique tournant, en ce que ces tubes pénètrent dans l'épaisseur de la paroi de la busette et en ce qu'ils sont parcourus par un agent de refroidissement.

4. Dispositif suivant l'une ou l'autre des revendications 1 à 3, caractérisé en ce qu'il comporte des moyens pour injecter un gaz inerte dans l'acier au voisinage de l'entrée dudit acier dans la busette.

5. Dispositif suivant l'une ou l'autre des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que les sections d'entrée et de sortie dudit canal sont de dimensions différentes, ladite section de sortie étant apte à assurer le débit d'acier visé compte tenu de la hauteur de la charge d'acier liquide au-dessus de cette section, en ce que ledit canal comporte au moins deux tronçons de sections de passage différentes et en ce que sur au moins une partie de sa longueur, ledit canal présente une section de passage supérieure à ladite section de sortie.

6. Dispositif suivant l'une des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que ledit canal présente un tronçon final dont la section est constante et égale à ladite section de sortie, un tronçon initial dont la section est constante et supérieure à ladite section de sortie, et un tronçon intermédiaire reliant le tronçon initial et le tronçon final et dont la section varie de façon continue depuis la section du tronçon initial jusqu'à la section du tronçon final.

7. Dispositif suivant l'une ou l'autre des

revendications 1 à 6, caractérisé en ce qu'il est constitué de deux parties, une partie dite corps de la busette, présentant le tronçon initial dudit canal, et l'autre partie, dite tête de la busette, présentant le tronçon intermédiaire et le tronçon final dudit canal.

8. Dispositif suivant l'une ou l'autre des revendications 6 et 7, caractérisé en ce que lesdits tronçons initial et final présentent une section circulaire et en ce que le diamètre du tronçon initial est compris entre deux et cinq fois le diamètre du tronçon final.

9. Dispositif suivant l'une ou l'autre des revendications 1 à 8, caractérisé en ce qu'il présente, au moins dans la région d'entrée dudit canal, des nervures inclinées de faible longueur formées dans la surface intérieure dudit canal.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

