



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



⑪ Numéro de publication: **0 542 021 A1**

⑫

## DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

⑬ Numéro de dépôt: **92118298.6**

⑮ Int. Cl. 5: **B22D 11/10, B22D 11/12**

⑯ Date de dépôt: **26.10.92**

⑰ Priorité: **13.11.91 LU 9188034**

⑲ Date de publication de la demande:  
**19.05.93 Bulletin 93/20**

⑳ Etats contractants désignés:  
**AT BE CH DE ES FR GB IT LI**

⑷ Demandeur: **CENTREM S.A.**  
18, rue J.P. Brasseur  
L-1258 Luxembourg(LU)

⑵ Inventeur: **Metz, Paul**  
18, rue J.P. Brasseur  
L-1258 Luxembourg(LU)

⑷ Mandataire: **Freylinger, Ernest T.**  
Office de Brevets Ernest T. Freylinger 321,  
route d'Arlon Boîte Postale 48  
L-8001 Strassen (LU)

### ⑤ Procédé de brassage électromagnétique pour la coulée continue.

⑥ On présente un procédé de brassage électro-magnétique de métal en fusion pour une coulée continue. Les enroulements des inducteurs sont alimentés de façon à créer dans le métal en fusion (10) au moins une zone de mouvement rotatif primaire (14) qui est désaxée par rapport à l'axe central de coulée. Par une commutation cyclique des phases du courant polyphasé, on impose à cette zone de mouvement rotatif primaire (14) un mouvement giratoire secondaire (18) autour de l'axe central de coulée.

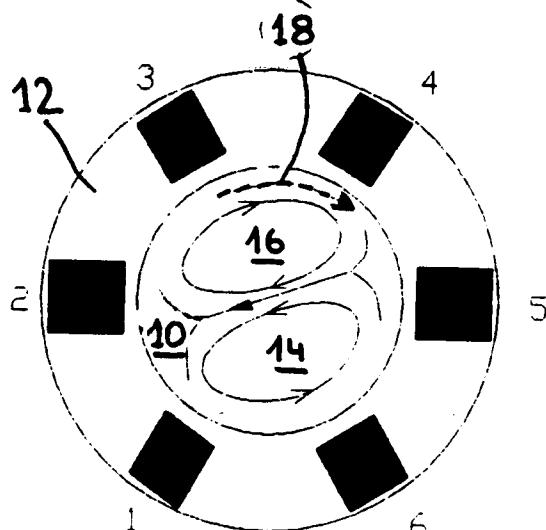


FIG. 2

La présente invention concerne un procédé de brassage de métal en fusion pour la coulée continue, selon lequel on induit dans un flux de métal, définissant un axe central de coulée, un champ d'induction électromagnétique mobile au moyen d'un ou de plusieurs inducteurs disposés autour du flux du métal et alimentés en courant polyphasé, ledit champ engendrant dans le métal en fusion au moins un mouvement transversal au flux de métal.

Il est bien connu d'effectuer un brassage électromagnétique en coulée continue afin d'obtenir une plus grande régularité du métal coulé, tant en ce qui concerne son état de surface que ses propriétés internes, telles que ségrégations et retassures.

C'est ainsi qu'il a été proposé de brasser le métal soit dans la lingotière elle-même, soit à différents endroits en-dessous de la lingotière. Le point d'emplacement exact des différents inducteurs réalisant le brassage est déterminé en fonction de la vitesse de coulée, de la section de coulée, ainsi que de la qualité du métal à traiter.

