

⑫ **FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

④⑤ Date de publication du fascicule du brevet:
13.07.88

⑤① Int. Cl.: **B 22 D 11/06, B 22 D 27/02**

②① Numéro de dépôt: **85400063.5**

②② Date de dépôt: **15.01.85**

⑤④ **Procédé et dispositif pour l'élaboration de rubans notamment métalliques et semi-métalliques de faible épaisseur.**

③③ Priorité: **18.01.84 FR 8400747**

④③ Date de publication de la demande:
28.08.85 Bulletin 85/35

④⑤ Mention de la délivrance du brevet:
13.07.88 Bulletin 88/28

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

⑤⑥ Documents cités:
FR - A - 2 388 324
FR - A - 2 525 508

PATENTS ABSTRACTS OF JAPAN, vol. 7, no. 24, (M-189)
[1169], 29 janvier 1983

⑦③ Titulaire: **UNION SIDERURGIQUE DU NORD ET DE L'EST**
DE LA FRANCE par abréviation "USINOR",
Défense 9 4 Place de la Pyramide, F-92070 Puteaux (FR)

⑦② Inventeur: **de Framond, Rémy, 8 Rue Jules Vallès,**
F-38100 Grenoble (FR)
Inventeur: **Yavari, A. Reza, 5 Place Ste-Claire,**
F-38000 Grenoble (FR)
Inventeur: **Senillou, Claude, 65 rue du Sabotier "Les**
platanes", F-38340 Voreppe (FR)
Inventeur: **Joud, Jean-Charles, 40 Chemin des Buclos,**
F-38340 Meylan (FR)
Inventeur: **Garnier, Marcel, La Grivolée Saint Martin**
d'Uriage, F-38410 Uriage (FR)

⑦④ Mandataire: **Moncheny, Michel et al, c/o Cabinet**
Lavoix 2 Place d'Estienne d'Orves, F-75441 Paris
Cedex 09 (FR)

EP 0 153 205 B1

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la date de publication de la mention de la délivrance du brevet européen toute personne peut faire opposition au brevet européen délivré, auprès de l'Office européen des brevets. L'opposition doit être formée par écrit et motivée. Elle n'est réputée formée qu'après paiement de la taxe d'opposition (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

Description

La présente invention concerne les procédés et les dispositifs pour l'élaboration de rubans suivant les préambules des revendications indépendantes 1 et 11, et plus spécialement de rubans métalliques ou semi-métalliques de faible épaisseur, notamment de tels rubans ayant une structure microcristalline ou amorphe.

Le procédé le plus simple pour fabriquer de tels rubans métalliques minces consiste à projeter un jet de métal liquide sur un substrat mobile tel que la surface d'un rouleau métallique tournant à une vitesse circonférentielle supérieure à 10 m/seconde. Ce procédé est désigné par l'expression anglaise «melt-spinning». Le problème majeur à résoudre concerne la stabilité de forme du jet lors de son impact et de sa solidification sur le substrat en raison de la vitesse d'impact relativement élevée, notamment accrue par l'accélération de la pesanteur. Il est de plus impossible de produire par ce procédé des rubans de largeur supérieure à 1 cm.

On connaît un procédé décrit en particulier dans le document FR-A 2 368 324 (7 731 659). Selon ce procédé, on fait couler le métal liquide à travers une fente dont la largeur varie de 0,2 à 1 mm et dont la longueur peut être de plusieurs centimètres. Cette fente est placée à une distance du substrat mobile qui est inférieure à 1 mm, et le plus souvent de l'ordre de 0,1 mm ce qui permet de pallier l'inconvénient du premier procédé évoqué ci-dessus puisque le substrat sur lequel le métal se solidifie se trouve à une très faible distance de la fente par laquelle s'écoule le métal liquide. Cependant, ce procédé présente également de graves inconvénients: il nécessite des conditions très particulières et très sévères en ce qui concerne l'usinage et l'état de surface des lèvres délimitant la fente. Ces lèvres sont soumises à une usure importante étant donné l'effet d'entraînement qui s'exerce sur le métal à proximité immédiate de ces lèvres. Par ailleurs il est également nécessaire que la roue qui constitue le substrat sur lequel se solidifie le métal présente des tolérances de dimensions très serrées pour pouvoir obtenir un ruban d'épaisseur à peu près constante, puisque c'est la distance entre les lèvres et ce substrat qui détermine en partie l'épaisseur du ruban.

Le document FR-A 2 525 508 décrit un procédé selon lequel un jet de métal liquide de section circulaire est déformé par application d'un champ magnétique, jusqu'à lui donner la forme d'un ruban ou d'une lame parallèle à ce champ. Cependant, ce procédé nécessite un temps de formage minimal pendant lequel le champ magnétique doit agir sur la section initiale du métal, à l'encontre de la tension superficielle du liquide, pour déformer cette section jusqu'à obtenir la forme finale désirée.

Pendant ce temps, le métal liquide est soumis à l'action de la pesanteur, de sorte que la lame formée atteint sa largeur utile hors de la zone du champ magnétique précisément lorsque l'action

stabilisante maximale du champ serait nécessaire pour la maintenir en l'état. En outre, la lame ainsi formée ne peut présenter qu'une largeur limitée compte tenu de la décroissance rapide des champs magnétiques dans l'air.

Il est à noter que trois types de problèmes physiques nuisent au contrôle précis de la constance de la lame liquide en épaisseur et en largeur lors de son écoulement dans l'air:

a) une instabilité due aux vitesses différentes du fluide constituant la lame et de l'atmosphère ambiante. Cette instabilité (Kelvin-Helmoltz) qui se développe très rapidement se manifeste par une série de rides parallèles, surtout perpendiculaires à la direction de l'écoulement qui conduisent à une modulation d'épaisseur dans le sens de la longueur de la lame.

b) une instabilité due aux perturbations engendrées au niveau de la sortie du nez de la busette d'où s'écoule le fluide. Ces perturbations n'ont pas de direction privilégiée et dépendent de la géométrie de la busette.

c) une instabilité due à la tension superficielle et à l'accélération gravitationnelle qui tend à réduire la largeur de la lame et à lui redonner une section circulaire. Cette instabilité se développe beaucoup moins rapidement que la précédente et se traduit par l'apparition de fuseaux successifs avec une rotation de 90° à chaque nœud (Fig. 7). Les rides sont parallèles au bord de la lame et les modulations d'épaisseur se trouvent dans une direction perpendiculaire à la vitesse du jet.

On connaît enfin une publication JP-A-57-17781, sur laquelle les préambules des revendications 1 et 11 sont basés, qui soumet une lame métallique formée sur un substrat échangeur de chaleur à l'action d'un champ magnétique créé en une zone proche du point de solidification du métal. Ce champ magnétique a une direction perpendiculaire à la direction d'avancement de la lame métallique et les lignes de champ la traversent. Il est clairement indiqué et expliqué que le but poursuivi est d'accroître la viscosité par action de freinage sur les particules fluides, ce qui impose un champ continu ou alternatif basse fréquence pénétrant la masse de l'écoulement fluide.

Or, précisément, ce type de champ pénétrant la veine d'écoulement métallique exerce une action stabilisatrice quasi nulle sur les instabilités de forme qui ont été définies précédemment sous a, b et c et que la présente invention vise précisément à combattre dans la formation d'une lame métallique à projeter sur le substrat d'échange thermique.