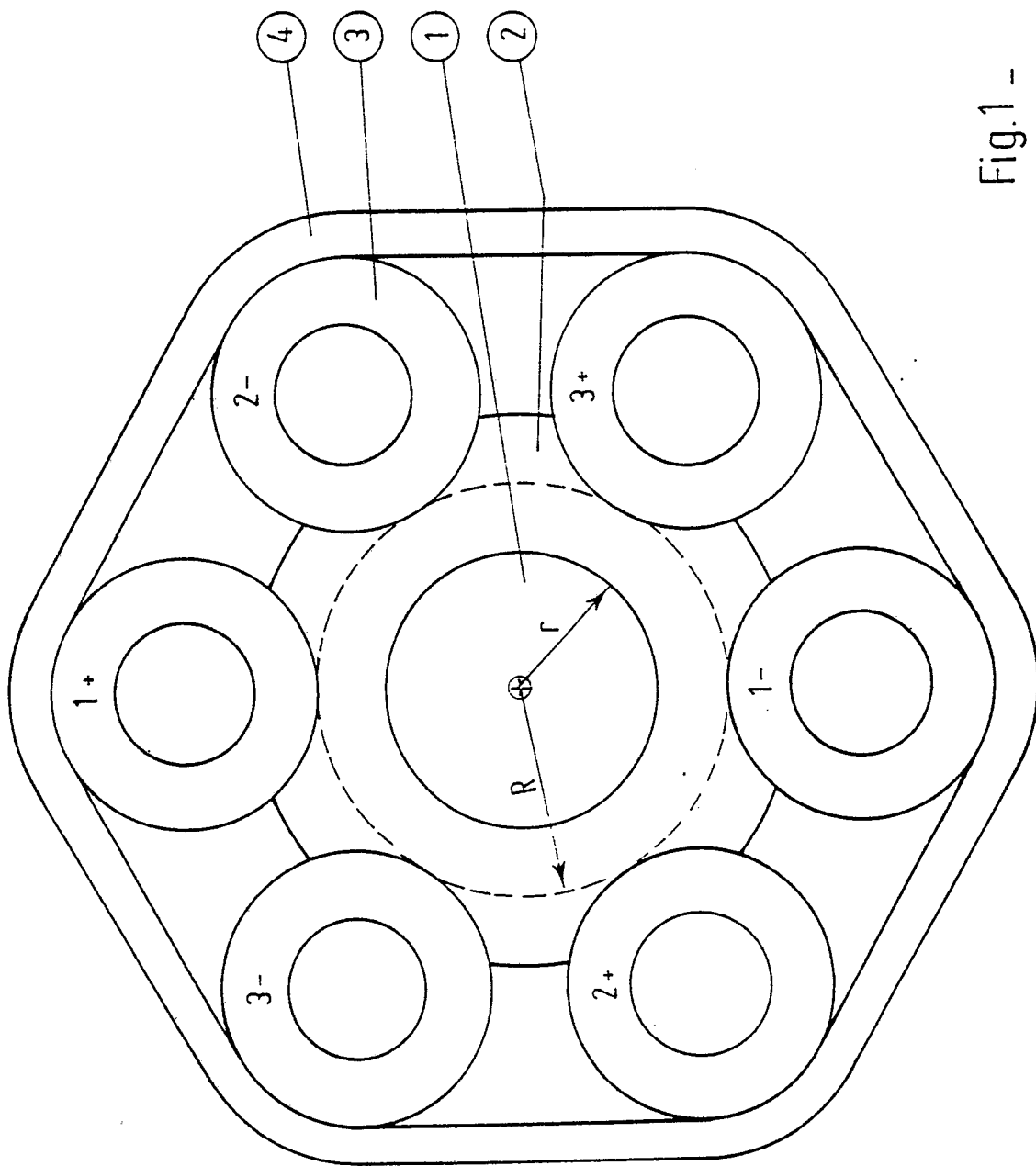