On connaît jusqu'à présent deux principaux types de brasseurs:

- a) le brasseur rotatif qui entoure d'une manière aussi symétrique que possible le métal coulé ou à couler et agit perpendiculairement au flux du métal; un tel brasseur est par exemple décrit dans le fascicule de brevet FR - A - 2 279 500;
- b) le brasseur linéaire directionnel qui agit le plus souvent parallèlement au flux du métal; un tel brasseur est par exemple décrit dans la revue allemande "Fachberichte Hüttenpraxis Metallverarbeitung", Vol.25, No. 7, 1987, p.676 - 681 "Electromagnetic Stirring using Voest - Alpine Pulsators on the Donawitz Continuous Bloom Caster". Ce dernier type de brasseur peut agir soit sur une seule surface du métal coulé, soit sur deux surfaces diamétralement opposées, soit même sur les quatre surfaces du métal. Il a aussi été proposé d'utiliser ce dernier type d'inducteur linéaire en lui imposant des pulsations destinées à engendrer un brassage supplémentaire du métal à traiter.

Le fascicule de brevet FR - A - 2 485 411 et le fascicule de brevet US - A - 4,867,786 proposent d'utiliser des inducteurs linéaires sur deux faces opposées du métal. Ces inducteurs sont alors divisés électriquement en unités inductrices élémentaires successives produisant des mouvements rotatifs juxtaposés, tournant à sens opposés deux à deux. Le procédé se rapporte essentiellement à des produits métalliques à section droite quadrangulaire allongée.

Il a aussi été proposé d'engendrer dans le métal à traiter au moyen de brasseurs rotatifs un mouvement hélicoïdal afin d'entraîner vers le haut des inclusions contenues dans le métal liquide. Un

tel procédé a par exemple été décrit dans le fascicule de brevet FR - A - 2 426 516. Ce procédé n'a toutefois pas trouvé d'application parce qu'il empêche une lubrification correcte de la lingotière.

Dans le fascicule de brevet DE - A - 3527387 on propose l'utilisation de deux champs magnétiques tournants, en travaillant avec des fréquences et amplitudes différentes. Le but recherché est de créer deux mouvements rotatifs coaxiaux différents qui sont caractérisés en ce que le mouvement extérieur a une vitesse de rotation plus faible que le mouvement intérieur. Il sera noté que l'axe de rotation des deux mouvements est confondu avec l'axe central de coulée. De même que le brassage rotatif classique, ce procédé a, entre autres, le désavantage de créer un mouvement similaire à un vortex au centre du mouvement intérieur, lorsqu'on veut intensifier les mouvements de brassage.

Le fascicule de brevet US - 4,877,079 propose de juxtaposer dans le flux de métal en fusion deux mouvements rotatifs de sens de rotation opposés, de façon à créer, à l'interface des deux mouvements, un flux de matière transversal à l'axe central de coulée. L'action combinée de ces mouvements se traduit en conséquence par un meilleur mouvement du bain au centre du flux de métal. Le principal inconvénient de ce procédé est l'orientation du mouvement selon une direction prépondérante, ce qui n'est certainement pas optimal du point de vue homogénéité de la structure du métal dans une section transversale.

On constate en conséquence que, s'il est vrai que les diverses techniques employées jusqu'à présent ont contribué à améliorer la structure interne et externe des produits coulés en continu, il n'en reste pas moins vrai que les différents types de brassage utilisés entraînent de nouveaux inconvénients non-négligeables. Ainsi il a par exemple été constaté que des brasseurs rotatifs et linéaires, utilisés aussi bien dans la lingotière elle-même, qu'en-dessous de la lingotière, peuvent à un certain moment entraîner dans le métal à traiter des mouvements favorisant la création de défauts, par exemple: la formation d'inclusions et de lignes blanches, ou la détérioration de la structure interne au niveau de la ségrégation centrale.

Le but de la présente invention est d'améliorer la qualité de la structure interne et externe des métaux coulés en continu en proposant un nouveau procédé de brassage particulièrement efficace.

Pour atteindre cet objectif la présente invention propose un procédé de brassage, tel que décrit dans le préambule, selon lequel le ou les inducteurs sont alimentés de façon à créer dans le métal en fusion au moins une zone de mouvement rotatif primaire qui est désaxée par rapport à l'axe central de coulée, et selon lequel on réalise une commutation cyclique des phases du courant po-

lyphasé de façon à imposer à ladite zone de mouvement rotatif primaire un mouvement giratoire secondaire autour de l'axe central de coulée.