Aucun des procédés connus ne permet donc d'obtenir sans placer le creuset à une distance inférieure à 1 mm du substrat mobile, un ruban large avec des dimensions régulières. Le but de cette invention est précisément de fournir un procédé et un dispositif originaux permettant l'obtention d'un tel produit tout en se libérant des contraintes qui, dans le deuxième procédé analy-

sé ci-dessus, concernant la réalisation des lèvres de la fente et l'usure de ces dernières.

A cet effet, l'invention a principalement pour objet un procédé d'élaboration, à partir d'un matériau électroconducteur en fusion, d'un ruban, du type dans lequel on fait s'écouler à partir d'un réservoir, à travers une buse, un matériau en fusion, pour former une lame de section droite sensiblement rectangulaire qui est soumise avant solidification à un champ magnétique alternatif produisant un effet de stabilisation caractérisé en ce qu'on exerce sur la surface d'au moins une grande face de la lame une force de pression à l'aide du champ magnétique alternatif en positionnant du même côté de la lame au moins deux pôles de polarité opposée d'un inducteur, les lignes de champ du premier pôle étant dirigées perpendiculairement vers la lame, s'étendant ensuite suivant une direction parallèle à la lame vers le deuxième pôle, puis étant réorientées perpendiculairement à ladite lame en direction dudit deuxième pôle, et enfin canalisées jusqu'au premier pôle, pour former une boucle.

Suivant d'autres caractéristiques:

- les lignes de champ parallèles à la lame s'étendent suivant une direction parallèle à la direction de déplacement de la lame, éventuellement en combinaison avec des lignes de champ s'étendant perpendiculairement à ladite direction de déplacement de la lame;
- la buse a une section droite en forme de fente sensiblement rectangulaire;
- la buse a une section droite sensiblement circulaire et la veine métallique liquide sensiblement cylindrique est préformée en forme de lame par l'action d'au moins deux champs magnétiques incidents opposés, en regard l'un de l'autre, disposés de chaque côté de la veine et la stabilisation est réalisée par un bouclage du champ tel que décrit ci-dessus;
- une lame de grande largeur est obtenue par coalescence de lames individuelles plus étroites le long de leurs bords longitudinaux;
- la solidification de la lame est réalisée par mise en contact de la lame stabilisée avec un substrat mobile.

L'invention a également pour objet un dispositif pour la mise en œuvre du procédé tel que défini ci-dessus, du type comprenant un réservoir contenant un matériau en fusion et comportant à sa partie inférieure une buse pour l'écoulement de ce matériau, des moyens de formation d'une lame et de solidification de cette dernière, disposés en aval du réservoir, des moyens électromagnétiques disposés dans une zone située entre les moyens de formation de la lame et les moyens de solidification, ces moyens électromagnétiques étant adaptés pour exercer sur au moins une face de la lame un effet de stabilisation, caractérisé en ce que les moyens électromagnétiques comprennent au moins deux bobines d'induction, d'axes parallèles, perpendiculaires au plan de la lame, ces deux bobines étant disposées d'un même côté de la lame, un noyau de fer-

rite en forme de U logé entre les bobines de telle sorte que chaque branche du U pénètre dans les bobines, ces bobines étant alimentées en courant alternatif de façon telle que les extrémités en regard de la lame des branches du noyau de ferrite constituent des pôles de signes contraires.

Suivant d'autres caractéristiques:

- les moyens électromagnétiques comprennent deux autres bobines d'induction d'axes parallèles, perpendiculaires au plan de la lame disposées sur l'autre face de la lame de manière symétrique des premières bobines par rapport au plan de la lame et un deuxième noyau de ferrite en forme de U logé entre les bobines de telle manière que chaque branche de U pénètrent dans lesdites autres bobines, les polarités des extrémités en vis-à-vis des branches des noyaux de ferrite étant les mêmes;

- les bobines d'induction situées d'un même côté de la lame sont disposées l'une au-dessus de l'autre parallèlement à la direction de déplacement de la lame;

- les bobines d'induction situées d'un même côté de la lame sont disposées l'une à côté de l'autre perpendiculairement à ladite direction de déplacement de la lame;

- le dispositif comprend un réseau de bobines d'induction disposées parallèlement et perpendiculairement à la direction de déplacement de la lame et dont les pôles adjacents en regard de la lame ont des polarités alternées.

- la buse a une section droite en forme de fente sensiblement rectangulaire,

- la buse a une section droite sensiblement circulaire et la veine métallique liquide sensiblement cylindrique est préformée en forme de lame par passage entre les bobines supérieure des paires de bobines disposées verticalement définies ci-dessus, la stabilisation étant réalisée par le passage entre les bobines situées à un niveau inférieur,

- les bobines sont alimentées par un courant alternatif à haute fréquence, compris entre 3 et 3000 kHz environ,

- l'intensité du champ magnétique est comprise entre 1 et 1000 millitesla environ,

- les moyens de solidification comprennent par exemple un substrat mobile sur lequel on dépose le matériau, sous forme de deux bandes sans fin comportant deux brins parallèles, en regard, délimitant entre eux un intervalle situé dans l'alignement de la buse et de la lame sortant de cette buse, les deux brins se déplaçant dans la même direction que ladite lame.

L'invention va être décrite ci-dessous en se référant aux dessins annexés donnés uniquement à titre d'exemple et sur lesquels:

la Fig. 1 est une vue schématique en perspective d'un dispositif selon l'invention,

la Fig. 2 est une vue partielle en perspective d'une variante,

la Fig. 3A est une vue schématique en perspective du dispositif de la présente invention dans un mode de réalisation de la seconde variante dans

lequel la stabilisation est réalisée par un bouclage vertical du champ magnétique,

la Fig. 3B est une vue schématique en élévation des inducteurs 3A vus depuis la lame et illustrant les lignes du champ,

la Fig. 4 est une vue schématique de la disposition des pôles des noyaux de ferrite en regard de la lame dans un mode de réalisation de la seconde variante dans lequel la stabilisation est obtenue par un bouclage magnétique combiné vertical et horizontal,

la Fig. 5 est une représentation schématique d'une troisième variante dans laquelle une lame de grande largeur est réalisée par coalescence de lames individuelles plus étroites le long de leurs bords longitudinaux, les lames individuelles étant coulées à partir de buse à section circulaire, puis préformées et stabilisées selon la variante des Fig. 3 et 4,

la Fig. 6 est une vue schématique illustrant un mode de mise en contact avec le substrat mobile,

la Fig. 7 illustre un phénomène de modification physique d'une lame métallique formée par effet de la tension superficielle.

Il convient de noter avant de définir les inducteurs selon la présente invention, capables de fournir une géométrie des champs magnétiques adéquate, que l'effet d'un champ magnétique alternatif de fréquence donnée sur la stabilité d'une lame de matériau électroconducteur liquide est de s'opposer aux perturbations qui auraient tendance à écarter les faces de la lame de leur position géométrique de jet plan et parallèle. Cet effet stabilisant est sélectif vis-à-vis des perturbations dans la mesure où seules les ondes dont les rides sont perpendiculaires à la direction du champ magnétique sont réduites, car il est nul pour des perturbations dont les rides sont parallèles au champ magnétique. Il faut enfin noter que cet effet est d'autant plus important que la fréquence du champ magnétique alternatif est élevée.