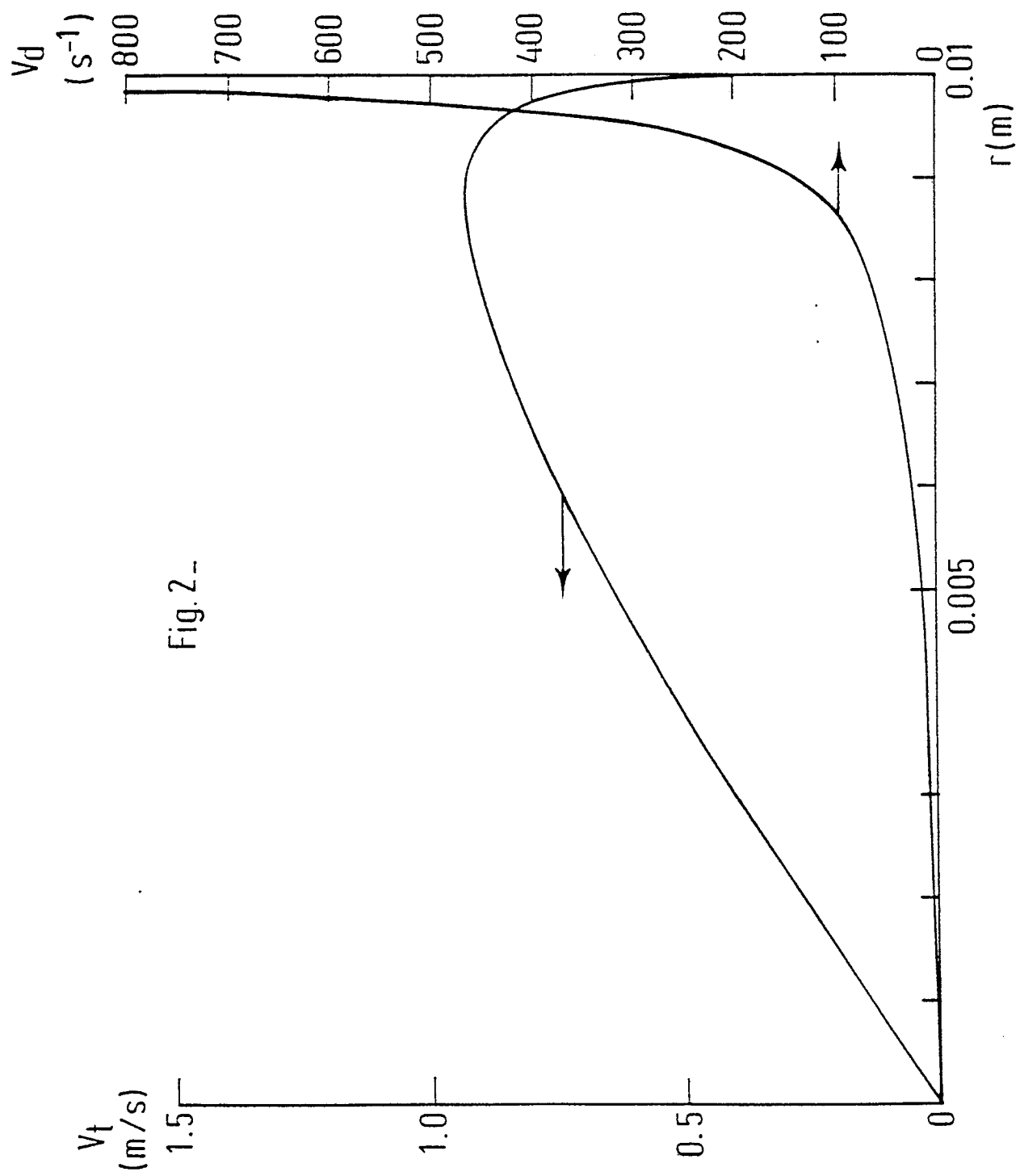


