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

(11) EP 0 636 848 B1

(12) **FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention de la délivrance du brevet:
30.09.1998 Bulletin 1998/40

(51) Int Cl.[6]: **F27B 14/06**, H05B 6/34, B22D 11/10, B22D 39/00

(21) Numéro de dépôt: **94401703.7**

(22) Date de dépôt: **25.07.1994**

(54) **Procédé de fusion d'un matériau électroconducteur dans un four de fusion par induction en creuset froid et four de fusion pour la mise en oeuvre de ce procédé**

Schmelzverfahren von elektroleitenden Materialien in einem Induktionsschmelzofen mit kaltem Tiegel und Ofen dafür

Smelting process of electrically-conductive materials in an induction smelting furnace with a cold crucible and furnace therefor

(84) Etats contractants désignés:
BE CH DE ES FR GB IT LI SE

(30) Priorité: **29.07.1993 FR 9309366**

(43) Date de publication de la demande:
01.02.1995 Bulletin 1995/05

(73) Titulaire: **TECPHY**
92800 Puteaux (FR)

(72) Inventeurs:
- **Colpo, Pascal**
  F-74000 Annecy (FR)
- **Driole, Jean**
  F-38100 Grenoble (FR)
- **Witzke, Sylvain**
  F-58160 Sauvigny Les Bois (FR)

(74) Mandataire: **Lanceplaine, Jean-Claude et al**
CABINET LAVOIX
2, Place d'Estienne d'Orves
75441 Paris Cédex 09 (FR)

(56) Documents cités:
EP-A- 0 005 676
EP-A- 0 021 889
EP-A- 0 408 453
DE-A- 1 583 445
FR-A- 2 665 249

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).

EP 0 636 848 B1

Description

La présente invention a pour objet un procédé de fusion d'un matériau électroconducteur dans un four de fusion par induction en creuset froid et un four de fusion pour la mise en oeuvre de ce procédé.

On connaît un procédé de fusion d'un matériau électroconducteur dans un four de fusion par induction en creuset froid, dans lequel on chauffe une masse d'un matériau électroconducteur jusqu'à sa température de fusion, on décante les particules inclusionnaires solides contenues dans le matériau électoconducteur liquide et on coule une partie de la masse dudit matériau électroconducteur liquide par un conduit de coulée disposé audessous dudit four de fusion.

Ce procédé est généralement utilisé pour réaliser une coulée stabilisée d'un métal fondu avec un débit de coulée variable pour l'élaboration de poudres métalliques par atomisation.

A cet effet, on connaît des fours de fusion par induction dans lesquels on utilise un creuset destiné à recevoir un matériau électroconducteur et qui est appelé creuset froid car il est en permanence refroidi.

Dans de tels fours, on provoque la fusion partielle ou totale d'une masse du matériau électroconducteur liquide par confinement électromagnétique de façon à écarter de la paroi du creuset la masse dudit matériau électroconducteur liquide.

Pour cela, le creuset est composé de plusieurs secteurs métalliques isolés électriquement les uns des autres et entourés d'un moyen de chauffage par induction électromagnétique du matériau électroconducteur contenu dans ledit creuset.

Le creuset est par exemple de forme cylindrique comportant un fond sensiblement hémisphérique ou conique muni d'un orifice de coulée sur lequel est fixé un tube de coulée de la masse du matériau électroconducteur liquide.

Les fours de fusion par induction à creuset froid métallique sont préférés aux fours à creuset réfractaires qui polluent la masse de matériau électroconducteur liquide par le contact dudit matériau avec les parois réfractaires du creuset.

La pollution est due à la formation de particules inclusionnaires de composés par exemple oxydés.

Dans des applications particulières, notamment dans l'élaboration de poudres par atomisation de métaux, cette pollution incorpore dans les poudres de nombreuses inclusions et il est notamment reconnu que la présence de telles inclusions dans des pièces tournantes de moteur aéronautique, par exemple à base de nickel, peut être à l'origine de défauts de tenue en service de ces pièces soumises à des sollicitations en fatigue et entraînent notamment des ruptures prématurées des pièces soumises à de fortes contraintes à haute température.