La fréquence des champs magnétiques alternatifs utilisés pour réduire les instabilités de la lame doit être telle que la profondeur de pénétration dans le matériau constituant la lame liquide soit aussi faible que possible de façon à obtenir un effet mécanique localisé à la surface de la lame où apparaissent les perturbations. La conductivité électrique des métaux et semi-métaux à l'état liquide situe la gamme des fréquences entre 3 kHz et 3000 kHz.

L'invention sera décrite ci-après en référence à la fabrication de rubans métalliques, semi-métalliques ou amorphes, mais n'y est pas limitée et vise toute fabrication d'un ruban à partir d'un matériau électroconducteur.

Sur le schéma de la Fig. 1 est représenté un dispositif comprenant un réservoir 11 pouvant contenir un matériau métallique ou semi-métallique en fusion. Ce réservoir est entouré par des moyens de chauffage 12, par exemple, à induction. Ce réservoir se termine à sa partie inférieure par au moins une buse en forme de fente 13 dont

la section correspond à la forme de la lame liquide que l'on souhaite obtenir. Dans l'exemple choisi cette fente peut avoir une forme rectangulaire, avec une largeur de 0,7 mm et une longueur de 20 mm.

Au-dessous de cette busette et à une distance qui peut être comprise entre 1 et 15 mm et de préférence entre 2 et 10 mm, se trouve une roue 14 pouvant être entraînée en rotation et dont la largeur est supérieure à la longueur de la fente 13. La surface 15 de cette roue constitue un substrat sur lequel la lame de métal va se refroidir très rapidement. La distance entre la sortie de la fente et la surface du substrat est supérieure à la largeur de la fente et de préférence supérieure à 1 mm. La surface du substrat est prévue de façon à permettre un détachement aisé du ruban solidifié 16. Elle peut être refroidie par tout moyen convenable (non représenté) et entraînée avec une vitesse de rotation telle que sa vitesse tangentielle au point de réception du matériau en fusion soit compatible avec celle de l'écoulement de la lame et puisse être de l'ordre de 20 m par seconde.

Dans la zone comprise entre la buse 13 et la roue réceptrice 14, sont disposés des moyens permettant d'engendrer dans cette zone un champ magnétique alternatif exerçant un effet mécanique de stabilisation sur les faces de la lame 17 de matériau liquide sortant de la busette. Ces moyens comprennent dans l'exemple choisi deux bobines coaxiales 18 en matériau conducteur de l'électricité, par exemple en cuivre, l'axe de ces bobines étant disposé parallèlement à la fente 13, et par conséquent parallèlement à la lame 17 et orthogonalement à l'axe longitudinal de cette dernière. L'axe des bobines est même de préférence contenu dans le plan de cette lame. Les deux bobines peuvent être refroidies, comme cela est connu dans la technique. Un noyau de ferrite ou matériau équivalent 19 qui peut également être refroidi, est disposé à l'intérieur de chaque bobine coaxialement pour concentrer l'intensité du champ magnétique vers le matériau liquide sortant de la fente.

Les bobines sont alimentées par des courants alternatifs de fréquence appropriée, de façon telle que les extrémités 19a en regard de la lame 17 des noyaux opposés de ferrite 19 soient des pôles contraires.

A titre d'exemple, on peut alimenter les deux bobines par des courants alternatifs ayant une fréquence comprise entre 3 et 3000 kHz, par exemple de l'ordre de 400 kHz, l'intensité du champ produit étant comprise entre 1 et 1000 millitesla.

Dans cet exemple, la largeur du ruban obtenue correspond à celle de la fente, soit 20 mm et son épaisseur est d'environ 0,07 mm. Il est obtenu à partir d'une fente rectangulaire de $20,0 \times 0,6$ mm par mise en contact avec un substrat sous forme de roue dont la vitesse tangentielle est de 20 m/s.

Dans la variante de la Fig. 2, on utilise une paire de bobines d'induction 28 et des noyaux de ferrite 29 disposés à l'intérieur de ces bobines. Les bobines sont coaxiales et ont leur axe commun per-

pendiculaire au plan de la lame 27 sortant de la buse. Les noyaux de ferrite ont en section, une forme rectangulaire et ont leurs extrémités disposées à quelques millimètres de la lame de métal liquide.

Dans ce cas, les bobines sont alimentées par des courants alternatifs tels que les extrémités 29a en regard de la lame des noyaux opposés de ferrite sont des pôles semblables, c'est-à-dire, soit tous deux des pôles nord, soit tous deux des pôles sud.

A titre d'exemple, les deux bobines inductrices peuvent être alimentées en courant alternatif avec une fréquence de 500 kHz. L'intensité du champ peut être comprise entre 1 et 1000 millitesla. La fente de la busette peut avoir une longueur de l'ordre de 45 mm et une largeur de 0,7 mm. La distance entre la sortie de la busette et le substrat peut être de l'ordre de 10 mm. Dans ce cas, en supposant que la vitesse de ce substrat, suivant une direction perpendiculaire à la direction d'arrivée de la lame liquide est de 15 m par seconde, on obtient un ruban de largeur 45 mm et d'épaisseur de l'ordre de 0,1 mm.

Dans le mode de réalisation de la Fig. 3A, une lame 31 de matériau métallique liquide préformée est envoyée entre une première paire de bobines d'induction 32a, 32b coaxiales placées de part et d'autre de la lame 31, de telle sorte que leur axe commun soit perpendiculaire au plan de la lame.

Une seconde paire de bobines d'induction 33a, 33b coaxiales, parallèles à la première paire de bobines 32a, 32b est disposée sur une même verticale et en dessous des bobines 32. Un noyau de ferrite 34a en forme de U est logé entre les bobines 32a et 33a situées d'un même côté de la lame de telle sorte que chaque branche du U, respectivement 35a et 36a, pénètre dans les bobines 32a et 33a.

Les bobines 32a et 33a sont alimentées par des courants alternatifs de façon telle que les extrémités en regard de la lame des branches 35a et 36a de la ferrite 34a soient des pôles contraires.

Dans le cas de la Fig. 3A, l'extrémité de la branche 35a est un pôle nord et les lignes de champ magnétique incident issues de ce pôle sont dirigées perpendiculairement vers la lame, puis bouclées en suivant tout d'abord une direction parallèle à la lame en allant vers la branche 36a qui est un pôle sud, en face duquel elles sont réorientées perpendiculairement à la lame 31 et enfin canalisées par la ferrite en forme de U 34a jusqu'au pôle nord 35a.

Comme dans les variantes précédentes, le courant alternatif d'alimentation est un courant de fréquence élevée analogue à celle précédemment mentionnée.

Sur l'autre face de la lame, un noyau de ferrite 34b analogue au noyau 34a en forme de U est inséré entre les bobines 32b et 33b qui sont alimentées de façon telle que les pôles des extrémités 35a, 35b ou 36a, 36b de ferrite en regard de la lame d'une même paire 32a, 32b ou 33a, 33b, soient des pôles semblables. Dans le cas de la

Fig. 3A, 35a et 35b sont des pôles nord et 36a et 36b sont des pôles sud.

L'allure des lignes de champ schématisées pour une même face de la lame sur la figure 3B explique l'action stabilisante du champ créé: les lignes de champ droites et parallèles à l'axe de la lame, nombreuses, permettent de réduire l'instabilité la plus importante (Kelvin-Helmoltz) due à la vitesse; les lignes de champ plus courbes réduisent grâce à leur inclinaison les autres types d'instabilités.