Il a été trouvé qu'on obtenait de cette manière une excellente répartition des mouvements dans le flux de métal en cours de solidification. On évite entre autres un mouvement exclusif autour de l'axe de coulée, qui produit un mouvement de vortex entraînant des inclusions ou des poudres vers le centre. On évite de même un mouvement unidirectionnel passant par l'axe central de coulée, qui rend pratiquement impossible l'emploi de busettes immergées parce que celles-ci seraient soumises à une érosion trop importante. Il sera encore apprécié que la répartition des mouvements favorise un échange de matières entre les régions périphériques et la région centrale du flux de métal, sans pour autant favoriser une direction particulière. De cette façon on obtient, entre autres, une excellente homogénéité de la structure dans une section transversale.

On peut créer un seul mouvement circonscrit primaire désaxé par rapport à l'axe central de coulée du métal et le faire tourner autour de cet axe. Dans une variante de réalisation avantageuse on juxtapose deux zones de mouvement primaire à sens de rotation opposés, chacune de ces zones s'étendant de préférence du bord du flux de métal jusqu'à l'axe central de coulée. A leur interface les deux mouvements primaires se superposent alors pour intensifier le flux à travers les régions centrales. Le mouvement giratoire secondaire garantit que ce flux central n'a pas de direction prépondérante.

Le courant polyphasé utilisé est avantageusement un courant triphasé, respectivement un courant biphasé, alimentant par exemple un système inducteur à six bobines, respectivement à huit bobines de conception connues en soi.

Dans un mode de réalisation avantageux, applicable avantageusement à une lingotière à section carrée, on alimente, avec un courant biphasé, huit bobines disposées symétriquement deux à deux le long des quatre côtés de la lingotière.

Il sera aussi apprécié qu'il est possible de surimposer audit mouvement rotatif primaire et/ou audit mouvement giratoire secondaire un mouvement hélicoïdal suivant l'axe de coulée, sans pour autant gêner une lubrification correcte de la lingotière.

Le procédé est avantageusement applicable à un brassage électromagnétique dans une lingotière refroidie, à section circulaire, carrée, rectangulaire ou autre, avec ou sans busette centrale immergée. Il peut cependant aussi être appliqué au brassage dans les diverses zones situées en dessous de la lingotière de la coulée continue. Il convient aussi de signaler que le procédé proposé peut être ap-

pliqué à la coulée continue de tous les métaux connus, tels que l'acier, l'aluminium, le cuivre, etc. L'homme de l'art appréciera enfin que le procédé proposé ne nécessite le plus souvent pas de modification des inducteurs déjà installés. Il suffit, en effet, de modifier ou de remplacer l'alimentation électrique, respectivement de la compléter par une installation de commutation adéquate.

D'autres particularités et avantages de l'invention ressortiront de la description de quelques modes d'exécution avantageux, présentés ci-dessous en se référant aux dessins annexés, dans lesquels :

- 15 - la Figure 1 représente schématiquement, dans une coupe transversale à travers le flux de métal en fusion, les mouvements dans le bain, avec un seul mouvement rotatif primaire ;
- 20 - la Figure 2 représente, dans une vue identique à la Figure 1, les mouvements dans le bain, avec deux mouvements rotatifs primaires de sens opposés ;
- 25 - la Figure 3 montre, pour un premier cycle, un schéma de répartition dans le temps des courants triphasés dans les différentes bobines de la Figure 2 ;
- 30 - la Figure 4 montre schématiquement une exécution d'une alimentation triphasée pour un brasseur à six bobines ;
- 35 - les Figures 5 et 6 montrent schématiquement les mouvements dans le bain dans une lingotière de section carrée munie d'un braseur à huit bobines.