Fig.1 -



0240482

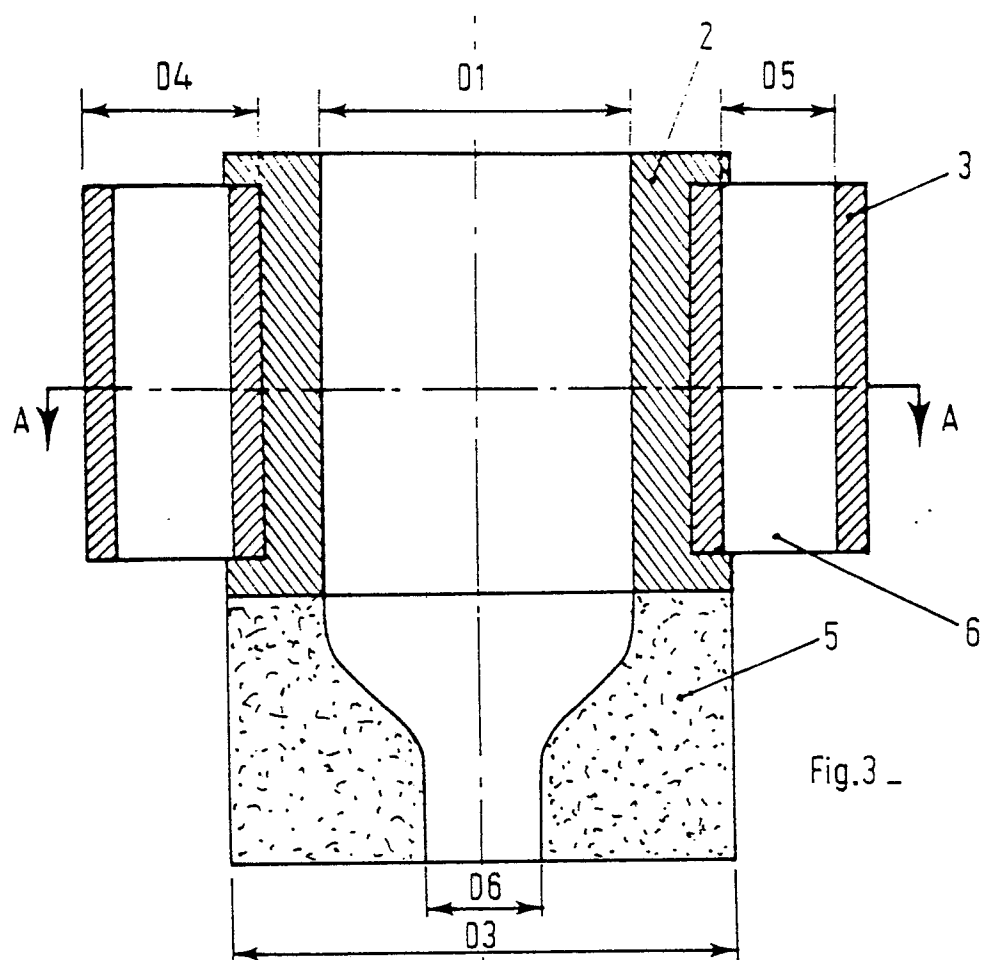


Fig.3 _

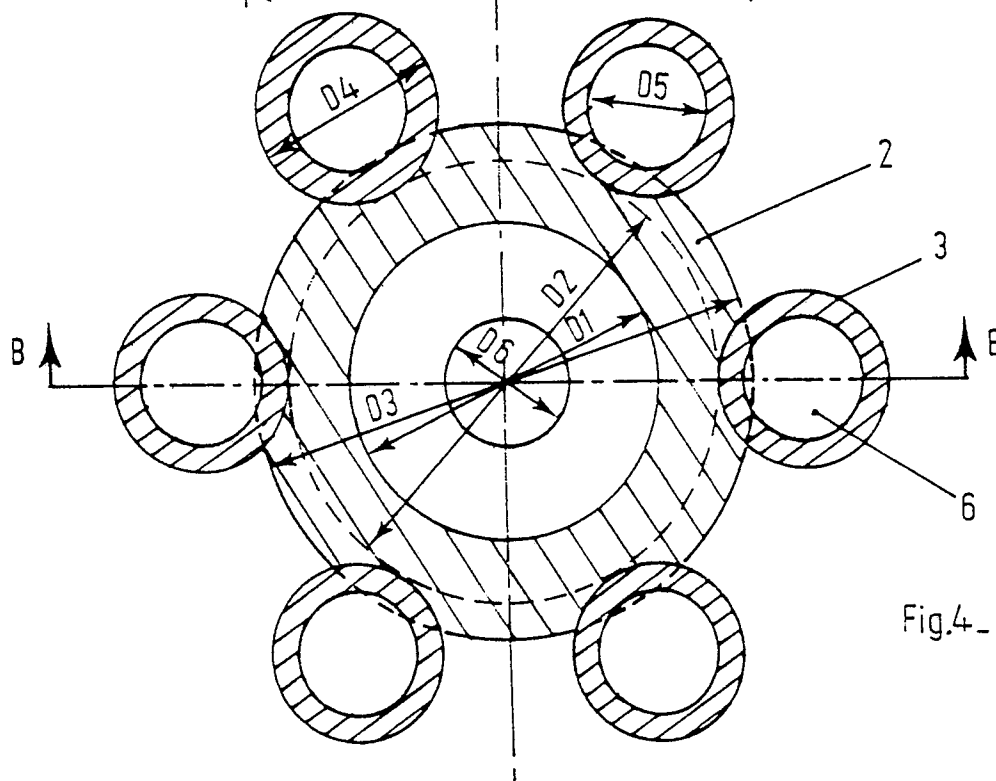