On peut bien évidemment associer suivant une même direction verticale plus de deux bobines d'induction pour obtenir un bouclage du champ sur une plus grande longueur disposée verticalement.

Le bouclage qui vient d'être expliqué précédemment pour une direction verticale peut, suivant un autre mode de réalisation de cette variante, être réalisé horizontalement avec une ferrite de structure analogue en forme de U et une opposition des pôles à chaque extrémité des branches du U en regard de la lame.

Selon le mode de réalisation de la Fig. 4, qui ne représente schématiquement que l'alternance des pôles en regard d'une même face de la lame, est réalisée une combinaison d'un bouclage vertical et horizontal du champ magnétique qui offre l'effet de stabilisation maximal de la lame dans toutes les directions du plan. L'alternance des pôles dans la direction horizontale et la direction verticale est telle que deux pôles adjacents sont toujours contraires.

La configuration de base de la Fig. 3A peut être translatée dans une direction parallèle à la lame, comme décrit ci-dessus, lorsque la largeur de celle-ci devient très importante. En respectant l'opposition des sens des champs magnétiques créés par les bobines successives, il est possible d'obtenir un effet stabilisant isotrope, comme le montre la figure 4. En effet, la disposition des bobines permet une diversification de la direction des lignes de champs et ainsi permet la stabilisation d'ondes de différentes directions. Cette technique de stabilisation ne connaît pas de limites, quant à la largeur de la lame à stabiliser.

Dans le cas du mode de réalisation de la Fig. 4, le noyau de ferrite présente la forme d'un réseau maillé analogue à une grille de chaque sommet des mailles de laquelle partent des branches s'étendant jusqu'à proximité de la lame et portant une bobine inductrice convenablement alimentée.

En plus de l'effet stabilisant créé par de tels inducteurs, il existe un effet de formage électromagnétique des matériaux conducteurs d'électricité. La variation du module du champ magnétique dans le temps engendre des courants induits à la surface du matériau qui interagissent avec ce champ pour donner lieu à des (forces de Laplace); ces dernières sont décomposables en deux forces distinctes dont le rapport est proportionnel à la racine carrée de la fréquence (f). Plus f est grand, plus l'effet sera une force de pression sur la surface du matériau; plus f est faible, plus l'ef-

fet sera une force de brassage à l'intérieur du matériau liquide. On utilise donc des champs magnétiques alternatifs à fréquences élevées, créés par des inducteurs de géométrie définie précédemment pour obtenir un effet de formage électromagnétique.

Grâce à ce mode de réalisation permettant d'élargir la zone de stabilisation tout en conservant un champ magnétique d'autant plus intense, on peut faire coalescer au moins deux lames individuelles 51 et 52 représentées à la Fig. 5, le long de leur bord longitudinal commun 53 pour obtenir une lame de plus grande largeur parfaitement stabilisée.

Ce mode de réalisation autorise également la création d'une lame de grande largeur à partir de jets cylindriques 54 et 55 issus de buses à section circulaire, par préformage de la lame entre les bobines d'induction supérieures à 32a et 32b de la Fig. 3A, avant la stabilisation. Cette stabilisation peut être obtenue entre une seule paire de bobines ou entre d'autres paires de bobines placées en dessous et à côté suivant un schéma réitératif du type de celui décrit à la Fig. 4.

Dans le cas d'un jet cylindrique s'écoulant entre les paires d'inducteurs, le champ magnétique créé par les bobines en opposition a tendance à repousser le métal et donc à le former en lame régulière. On notera l'importance de la fréquence et donc de l'épaisseur de peau δ (profondeur de l'action de la force de Laplace au sein du matériau électro-conducteur) en fonction de l'épaisseur e de la lame liquide à former. δ est défini par l'expression:

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{\pi \mu_0 \sigma f}}$$

dans laquelle

μ_0 = perméabilité magnétique du vide.

σ = conductivité électrique du matériau liquide.

f = fréquence du courant dans les bobines d'induction.

Pour l'obtention des résultats selon la présente invention δ doit être de l'ordre de e et de préférence $< e/2$.

La lame ainsi formée se trouve ensuite stabilisée par le phénomène décrit ci-dessus. L'intérêt d'un tel inducteur réside dans le fait que les bobines sont toujours très près du métal, ce qui est très important du fait de la décroissance rapide de l'intensité du champ magnétique dans l'air. Un dispositif de réglage micrométrique peut être associé aux deux demi-inducteurs permettant ainsi l'approche de ces derniers près de la lame ou le léger décalage par rapport à la lame formée faisant ainsi office de guidage de la lame par rapport à un point d'impact donné.

Il est possible de partir de plusieurs jets cylindriques qui, s'écoulant aux travers d'inducteurs identiques, se déforment sous l'action du champ magnétique jusqu'à former des lames juxtaposées qui coalescent pour ne donner qu'une seule et unique lame stable et régulière (fig. 5). En effet, au point de coalescence, les vitesses des particules fluides n'étant pas parallèles, il s'en suit la

création d'une protubérance à la surface de la lame. Ce type d'inducteur permet de pallier cet inconvénient en stabilisant la lame de façon régulière. Cette technique de formage ne connaît pas non plus de limites, quant à la largeur de la lame à stabiliser.

Le mode de réalisation de la Fig. 6 comprend un réservoir ou creuset 61 entouré d'un dispositif de chauffage à induction 62 et se terminant à sa partie inférieure par une buse 63 délimitant une fente de forme sensiblement rectangulaire.

Le dispositif magnétique permettant de stabiliser la forme de la lame liquide sortant de ce réservoir peut être tel que décrit ci-dessus et représenté sur la Fig. 3A. L'originalité essentielle de ce troisième mode de réalisation concerne le substrat de refroidissement. Ce dernier est ici réalisé sous la forme de deux bandes transporteuses 64 passant sur des rouleaux moteurs 65a et sur des rouleaux de renvoi 65b et 65c. Ces deux bandes comportent deux brins verticaux 64a compris ici entre les rouleaux de renvoi 65b, 65c et qui sont disposés face à face, dans le prolongement de la fente de la buse 3. Ces deux brins sont donc parallèles à la lame liquide 67 sortant de la buse et se déplacent dans la même direction que cette lame. Cette dernière est ainsi reçue entre les deux bandes réceptrices en étant maintenue efficacement et le ruban solidifié 66 est aisément extrait à la partie inférieure du dispositif. Bien entendu, les bandes transporteuses faisant office de substrat de refroidissement peuvent être refroidies par des moyens convenables non représentés.

Dans ce mode de réalisation, le ruban peut avoir une stabilité dimensionnelle améliorée, compte tenu du guidage entre les deux bandes adjacentes 64a.

Le procédé et le dispositif proposé répondent bien aux objectifs recherchés:

- les lèvres de la buse à partir de laquelle s'écoule le matériau liquide ne sont pas soumises aux mêmes contraintes que dans le procédé dans lequel le substrat de refroidissement se trouve très proche de la sortie de la fente, de sorte que dans le dispositif suivant l'invention, la buse peut être réalisée de façon plus simple et moins coûteuse. De plus, elle a une durée de vie bien supérieure, car elle est soumise à une érosion bien plus faible. Les risques d'obturation de cette buse sont également sensiblement réduits,
- par ailleurs, la stabilité dimensionnelle de la lame liquide est assurée de façon efficace, ce qui permet d'obtenir un ruban de dimension régulière, tant en épaisseur qu'en largeur,
- ce résultat est obtenu par des moyens relativement simples et en maintenant la distance entre la sortie de la buse et le substrat récepteur à une valeur suffisamment faible pour que la lame liquide parvienne sur la surface de refroidissement avec une vitesse faible et en tout état de cause suffisamment faible pour ne pas engendrer de perturbation,
- le procédé suivant l'invention permet également d'obtenir des rubans métalliques minces

présentant une grande largeur et ce de façon stable et régulière.