La référence 10 sur les Figures représente schématiquement une section horizontale à travers, soit une lingotière, soit une billette ou un bloom en dessous d'une lingotière. La référence 10 désigne donc, d'une façon générale, un flux de métal perpendiculaire au plan des figures, dont la section peut par exemple être carrée, rectangulaire ou circulaire. On notera que le métal en fusion est en cours de solidification à partir de sa périphérie.

La référence 12 désigne un inducteur électromagnétique connu en soi. Cet inducteur peut par exemple être constitué par une cage annulaire, en une ou plusieurs pièces, entourant le flux de métal 10. Il comporte sur la Figure 1 par exemple six bobines, numérotées de 1 à 6, qui peuvent être excitées sélectivement en courant triphasé pour induire un champ électromagnétique dans le métal en fusion. Les bobines, schématisées sur les Figures par des rectangles noirs, peuvent faire partie d'un même inducteur annulaire ou être divisées en plusieurs groupes de bobines appartenant à plusieurs inducteurs différents. L'inducteur peut être à pôles saillants ou à pôles lisses.

La Figure 1 illustre schématiquement, pour une section circulaire, les mouvements de brassage

obtenus en utilisant une seule zone de mouvement primaire, repérée par la référence 14. Cette zone de mouvement 14 est, dans le cas montré sur la Figure 1, engendrée par un champ glissant produit en excitant les bobines 1-6-5 avec les trois phases d'un courant triphasé. On remarquera que cette zone de mouvement est désaxée par rapport à l'axe central de coulée. Selon le procédé proposé on impose alors à la zone de mouvement 14 de la Figure 1, dans son ensemble, un mouvement giratoire autour de l'axe central de la coulée, ce qui est symbolisé par la flèche repérée par la référence 18.

Pour faire graviter la zone 14 de la Figure 1 autour de l'axe central de coulée dans le sens de la flèche 18, il suffit de réaliser une commutation des phases de façon à réaliser la séquence suivante de cycles d'excitation des bobines 1 à 6: (1-6-5), (2-1-6), (3-2-1), (4-3-2), (5-4-3), (6-5-4), (1-6-5), ...

Au lieu de faire tourner la zone de mouvement 14 dans le sens des aiguilles d'une montre, il est naturellement aussi possible de la faire tourner dans le sens contraire, en excitant cycliquement les bobines suivant une séquence inverse à celle mentionnée ci-dessus. Il peut d'ailleurs être intéressant d'inverser de temps en temps le sens du mouvement 18 et/ou du mouvement 14.

La Figure 2 montre, pour le dispositif de la Figure 1, la création d'un deuxième mouvement rotatif primaire, repéré par la référence 16. Ce mouvement 16 est diamétralement juxtaposé au premier mouvement rotatif primaire 14, mais a un sens de rotation opposé à ce dernier. Il sera noté que la deuxième zone de rotation 16 est, dans le cas représenté sur la Figure 2, engendrée en excitant les bobines 2-3-4 en courant triphasé, alors que la première zone de rotation 14 est, toujours dans le cas représenté sur la Figure 2, engendrée en excitant les bobines 1-6-5 en courant triphasé. Comme dans le cas de la Figure 1, on impose alors aux zones de rotation primaires 14 et 16 un mouvement giratoire autour de l'axe de coulée, ce qui est symbolisé sur la Figure 2 par la flèche repérée par la référence 18.

Le graphique de la Figure 3 représente schématiquement la répartition des courants triphasés entre les bobines 1 à 6 pendant un premier cycle. On notera que lors de ce premier cycle, qui engendre les mouvements 14 et 16 représentés sur la Figure 2, les bobines 1 et 2 sont connectées à la phase 1, les bobines 3 et 6 à la phase 2 et les bobines 4 et 5 à la phase 3. En abscisse du graphique de la Figure 3 on a porté le temps. Les blocs noirs et blancs sont représentatifs du courant dans les phases au cours du temps. Ce schéma visualise très bien comment il faut alimenter les bobines pour créer, dans le cas de la Figure 2, les

deux champs glissants qui se déplacent de 2 vers 3 vers 4, respectivement de 1 vers 6 vers 5, en entraînant le métal liquide et en engendrant ainsi les zones à rotation désaxées 14 et 16.