Fig.4 _

0240482

$V_C(s^{-1})$

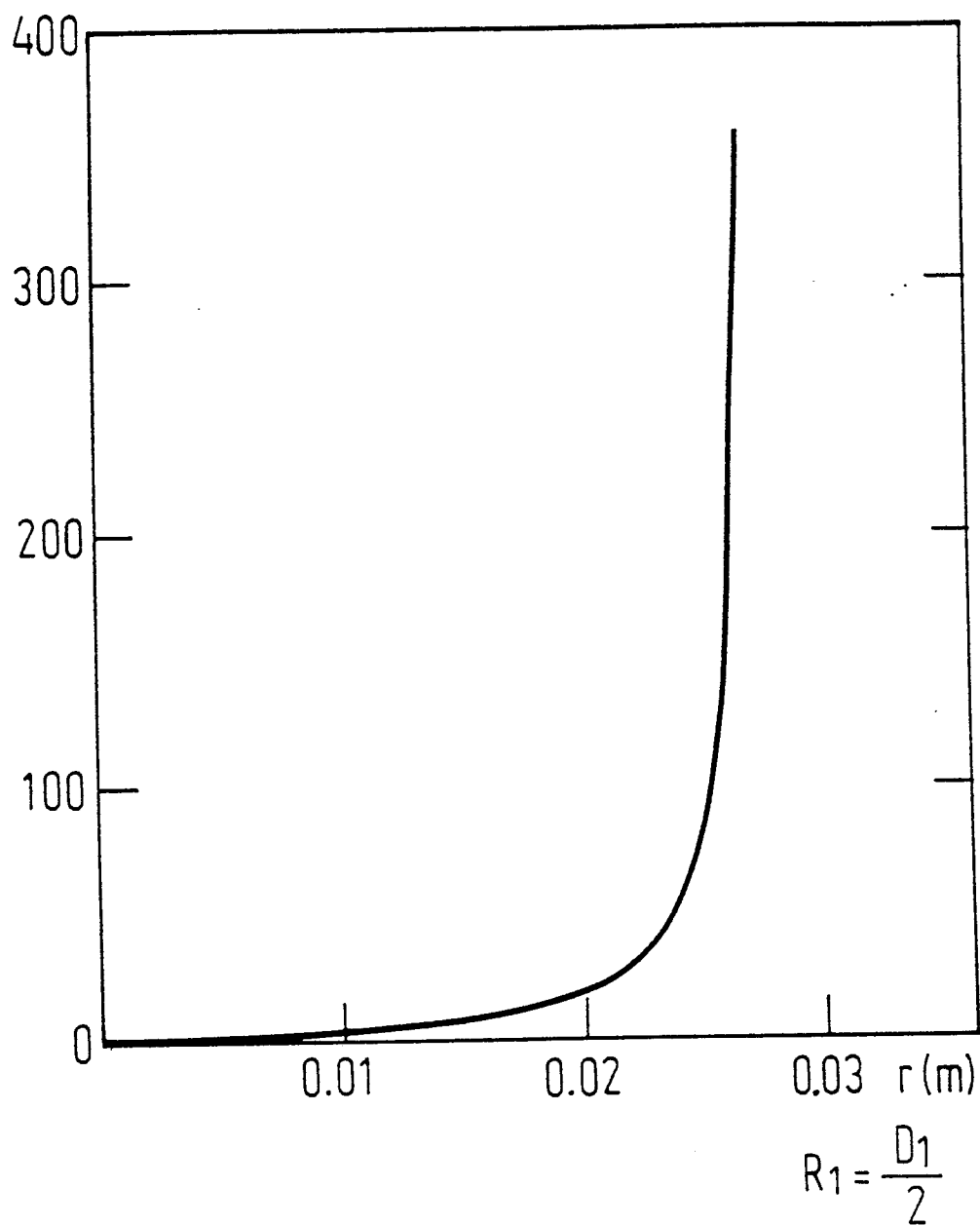


Fig.5 -