Revendications

1. Procédé d'élaboration d'un ruban à partir d'un matériau électroconducteur en fusion, du type dans lequel on fait s'écouler à partir d'un réservoir (11; 21; 61), à travers une buse (13; 23; 63) un matériau en fusion pour former une lame de section droite sensiblement rectangulaire, puis on soumet cette lame avant solidification à un champ magnétique alternatif produisant un effet de stabilisation, caractérisé en ce qu'on exerce sur la surface d'au moins une grande face de la lame une force de pression à l'aide du champ magnétique alternatif en positionnant du même côté de la lame au moins deux pôles de polarité opposée d'un inducteur, les lignes de champ du premier pôle étant dirigées perpendiculairement vers la lame, s'étendant ensuite suivant une direction parallèle à la lame vers le deuxième pôle, puis étant réorientées perpendiculairement à ladite lame en direction dudit deuxième pôle, et enfin canalisées jusqu'au premier pôle, pour former une boucle.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que les lignes de champ magnétique induites par les pôles sont dirigées suivant la direction d'avancement de la lame.

3. Procédé selon l'une des revendications 1 et 2, caractérisé en ce que les lignes de champ magnétique induites par les pôles sont dirigées suivant une direction sensiblement perpendiculaire à la direction d'avancement de la lame.

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'on choisit pour la buse une section droite en forme de fente sensiblement rectangulaire.

5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce qu'on choisit pour la buse une section droite circulaire et l'on préforme la veine métallique liquide sensiblement cylindrique sortant de cette buse pour lui donner une forme de lame, par l'action d'au moins deux champs magnétiques incidents opposés, en regard l'un de l'autre, disposés de chaque côté de la veine.

6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce qu'une lame de grande largeur est obtenue par coalescence de lames individuelles plus étroites le long de leurs bords longitudinaux.

7. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'on choisit pour le champ magnétique alternatif une fréquence comprise entre 3 et 3000 kHz environ.

8. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'on choisit pour le champ magnétique une intensité comprise entre 1 et 1000 millitesla environ.

9. Procédé d'élaboration d'un ruban métallique ou semi-métallique selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que la solidification est réalisée par mise en

contact de la lame stabilisée avec un substrat mobile (14, 64).

10. Dispositif pour la mise en œuvre du procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, du type comprenant un réservoir (11; 21; 61) contenant un matériau en fusion et comportant à sa partie inférieure une buse (13; 23; 63) pour l'écoulement de ce matériau, des moyens de formation d'une lame et de solidification de cette dernière, disposés en aval du réservoir, des moyens électromagnétiques disposés dans une zone située entre les moyens de formation de la lame et les moyens de solidification, ces moyens électromagnétiques étant adaptés pour exercer sur au moins une face de la lame un effet de stabilisation, caractérisé en ce que les moyens électromagnétiques comprennent au moins deux bobines d'induction (32a, 33a), d'axes parallèles, perpendiculaires au plan de la lame, ces deux bobines étant disposées d'un même côté de la lame, un noyau de ferrite (34a) en forme de U logé entre les bobines (32a, 33a) de telle sorte que chaque branche du U (35a, 36a) pénètre dans les bobines (32a, 33a), ces bobines étant alimentées en courant alternatif de façon telle que les extrémités en regard de la lame des branches (35a, 36a) du noyau de ferrite (34a) constituent des pôles de signes contraires.

11. Dispositif selon la revendication 10, caractérisé en ce que les moyens électromagnétiques comprennent deux autres bobines d'induction (32b, 33b) d'axes parallèles, perpendiculaires au plan de la lame, disposées sur l'autre face de la lame (31) de manière symétrique des premières bobines (32a, 33a) par rapport au plan de la lame et un deuxième noyau de ferrite (34b) en forme de U logé entre les bobines (32b, 33b) de telle manière que chaque branche de U (35b, 36b) pénètre dans lesdites autres bobines, les polarités des extrémités en vis-à-vis des branches (35a, 35b; 36a, 36b) des noyaux de ferrite (34a, 34b) étant les mêmes.

12. Dispositif selon l'une des revendications 10, 11 et 12, caractérisé en ce que les bobines d'induction (32a, 33a; 32b, 33b) situées d'un même côté de la lame (31) sont disposées l'une au-dessus de l'autre parallèlement à la direction d'avancement de la lame.

13. Dispositif selon l'une des revendications 10 à 12, caractérisé en ce que les bobines d'induction (32a, 33a; 32b, 33b) situées d'un même côté de la lame (31) sont disposées l'une à côté de l'autre perpendiculairement à la direction d'avancement de la lame.

14. Dispositif selon les revendications 12 et 13, caractérisé en ce qu'il comprend un réseau de bobines d'induction disposées respectivement, parallèlement et perpendiculairement à la direction d'avancement de la lame et dont les pôles adjacents en regard de la lame ont des polarités alternées.

15. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 10 à 14, caractérisé en ce que la buse a une section droite en forme de fente sensiblement rectangulaire.

16. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 10 à 14, caractérisé en ce que la buse a une section droite sensiblement circulaire et la veine métallique liquide sensiblement cylindrique est préformée en forme de lame par passage entre des bobines situées à un niveau supérieur (32a, 32b) du dispositif, la stabilisation étant réalisée par le passage entre des bobines (33a, 33b) situées à un niveau inférieur.

17. Dispositif suivant les revendications 10 à 16, caractérisé en ce que les noyaux (34a, 34b) de ferrite ou matériau analogue s'étendent sur à peu près toute la largeur de ladite lame (31).

18. Dispositif suivant l'une quelconque des revendications 10 à 17, caractérisé en ce que les bobines sont alimentées par un courant alternatif à haute fréquence, comprise entre 3 et 3000 kHz environ.

19. Dispositif suivant l'une quelconque des revendications 10 à 18, caractérisé en ce que l'intensité du champ magnétique est comprise entre 1 et 1000 millitesla environ.

20. Dispositif suivant la revendication 10, caractérisé en ce que les moyens de solidification comprennent un substrat mobile sur lequel on dépose le matériau sous forme de deux bandes sans fin (64) comportant deux brins (64a) parallèles, en regard, délimitant entre eux un intervalle situé dans l'alignement de la buse (63) et de la lame (67) sortant de cette buse, les deux brins (64a) se déplaçant dans la même direction que ladite lame.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines Bandes aus einem geschmolzenen elektrisch leitenden Werkstoff, bei dem man einen geschmolzenen Werkstoff aus einem Behälter (11; 21; 61) durch eine Spritzdüse (13; 23; 63) ausströmen lässt, um ein Band mit rechteckigem Querschnitt zu bilden, und anschliessend dieses Band vor Verfestigung einem magnetischen Wechselfeld aussetzt, das eine stabilisierende Wirkung erzeugt, dadurch gekennzeichnet, dass auf die Oberfläche mindestens einer grossen Seite des Bandes eine Druckkraft mit Hilfe eines magnetischen Wechselfeldes ausgeübt wird, indem auf einer gemeinsamen Seite des Bandes mindestens zwei Pole entgegengesetzter Polarität eines Induktors angeordnet werden, wobei die Feldlinien des ersten Pols senkrecht auf das Band zu gerichtet werden, sich anschliessend in einer zum Band parallelen Richtung auf den zweiten Pol zu erstrecken, worauf sie senkrecht zum Band in Richtung auf den zweiten Pol umgelenkt werden und schliesslich bis zu dem ersten Pol geleitet werden, so dass sie einen Ring bilden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die durch die Pole induzierten Magnetfeldlinien in der Vorschubrichtung des Bandes gerichtet werden.