Pour éviter ces inconvénients, des solutions, ne donnant par entièrement satisfaction, ont été proposées sur la base de l'utilisation d'une busette électromagnétique formant l'orifice de coulée de la masse du matériau électoconducteur liquide sans que celui-ci soit en contact avec les parois de ladite busette.

Dans le domaine de la régulation d'un débit d'écoulement d'un métal liquide à travers un tube de coulée, les brevets FR-A-2 316 026, FR-A-2 396 612 et FR-A-2 397 251 décrivent également des dispositifs électromagnétiques fonctionnant à haute fréquence dans lesquels un écran de cuivre est nécessaire pour obtenir le confinement souhaité.

La mise en oeuvre industrielle d'un tel dispositif, tel que sur une installation d'atomisation de poudres de superalliage à base de nickel présente toutefois de sérieuses difficultés.

Pour éviter ces difficultés, on connaît dans le brevet FR-A-2 649 625 une busette électromagnétique comprenant un inducteur à spires associé à un dispositif concentreur de champ magnétique disposé entre l'inducteur à spires et les parois de l'orifice de coulée.

Une telle busette présente l'inconvénient d'être conditionnée, dans son fonctionnement, par le choix de paramètres spécifiques de dimension, ainsi que des paramètres de définition du champ magnétique appliqué comme par exemple la fréquence et l'intensité dudit champ magnétique.

D'autre part, cette busette présente un fort encombrement et un faible rendement.

Par ailleurs, on connaît également dans le brevet FR-A-2 665 249 un four à creuset froid associé à une culasse magnétique qui permet de provoquer un resserrement des lignes de champ au niveau de la surface supérieure de la charge en fusion contenue dans le creuset.

Ce resserrement des lignes de champ provoque un entraînement centripète de la matière en fusion au niveau de la surface du matériau fondu, ce qui entraîne en conséquence un brassage de la charge en fusion dans un sens inverse au sens naturel de brassage qui se produit en absence d'une telle culasse.

Ce mouvement centripète au niveau de la surface supérieure de la charge en fusion permet aux matières non encore parfaitement fondues flottant sur la surface de la charge, d'être amenées au centre et d'être englouties ensuite dans cette charge, et de ce fait permet un brassage de la masse de matériaux fondus sans tenir compte des inclusions présentes dans ladite masse fondue.

On connaît également dans le brevet FR-A-2 646 858 un procédé de décantation des inclusions d'une masse métallique fondue, dans lequel on utilise un déplacement des particules inclusionnaires vers la surface, dans l'épaisseur de la peau électromagnétique, puis un piégeage des particules par les parties les plus froides du creuset.

Dans ce procédé, on utilise deux phénomènes qui sont un brassage électromagnétique permettant d'amener au sein de la masse de métal fondu les inclusions

vers la zone de peau électromagnétique et une capture des inclusions dans la zone de peau, lesdites inclusions étant déportées vers la paroi du creuset et la surface de la masse métallique fondue sous l'effet des forces de pression magnétiques.

L'invention a pour but de proposer un procédé de fusion d'un matériau électroconducteur dans un four de fusion par induction en creuset froid qui permet d'assurer une purification dynamique en volume de la masse du matériau électroconducteur liquide avant et pendant la coulée, par décantation des inclusions.