5 Pour créer le mouvement giratoire 18 autour de l'axe central de coulée, on n'a qu'à changer, dans un deuxième cycle, la connexion des phases aux différentes bobines. Ainsi pendant le deuxième cycle, les bobines 3 et 2 seront connectées à la phase 1, les bobines 4 et 1 à la phase 2 et les bobines 5 et 6 à la phase 3. Les zones de mouvement rotatif 14 et 15 vont ainsi être déplacées d'un angle prédéterminé autour de l'axe de coulée. Cet angle dépend notamment du nombre et de la configuration des pôles du brasseur. Dans le cas susmentionné il s'agit par exemple d'un angle de 60°, de façon qu'une rotation complète autour de l'axe central de coulée nécessite six cycles similaires à celui représenté sur la Figure 3.

10 La vitesse de rotation de ce mouvement giratoire autour de l'axe de coulée est notamment fonction de cet angle et de la durée des cycles individuels. Cette dernière est variable en continu, dans les limites imposées par l'installation électrique. En pratique, la vitesse de rotation secondaire sera par exemple choisie en fonction de l'emplacement du ou des inducteurs dans l'installation de coulée. Normalement, la vitesse de rotation secondaire et comprise entre 5 et 200 tours par minute.

15 La fréquence du courant d'alimentation polyphasé sera elle-aussi choisie en fonction de l'emplacement du ou des inducteurs. En effet, le ou les inducteurs situés au niveau de la lingotière travailleront principalement dans le domaine des basses fréquences (2 à 15 Hz), susceptibles de traverser les parois de la lingotière en cuivre, alors que les inducteurs situés en dessous de la lingotière pourront travailler à des fréquences plus élevées, comprises par exemple entre 15 et 70 Hz.

20 Il sera noté qu'il est également possible de surimposer au mouvement giratoire secondaire et au(x) mouvement(s) rotatif(s) primaire(s), caractéristiques du procédé proposé, un mouvement hélicoïdal selon l'axe de coulée. A cet effet on donnera par exemple, de façon connue en soi, au bobinage une asymétrie induisant dans le métal un tel mouvement hélicoïdal, ou on décalera, de façon connue en soi, l'une par rapport à l'autre, dans le sens de coulée, les diverses pièces polaires du ou des inducteurs. Il sera apprécié que la lubrification de la lingotière est sensiblement améliorée par rapport à la mauvaise lubrification de la lingotière obtenue lors de l'application d'un mouvement hélicoïdal au brassage rotatif classique.

25 Les bobines sont normalement alimentées en courant triphasé, mais il n'est pas exclu de les alimenter en courant biphasé. L'emploi de courants

polyphasés ayant plus de 3 phases est également possible.

Il existe de nombreuses possibilités d'alimentation et de commande des différents types de brasseurs et de bobines. La figure 4 représente, à titre d'exemple non limitatif, une alimentation en triphasé, des 6 bobines d'un brasseur tel que représenté sur les figures 1 et 2. Un réseau d'alimentation triphasé, représenté schématiquement par la référence 22, alimente un circuit de convertisseurs de courant 24, connu en soi. Ce dernier permet de créer à sa sortie un système de courants triphasés de fréquence et d'amplitude ajustables. Un commutateur électronique 26 permet de commuter les 3 phases du système de courants triphasés ainsi formé, selon une séquence prédefinie, entre les 6 bobines de l'inducteur.

Les Figures 5 et 6 illustrent schématiquement, à titre d'exemple, un mode particulier d'exécution du procédé de brassage électromagnétique proposé, appliqué à une lingotière 40 à section carrée. Cette lingotière est par exemple refroidie à l'eau et comprend une busette immergée 42. Le long de chacun des quatre côtés de la lingotière 40 sont prévues deux bobines appartenant à un ou plusieurs inducteurs. L'alimentation se fait en courant biphasé, de façon à obtenir des champs magnétiques glissants engendrant des zones de mouvement primaire 44<sub>1</sub>, 44<sub>2</sub> qui sont désaxées dans la section carrée de la lingotière 40.