3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, dass die durch die Pole induzierten Magnetfeldlinien in einer zur

Vorschubrichtung des Bandes im wesentlichen senkrechten Richtung gerichtet werden.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass für die Spritzdüse ein Querschnitt in Form eines im wesentlichen rechteckigen Schlitzes gewählt wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass für die Spritzdüse ein kreisförmiger Querschnitt gewählt wird und dass die aus dieser Spritzdüse austretende, im wesentlichen zylindrische Ader flüssigen Metalls vorgeformt wird, um ihr eine Bandform zu geben, und zwar durch Einwirkung von mindestens zwei entgegengesetzten einfallenden Magnetfeldern, die einander gegenüberliegen und auf jeder Seite der Ader angeordnet sind.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein Band grosser Breite durch Zusammenwachsen von schmälere Einzelbändern längs ihren Längsrändern gebildet wird.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass für das magnetische Wechselfeld eine Frequenz von etwa 3 bis 3000 kHz gewählt wird.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass für das Magnetfeld eine Stärke von etwa 1 bis 1000 Millitesla gewählt wird.

9. Verfahren zur Herstellung eines Metall- oder Halbmetallbandes nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Verfestigung dadurch erreicht wird, dass das stabilisierte Band mit einem beweglichen Substrat (14, 64) in Kontakt gebracht wird.

10. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche mit einem Behälter (11; 21; 61), der einen geschmolzenen Werkstoff enthält und an seinem unteren Ende eine Spritzdüse (13; 23; 63) zum Ausfliessen dieses Werkstoffs besitzt, hinter dem Behälter angeordnete Einrichtungen zur Formung eines Bandes und zu seiner Verfestigung, elektromagnetische Einrichtungen, die in einem zwischen den Einrichtungen zur Formung des Bandes und den Verfestigungseinrichtungen gelegenen Bereich angeordnet sind und auf mindestens eine Seite des Bandes eine stabilisierende Wirkung ausüben können, dadurch gekennzeichnet, dass die elektromagnetischen Einrichtungen mindestens aus zwei Induktionsspulen (32a, 33a) mit zueinander parallelen und zur Ebene des Bandes senkrechten Achsen, die auf einer gemeinsamen Seite des Bandes angeordnet sind, und einem U-förmigen Ferritkern (34a) bestehen, der zwischen den Spulen (32a, 33a) so angeordnet ist, dass jeder Schenkel (35a, 36a) des U's in die Spulen (32a, 33a) eintritt, wobei die Spulen so mit Wechselstrom gespeist sind, dass die dem Band gegenüberstehenden Enden der Schenkel (35a, 36a) des Ferritkerns (34a) Pole mit entgegengesetzten Vorzeichen bilden.

11. Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die elektromagnetischen Einrichtungen zwei weitere Induktionsspulen

(32b, 33b) mit zueinander parallelen und zur Ebene des Bandes senkrechten Achsen, die auf der anderen Seite des Bandes (31) bezüglich der Ebene des Bandes symmetrisch zu den ersten Spulen (32a, 33a) angeordnet sind, und einen zweiten U-förmigen Ferritkern (34b) besitzen, der zwischen den Spulen (32b, 33b) so angeordnet ist, dass jeder Schenkel (35b, 36b) des U's in diese beiden anderen Spulen eintritt, wobei die einander gegenüberstehenden Enden der Schenkel (35a, 35b; 36a, 36b) der Ferritkerne (34a, 34b) dieselbe Polarität haben.

12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10, 11 und 12, dadurch gekennzeichnet, dass die auf derselben Seite des Bandes (31) angeordneten Induktionsspulen (32a, 33a; 32b, 33b) parallel zur Vorschubrichtung des Bandes übereinander angeordnet sind.

13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass die auf derselben Seite des Bandes (31) angeordneten Induktionsspulen (32a, 33a; 32b, 33b) senkrecht zur Vorschubrichtung des Bandes nebeneinander angeordnet sind.

14. Vorrichtung nach den Ansprüchen 12 und 13, gekennzeichnet durch ein Netz von Induktionsspulen, die parallel bzw. senkrecht zur Vorschubrichtung des Bandes angeordnet sind und deren dem Band gegenüberstehende, benachbarte Pole einander abwechselnde Polaritäten haben.

15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Spritzdüse einen Querschnitt in Form eines im wesentlichen rechteckigen Schlitzes hat.

16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Spritzdüse einen im wesentlichen kreisförmigen Querschnitt hat und dass die im wesentlichen zylindrische flüssige Metallader in Bandform durch Durchgang zwischen Spulen (32a, 32b) vorgeformt ist, die in einem höheren Niveau der Vorrichtung angeordnet sind, wobei die Stabilisierung durch den Durchgang zwischen Spulen (33a, 33b), die in einem niedrigeren Niveau angeordnet sind, stattfindet.

17. Vorrichtung nach den Ansprüchen 10 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Kerne (34a, 34b) aus Ferrit oder einem ähnlichen Werkstoff sich etwa über die gesamte Breite des Bandes (31) erstrecken.

18. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass die Spulen mit einem Wechselstrom mit einer hohen Frequenz von etwa 3 bis 3000 kHz gespeist sind.

19. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 18, dadurch gekennzeichnet, dass die Stärke des Magnetfelds etwa zwischen 1 und 1000 Millitesla beträgt.

20. Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Verfestigungseinrichtungen aus einem beweglichen Substrat bestehen, auf dem der Werkstoff aufgebracht wird und die Form von zwei endlosen Bändern (64) mit zwei einander gegenüberstehenden und zueinan-

der parallelen Abschnitten (64a) hat, die miteinander einen Zwischenraum abgrenzen, der in der Verlängerung der Spritzdüse (23) und des aus dieser austretenden Bandes (67) liegt und sich in derselben Richtung wie das Band bewegen.

Claims

1. A process for the production of a ribbon from a molten electrically conductive material, of the kind wherein a molten material is caused to flow from a reservoir (11; 21; 61) through a nozzle (13; 23; 63) to form a strip of substantially rectangular cross-section, whereafter the strip is subjected prior to solidification to an alternating magnetic field producing a stabilizing effect, characterized in that a pressure is exerted on the surface of at least one major face of the strip by means of the alternating magnetic field, by positioning on the same side of the strip at least two poles of opposite polarity of an inductor, the field lines of the first pole being directed perpendicular towards the strip, then extending in a direction parallel with the strip towards the second pole and then being reoriented perpendicularly to the strip in the direction of the second pole and finally channelled as far as the first pole, to form a loop.

2. A process according to claim 1, characterized in that the magnetic field lines induced by the poles are directed in the direction of forward movement of the strip.