L'invention a donc pour objet un procédé de fusion d'un matériau électroconducteur dans un four de fusion par induction en creuset froid, procédé dans lequel :

- on confine électromagnétiquement dans le four de fusion, une masse du matériau électroconducteur jusqu'à sa température de fusion,
- on décante les particules inclusionnaires contenues dans le matériau électroconducteur liquide,
- on coule une partie de la masse du matériau électroconducteur liquide par un tube de coulée disposé au-dessous dudit four de fusion,
- on soumet le jet de coulée du matériau électroconducteur liquide à un confinement électromagnétique radial,

caractérisé en ce que :

- ou soumet le jet de coulée du matériau électroconducteur liquide à ce confinement à l'aide d'une bobine électromagnétique extraplate,
- on assure un alignement coaxial vertical du champ électromagnétique agissant sur la masse du matériau électroconducteur liquide et sur le jet de coulée de ladite masse,
- et on crée dans la masse du matériau électroconducteur liquide par brassage électromagnétique, au moins un vortex dans lequel les particules inclusionnaires sont entraînées dans un mouvement tourbillonnaire et décantées en atteignant la surface de ladite masse du matériau électroconducteur liquide.

Selon une autre caractéristique de l'invention, on crée, dans la masse du matériau électroconducteur en fusion soumise au brassage électromagnétique, au moins deux vortex superposés.

L'invention a également pour objet un four de fusion d'un matériau électoconducteur par induction en creuset froid, pour la mise en oeuvre du procédé mentionné ci-dessus, ledit four de fusion comprenant un creuset destiné à contenir ledit matériau électroconducteur et formé de plusieurs secteurs métalliques isolés électriquement les uns des autres, des moyens de refroidissement des secteurs métalliques, des moyens de chauffage par induction électromagnétique du matériau électroconducteur disposés autour du creuset, un tube de coulée du matériau électroconducteur liquide disposé verticalement au-dessous du creuset et des moyens électromagnétiques de confinement du jet de matériau électroconducteur liquide dans le tube de coulée, lesdits moyens électromagnétiques étant disposés autour du tube de coulée et alimentés par un générateur, caractérisé en ce que les moyens électromagnétiques de confinement du jet de matériau électroconducteur sont formés par une bobine électromagnétique extraplate et en ce qu'il comporte des moyens de centrage de ladite bobine électromagnétique extraplate par rapport à l'axe vertical du tube de coulée et du creuset et des moyens de centrage et de positionnement des secteurs du creuset par rapport aux moyens de chauffage par induction électromagnétique du matériau électroconducteur et par rapport aux moyens électromagnétiques de confinement du jet de matériau électroconducteur liquide.

Selon d'autres caractéristiques de l'invention :

- les moyens de centrage de la bobine électromagnétique extraplate sont formés par une enveloppe en matériau isolant électrique et thermique insérant lesdits moyens électromagnétiques de confinement du jet,
- les moyens de centrage et de positionnement des secteurs du creuset sont formés par une coquille en matériau isolant électrique et thermique disposée autour desdits secteurs et insérant les moyens de chauffage par induction électromagnétique du matériau électroconducteur et les moyens de refroidissement desdits secteurs,
- la bobine électromagnétique comporte dix spires sous forme de plaques de cuivre, reparties sur une hauteur de 30mm, pour un jet de matériau électroconducteur d'environ 12mm de diamètre,
- le tube de coulée est formé par un cylindre métallique sectorisé à double paroi, refroidi par circulation d'un fluide,
- le générateur d'alimentation de la bobine électromagnétique extraplate délivrent un signal à une fréquence déterminée pour que le rapport entre le rayon de la section du jet de matériau électroconducteur et la profondeur de pénétration du champ électromagnétique soit supérieur à 1,7.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description qui va suivre donnée uniquement à titre d'exemple et faite en se référant aux dessins annexés, sur lesquels:

- la Fig. 1 est une vue schématique en coupe d'un four de fusion par induction en creuset froid selon l'invention,
- la Fig. 2 est une vue schématique en coupe et à plus grande échelle du tube de coulée disposé au-dessous du four de fusion,
- la Fig. 3 est une schéma de la masse du matériau électroconducteur confinée électromagnétique-

ment,

- les Figs. 4 et 5 sont deux schémas matérialisant le déplacement des particules inclusionnaires dans la masse du matériau électroconducteur,
- la Fig. 6 est une courbe représentant une variation du saut de pression magnétique entre l'axe du jet de coulée et sa surface en fonction de la fréquence du signal délivré par le générateur d'alimentation des moyens électromagnétiques de confinement du jet de coulée.