La figure 5 représente les mouvements dans une section transversale à la direction de coulée, lors d'un premier cycle d'excitation des huit bobines. On notera que les zones de mouvement primaire 44<sub>1</sub> et 44<sub>2</sub> sont symétriques par rapport à un plan médian. La première phase alimente les bobines 1 et 3, respectivement 8 et 6. La deuxième phase alimente les bobines 2 et 4, respectivement 7 et 5.

La figure 6 représente, dans une vue analogue, les mouvements lors du cycle suivant. On notera que les zones de mouvement primaire 44'<sub>1</sub> et 44'<sub>2</sub> sont symétriques par rapport à un plan diagonal. La première phase alimente les bobines 2 et 4, respectivement 1 et 7. La deuxième phase alimente les bobines 3 et 5, respectivement 8 et 6.

Les flèches repérées par la référence 46 sur les figures 5 et 6 indiquent le sens du mouvement giratoire des zones de mouvement primaire 44<sub>1</sub> et 44<sub>2</sub> autour de la busette immergée 42. L'homme de l'art saura apprécier qu'on obtient ainsi un excellent brassage, sans pour autant engendrer autour de la busette 42 un mouvement similaire à un vortex, qui risque d'entraîner le laitier de couverture, et sans soumettre la busette immergée 42 à une érosion rapide.

L'invention a été décrite à titre d'illustration en se référant à une coulée verticale. Elle peut toute-

fois être appliquée avec les mêmes avantages, à une coulée oblique, voire horizontale.

On constate de ce qui précède, que le procédé de brassage proposé permet de réaliser d'une manière particulièrement simple et efficace tous les mouvements exigés par une coulée continue moderne, sans présenter certains inconvénients des procédés de brassage connus de l'état de la technique.

## Revendications

- Procédé de brassage de métal en fusion pour une coulée continue, selon lequel on induit dans un flux de métal, définissant un axe central de coulée, un champ d'induction électromagnétique mobile au moyen d'un système d'inducteurs disposés autour du flux de métal et alimentés en courant polyphasé, ledit champ engendrant dans le métal en fusion au moins un mouvement transversal au flux de métal, caractérisé en ce que les bobines du système d'inducteurs sont alimentées de façon à créer dans le métal en fusion (10) au moins une zone de mouvement rotatif primaire (14) qui est désaxée par rapport à l'axe central de coulée et en ce qu'on réalise une commutation cyclique des phases du courant polyphasé de façon à imposer à cette zone de mouvement rotatif primaire (14) un mouvement giratoire secondaire (18) autour de l'axe central de coulée.
- Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'on crée deux zones de mouvement rotatif (14, 16), qui sont juxtaposées et ont des sens de rotation opposés et dont chacune s'étend de la périphérie du flux de métal jusqu'à l'axe central de coulée.
- Procédé selon la revendication 1 ou 2 caractérisé en ce que le courant polyphasé est un courant triphasé.
- Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce que le système d'inducteurs comprend six bobines arrangeées symétriquement autour du flux de métal.
- Procédé selon la revendication 1 ou 2 caractérisé en ce que le courant polyphasé est un courant biphasé.
- Procédé selon la revendication 5 caractérisé en ce que le système d'inducteurs comprend huit bobines arrangeées symétriquement autour du flux de métal.