3. A process according to claims 1 or 2, characterized in that the magnetic field lines induced by the poles are directed in a direction substantially perpendicular to the direction of forward movement of the strip.

4. A process according to any of the preceding claims, characterized in that a cross-section in the form of a substantially rectangular slot is selected for the nozzle.

5. A process according to any of claims 1 to 3, characterized in that a circular cross-section is selected for the nozzle and the substantially cylindrical liquid metal jet emerging from the nozzle is shaped into the form of a strip by means of at least two facing opposite incident magnetic fields disposed on each side of the jet.

6. A process according to any of claims 1 to 5, characterized in that a strip of very large width is obtained by the coalescence of narrower individual strips along their longitudinal edges.

7. A process according to any of the preceding claims, characterized in that a frequency of between 3 and 3000 kHz approximately is selected for the alternating magnetic field.

8. A process according to any of the preceding claims, characterized in that an intensity of between 1 and 1000 millitesla approximately is selected for the magnetic field.

9. A process for the production of a metallic or semi-metallic ribbon according to any of the preceding claims, characterized in that solidification is performed by contacting the stabilized strip with a mobile substrate (14, 64).

10. An apparatus for the performance of the process according to any of the preceding claims, of the kind comprising a reservoir (11; 21; 61) containing a molten material and comprising in its lower part a nozzle (13; 23; 63) for the flow of the material, means disposed downstream of the reservoir for the formation and solidification of a strip, and electromagnetic means disposed in a zone between the means for the formation of the strip and the means for its solidification, the electromagnetic means being adapted to exert a stabilizing effect on at least one face of the strip, characterized in that the electromagnetic means comprise at least two induction coils (32a, 33a) of parallel axes perpendicular to the plane of the strip, the two coils being disposed on the same side of the strip, a U-shaped ferrite core (34a) being so disposed between the coils (32a, 33a) that each arm of the V (35a, 36a) enters the coils (32a, 33a), the coils being so supplied with alternating current that the ends of the arms (35a, 36a) of the ferrite core (34a) facing the strip form poles of opposite signs.

11. An apparatus according to claim 10, characterized in that the electromagnetic means comprise two other induction coils (32b, 33b) of parallel axes perpendicular to the plane of the strip, such coils being disposed on the other face of the strip (31) symmetrically of the first coils (32a, 33a) in relation to the plane of the strip and a second U-shaped ferrite core (34b) so disposed between the coils (32b, 33b) that each arm of the U enters the other coils (32b, 33b), the polarities of the ends opposite the arms (35a, 35b; 36a, 36b) of the ferrite cores (34a, 34b) being identical.

12. An apparatus according to one of claims 10, 11 and 12, characterized in that the induction coils (32a, 33a; 32b, 33b) situated on the same side of the strip (31) are disposed one above the other parallel with the direction of forward movement of the strip.

13. An apparatus according to one of claims 10 to 12, characterized in that the induction coils

(32a, 33a; 32b, 33b) situated on the same side of the strip (31) are disposed one beside the other perpendicularly to the direction of forward movement of the strip.

14. An apparatus according to claims 12 and 13, characterized in that it comprises a network of induction coils disposed respectively parallel with and perpendicular to the direction of forward movement of the strip, their adjacent poles opposite the strip having alternating polarities.

15. An apparatus according to any of claims 10 to 14, characterized in that the nozzle has a cross-section in the form of a substantially rectangular slot.

16. An apparatus according to any of claims 10 to 14, characterized in that the nozzle has a substantially circular cross-section and the substantially cylindrical liquid metal jet is preshaped into the form of a strip by passing between coils disposed at a higher level (32a, 32b) of the apparatus, stabilization being obtained by passage between coils (33a, 33b) situated at a lower level.

17. An apparatus according to claims 10 to 16, characterized in that the cores (34a, 34b) of ferrite or a similar material extend over substantially the whole length of the strip (31).

18. An apparatus according to any of claims 10 to 17, characterized in that the coils are supplied with a high frequency alternating current of between 3 and 3000 kHz approximately.

19. An apparatus according to any of claims 10 to 18, characterized in that the intensity of the magnetic field is between 1 and 1000 millitesla approximately.

20. An apparatus according to claim 10, characterized in that the solidifying means comprise a mobile substrate on which the material is deposited in the form of two endless bands (64) comprising two parallel facing strands (64a) which bound between themselves a gap lying in the alignment of the nozzle (63) and the strip (67) emerging from the nozzle, the two strands (64a) moving in the same direction as the strip.