Sur la Fig. 1, on a représenté schématiquement un four de fusion 10 par induction en creuset froid destiné notamment à la purification d'une masse 1 d'un matériau électroconducteur avant son atomisation pour la fabrication de poudres.

Le four de fusion 10 comprend un creuset 11 destiné à contenir le matériau électroconducteur 1 et formé de plusieurs secteurs métalliques 12 isolés électriquement les uns des autres et pourvus chacun d'un moyen de refroidissement par circulation d'eau non représenté sur la Fig. 1.

Le nombre de secteurs métalliques 12 est par exemple de neuf.

Le creuset 11 est par exemple de forme cylindrique se prolongeant par un fond sensiblement hémisphérique ou conique muni d'un orifice 13 de coulée de la masse du matériau électroconducteur 1 liquide.

Le four de fusion 10 comprend également des moyens 14 de chauffage par induction électromagnétique du matériau électroconducteur 1 disposés autour du creuset 10.

Ces moyens 14 de chauffage par induction électromagnétique sont composés par exemple de huit spires.

Le four de fusion 10 comporte aussi un tube de coulée 15 du matériau électroconducteur 1 liquide disposé verticalement au-dessous du creuset 11 et dans l'axe de l'orifice de coulée 13 et des moyens 16 de confinement du jet de matériau électroconducteur 1 liquide dans ledit tube de coulée 15.

Les moyens 16 électromagnétiques de confinement du jet de matériau électroconducteur liquide sont disposés autour du tube de coulée 15 et alimentés par un générateur non représenté sur les figures.

Comme représenté sur la Fig. 2, le tube de coulée 15 est formé de huit secteurs de cylindre 15a refroidis par un circuit 17 de circulation d'un fluide comme par exemple de l'eau.

Les moyens 16 de confinement du jet de matériau électroconducteur 1 liquide dans le tube de coulée 15 sont formés par une bobine électromagnétique extraplate 16, comme par exemple une bobine de BITTER, comportant par exemple dix spires 16a sous forme de plaques de cuivre, réparties sur une hauteur de 30mm, pour un jet de matériau électroconducteur d'environ 12mm de diamètre.

Chacune des plaques de cuivre est percée de trente-six trous de 2,5mm de diamètre reliés à un circuit 18 de circulation d'eau transversale pour le refroidissement de la bobine électromagnétique 16.

D'autre part, le four de fusion 10 comporte des moyens 20 de centrage de la bobine électromagnétique 16 de confinement du jet de matériau électroconducteur liquide par rapport à l'axe vertical du tube de coulée 15 et du creuset 11 et des moyens 25 de centrage et de positionnement des secteurs 12 du creuset 11 par rapport aux moyens 14 de chauffage par induction électromagnétique du matériau électroconducteur 1 et par rapport à la bobine électromagnétique 16.

Les moyens de centrage de la bobine électromagnétique 16 sont formés par une enveloppe 20 en matériau isolant par exemple de PERMAGLAS insérant les spires 16a de ladite bobine électromagnétique 16.

Les moyens de centrage et de positionnement des secteurs 12 du creuset 11 sont formés par une coquille 25 en matériau isolant par exemple de PERMAGLAS disposée autour dudit secteur 12 et insérant les moyens 14 de chauffage par induction électromagnétique du matériau électroconducteur 1 et les moyens de refroidissement des secteurs 12.

Cet enrobage permet de maintenir les spires des moyens 14 de chauffage par induction du matériau électroconducteur 1 et le creuset 11 ce qui évite des perturbations hydrodynamiques dans la masse de matériau électroconducteur liquide.

Dans le cas d'élaboration par atomisation du matériau électroconducteur sous forme d'une poudre, le four à induction 1 comprenant le creuset 11 et le tube de coulée 15 peut être placé dans une enceinte sous atmosphère contrôlée et le jet d'écoulement du matériau électroconducteur est soumis à éclatement pour la mise en forme de la poudre.