7. Procédé selon la revendication 6 appliqué à un flux de métal à section sensiblement carrée, caractérisé en ce que les huit bobines sont arrangeées deux à deux symétriquement le long des quatre côtés du flux de métal. 5

8. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'on surimpose audit mouvement rotatif primaire (14, 16) et audit mouvement giratoire secondaire (18) un mouvement héli - coïdal selon l'axe de coulée. 10

15

20

25

30

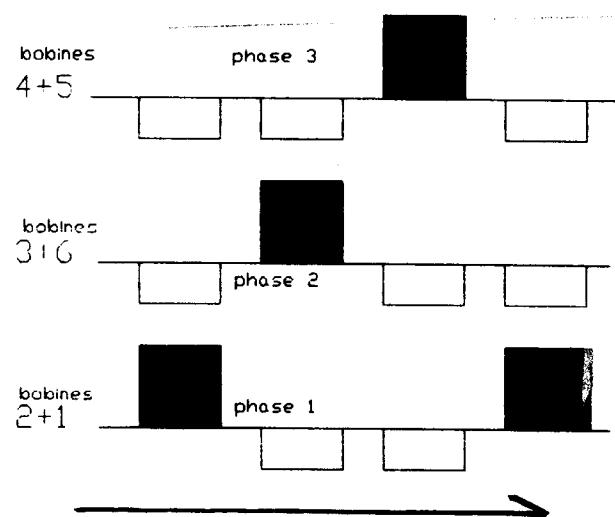
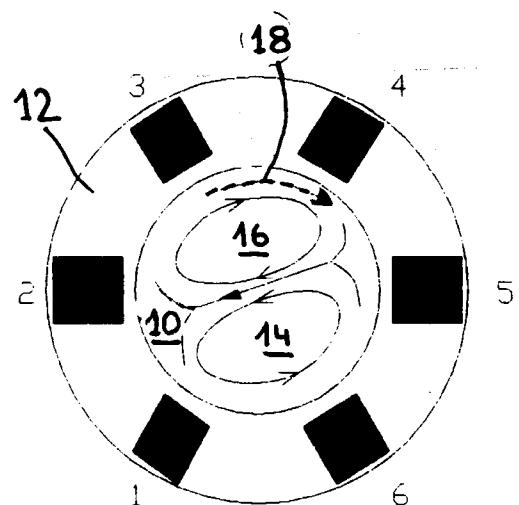
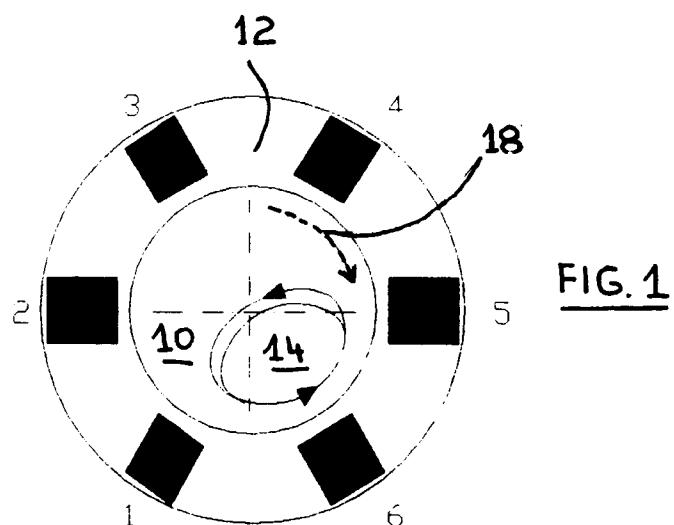
35