45

50

55

60

65

10

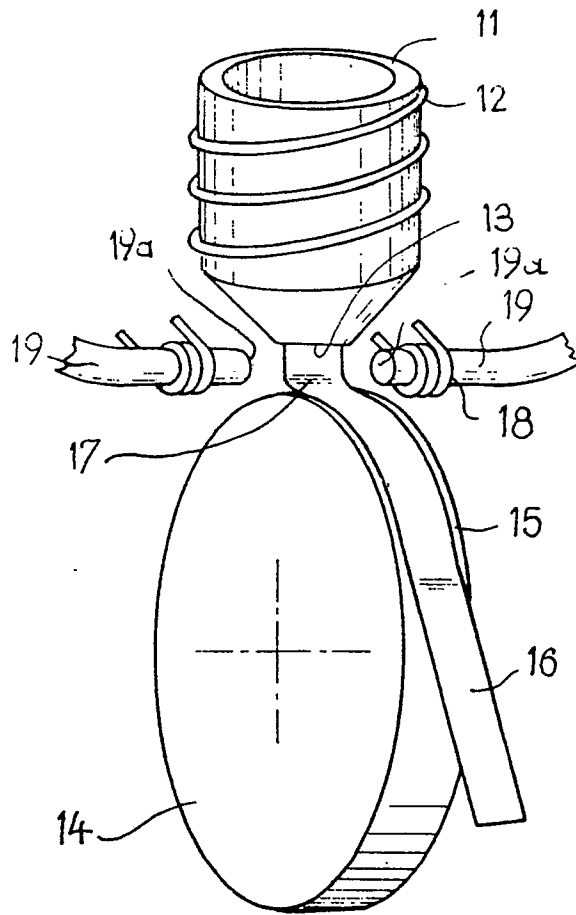


FIG. 1

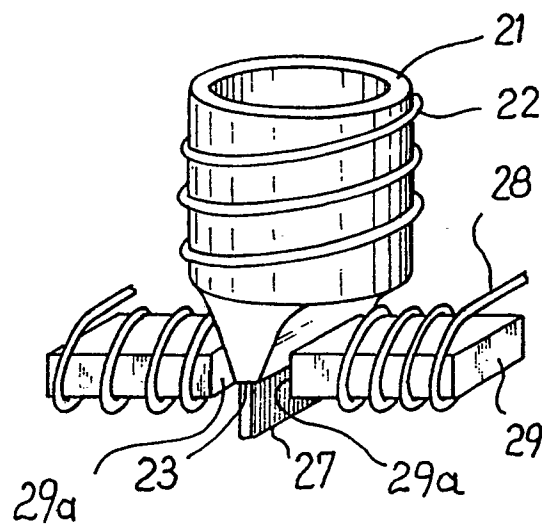


FIG. 2

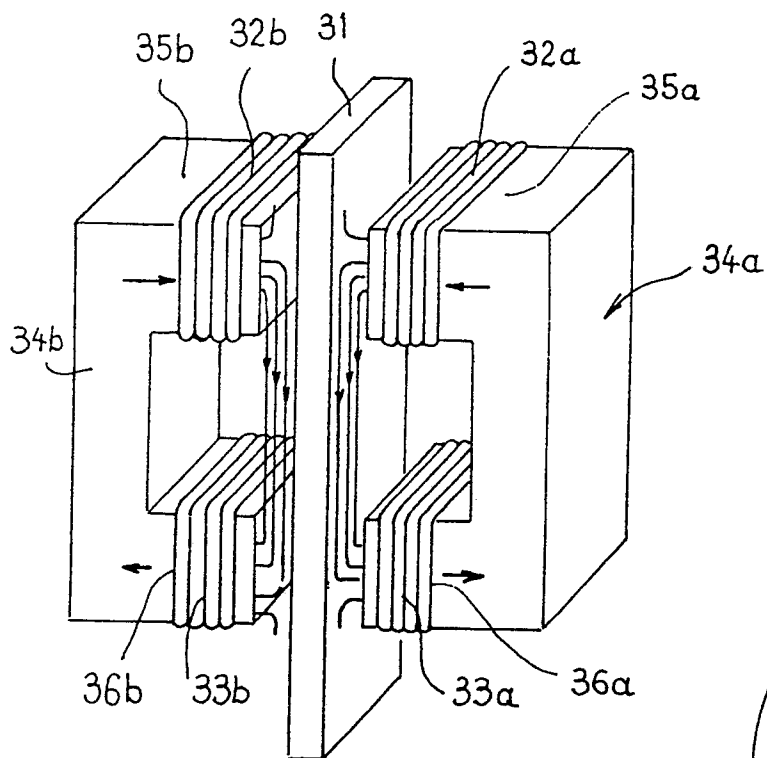


FIG. 3A

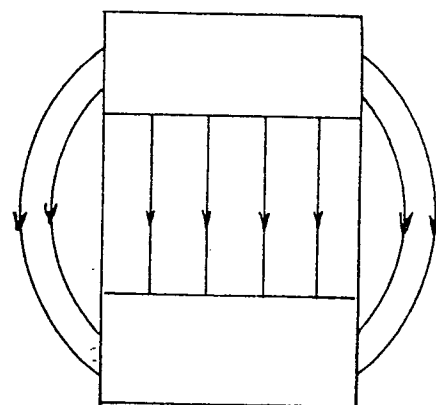


FIG. 3B

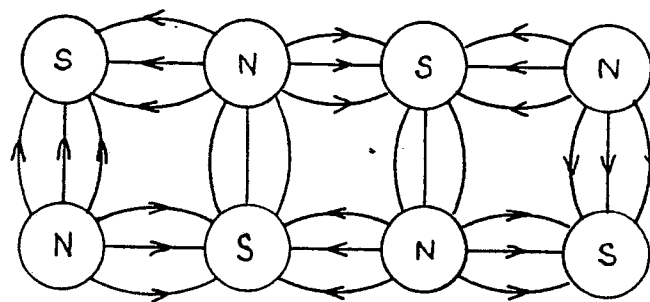


FIG. 4

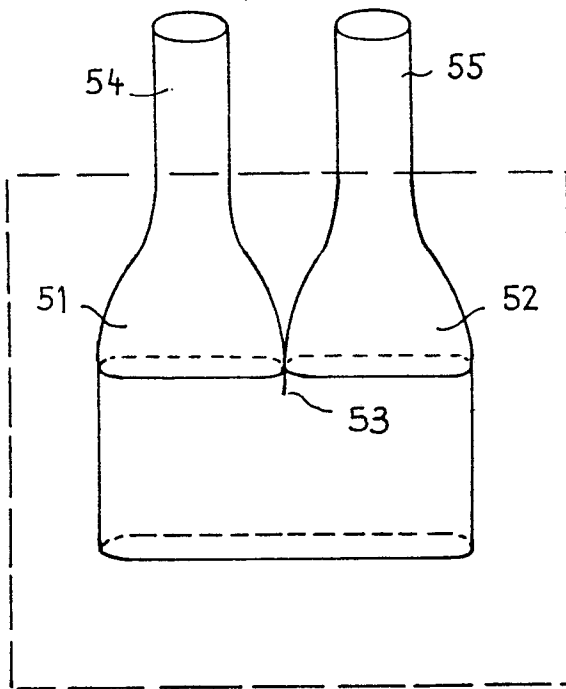


FIG. 5



FIG. 7

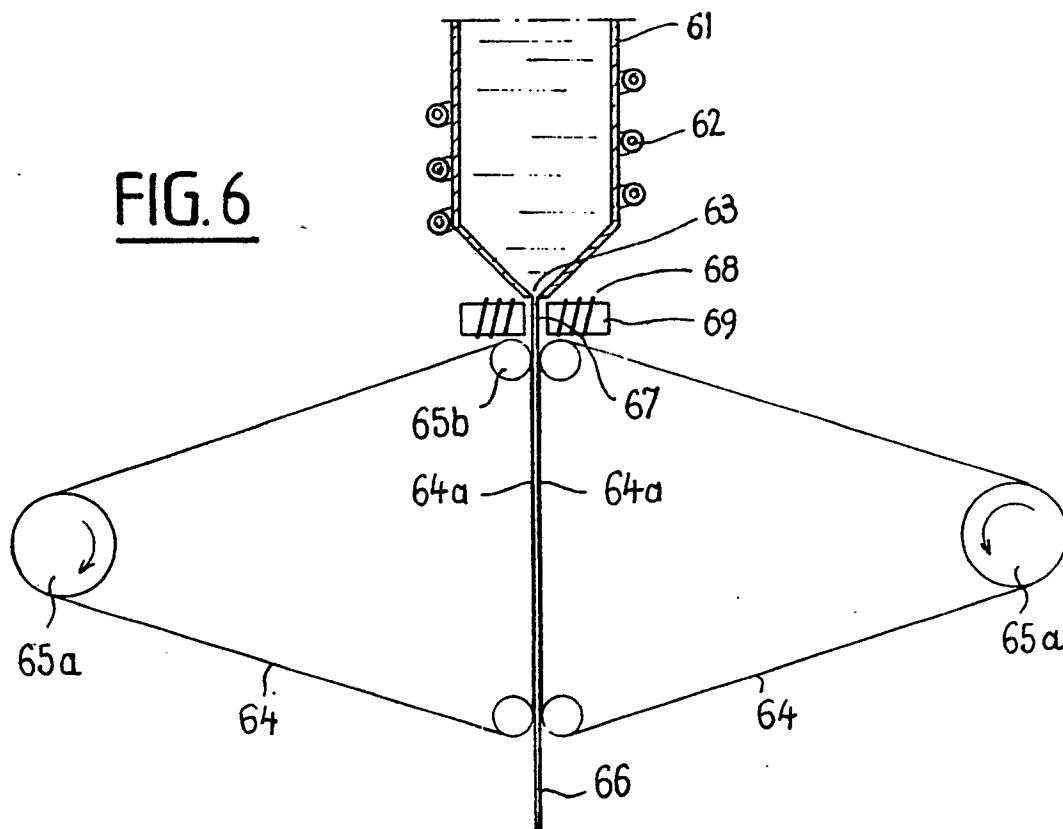


FIG. 6