La parfaite géométrie cylindrique verticale du jet de coulée du matériau électroconducteur est une caractéristique importante, voire essentielle de la bonne qualité des poudres obtenues par atomisation.

Selon un exemple d'application, la masse de matériau électroconducteur 1 constituée par un acier superalliage de 5 cm de rayon est placée dans le creuset 11 et la puissance transmise par les moyens 14 de chauffage par induction électromagnétique et de l'ordre de 50 KW pour un courant de 1000 A à la fréquence de 20KHz.

Le procédé de fusion du matériau électroconducteur 1 dans le four de fusion 10 consiste :

- à confiner électromagnétiquement, dans le four de fusion 10, la masse du matériau électroconducteur 1 jusqu'à sa température de fusion,
- à décanter les particules inclusionnaires solides ou liquides contenues dans le matériau électroconducteur 1 liquide,
- à couler une partie de la masse du matériau électroconducteur 1 liquide par le tube de coulée 15, à soumettre le jet de coulée du matériau électroconducteur liquide 1 à un confinement électromagnétique radial,

- à assurer un alignement coaxial vertical des champs électromagnétiques agissant sur la masse du matériau électroconducteur 1 liquide et sur le jet de coulée de ladite masse,
- et à créer, dans la masse du matériau électroconducteur 1 liquide par brassage électromagnétique, au moins un vortex 30 (Fig. 3) dans lequel les particules inclusionnaires solides sont entraînées dans un mouvement tourbillonnaire et décantées en atteignant la surface de ladite masse du matériau électroconducteur 1 liquide.

De préférence, on crée, dans la masse du matériau électroconducteur 1 liquide soumise au brassage électromagnétique, au moins deux vortex 30 superposés.

En effet, la Demanderesse a constaté que les particules non conductrices, contenues dans la masse de matériau électroconducteur 1 à traiter, étaient soumises, en milieu tourbillonnaire électromagnétique, à une série de forces telles que force de traînée, masse virtuelle, poussée d'Archimède, pression hydrodynamique, force de lorentz ce qui a permis d'en déduire le comportement des inclusions dans un brassage électromagnétique particulier.

En tenant compte de ces différents paramètres, la Demanderesse a déterminé une configuration la plus favorable à la séparation des particules inclusionnaires non conductrices contenues dans la masse du matériau électroconducteur fondue et confinée et à leur décantation en surface de cette masse.

La configuration la plus favorable à cette décantation est assurée par la forme de la surface libre de la masse du matériau électroconducteur liquide, la dimension de cette masse, l'épaisseur de la peau électromagnétique, la morphologie du brassage électromagnétique et la géométrie du jet de coulée.

C'est pourquoi, le procédé selon l'invention consiste, lors du brassage électromagnétique, à créer dans la masse du matériau électroconducteur 1 liquide au moins un vortex 30 dans lequel les particules inclusionnaires solides ou liquides sont entraînées dans un mouvement tourbillonnaire en spirale et décantées lorsqu'elles atteignent la surface de cette masse du matériau électroconducteur 1 liquide.

Cela est obtenu en assurant en particulier, un alignement coaxial entre l'axe du creuset 11 contenant la masse du matériau électroconducteur 1 liquide et l'axe longitudinal du tube de coulée 15.

Cet alignement coaxial nécessite que la bobine électromagnétique 16 des moyens de confinement du jet génère un champ électromagnétique en symétrie cylindrique avec l'axe vertical du four de fusion 10.

Alors que jusqu'à présent la géométrie de la bobine électromagnétique de confinement du jet semblait négligeable, la Demanderesse a constaté que cette géométrie avait un rôle primordial.

En effet, une bobine classique en spirale avec un conducteur de section tubulaire circulaire ne peut pas convenir pour le confinement du jet de coulée, car chacune des spires forme un chemin de courant qui se déplace dans un plan incliné par rapport à l'axe vertical, dépendant directement du pas de l'hélice de la bobine électromagnétique.