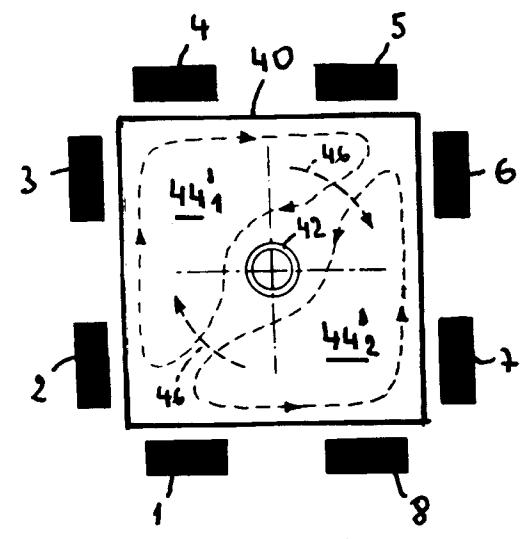
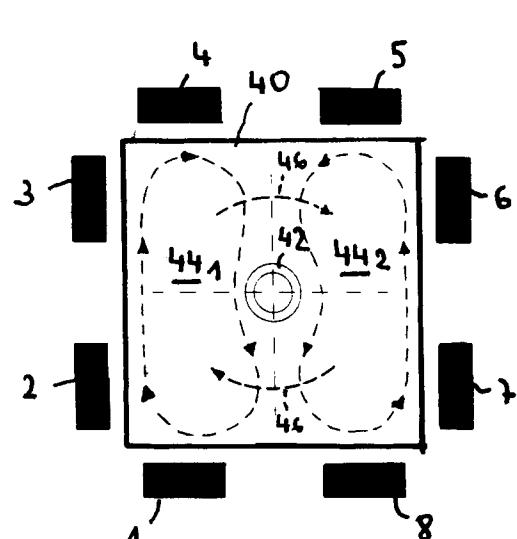
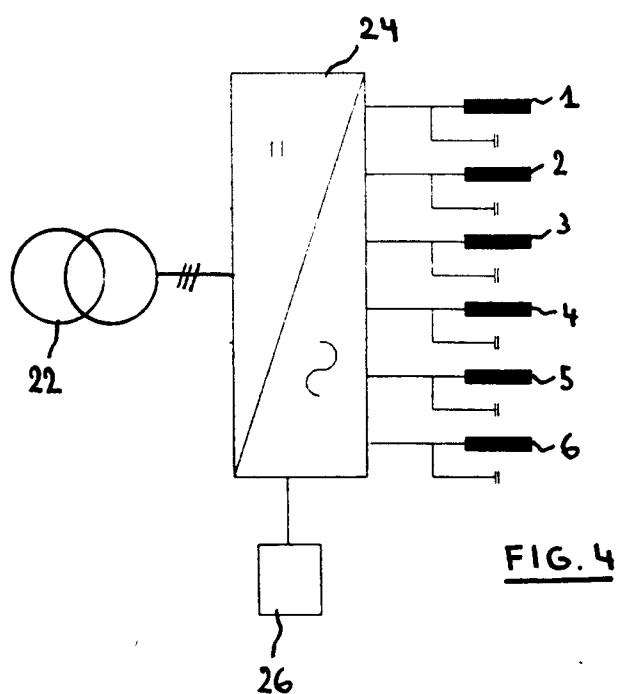
40

45

50

55







Office européen  
des brevets

## RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 92 11 8298

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int. Cl.5)
D, X A	US-A-4 867 786 (SAEKI MITSURU ET AL.) * colonne 4, ligne 1 - colonne 4, ligne 60; figures * ---	1-6 7,8	B22D11/10 B22D11/12
X	EP-A-0 448 113 (NKK CORPORATION) * page 4, ligne 16 - page 4, ligne 23; figures 1,10A-C *	1-5	
D, X A	DE-A-3 527 387 (SCHWERDTFEGER, KLAUS) * le document en entier *	1-3 6 ---	
D, X	FR-A-2 485 411 (IRSID) * page 2, ligne 30 - page 2, ligne 38; revendications; figures *	1-3	
D, X A	US-A-4 877 079 (LAWRENCE J. LONG ET AL.) * abrégé; revendications; figures 11,13-17 * ---	1,2 3-8	
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 11, no. 250 (M-616)(2697) 14 Août 1987 & JP-A-62 057 750 ( KOBE STEEL LTD ) 13 Mars 1987 * abrégé *	1-8	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl.5)
	-----		B22D
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE	Date d'achèvement de la recherche 05 MARS 1993	Examinateur HODIAMONT S.E.	
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES			
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire	T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons ..... & : membre de la même famille, document correspondant		