De ce fait, une bobine électromagnétique classique génère un champ magnétique créant des instabilités de coulée du jet.

Pour éviter cette perturbation, les moyens de confinement du jet de coulée de la masse du matériau électroconducteur, selon l'invention, sont formés par une bobine électromagnétique extraplate 16 du type décrit précédemment.

De façon à assurer la symétrie cylindrique du jet de coulée, le champ électromagnétique généré par la bobine électromagnétique 16 est déterminé de façon que le saut de pression magnétique soit maximum, pour une puissance donnée du générateur alimentant ladite bobine électromagnétique 16.

Sur la Fig. 3, on a représenté schématiquement, le mouvement de la masse du matériau électroconducteur 1 liquide qui est matérialisé par les deux vortex 30 superposés dont la vitesse de déplacement est d'environ de 0,2m/s.

Les Figs. 4 et 5 représentent deux schémas matérialisant le déplacement des particules inclusionnaires non conductrices respectivement dans le vortex supérieur et dans le vortex inférieur.

On sait que les particules inclusionnaires solides sont décantées dès qu'elles atteignent la surface de la masse du matériau électroconducteur 1 liquide, sans tenir compte du mécanisme de capture de ces particules aux alentours des surfaces libres ou d'une paroi froide, par des phénomènes interfaciaux comme la pression magnétique.

La mesure du temps de décantation permet de maîtriser le temps minimum de fusion de la masse du matériau électroconducteur et de brassage de cette masse qui assure la purification par décantation des particules inclusionnaires de taille donnée.

Le temps de séparation des particules inclusionnaires est maximum pour les particules situées initialement près du centre du ou des vortex 30 et le temps de décantation est très important pour les particules inclusionnaires de petites tailles.

Par ailleurs, la Demanderesse a constaté que l'efficacité du confinement électromagnétique du jet de coulée de la masse du matériau électroconducteur 1 est d'autant plus grande que le saut de pression magnétique entre l'axe et la surface du jet de coulée est élevé.

En effet, le saut de pression est fonction de la force électromagnétique appliquée et de la profondeur de pénétration du champ magnétique dans le jet de coulée.

A puissance de générateur constante, il existe une fréquence optimale qui permet d'obtenir le saut de pression le plus élevé.

La Fig. 6 représente trois courbes montrant la variation de la valeur du saut de pression ΔPm en fonction

du rapport du rayon R du jet de coulée sur la profondeur de pénétration Δ du champ magnétique, pour différentes résistivités électriques ρ du matériau électroconducteur.

On voit sur cette figure que l'optimum du saut de pression ΔPm est atteint pour un rapport du rayon R du jet de coulée sur la profondeur de pénétration δ du champ magnétique, égal à environ 1,7 ce qui correspond pour un rayon du jet de coulée de 7mm d'un alliage de 130 10^{-8} Ωcm de résistivité à une fréquence d'environ 20KHz.

Le procédé selon l'invention permet, grâce au confinement électromagnétique du jet de coulée associé à la coaxialité des champs magnétiques des moyens de confinement du jet de coulée, des moyens de chauffage par induction de la masse du matériau électroconducteur, du creuset et de ladite masse du matériau électroconducteur d'obtenir un contrôle du brassage électromagnétique de cette masse liquide, tout en assurant la séparation en continue des impuretés inclusionnaires solides contenues dans le matériau électroconducteur en permettant également d'obtenir une qualité améliorée des produits.

Revendications

1. Procédé de fusion d'un matériau électroconducteur (1) dans un four de fusion (10) par induction en creuset froid, procédé dans lequel :

   - on confine électromagnétiquement dans le four de fusion (10), une masse du matériau électroconducteur (1) jusqu'à sa température de fusion,
   - on décante les particules inclusionnaires contenues dans le matériau électroconducteur (1) liquide,
   - on coule une partie de la masse du matériau électroconducteur (1) liquide par un tube de coulée (15) disposé au-dessous dudit four de fusion (10),
   - on soumet le jet de coulée du matériau électroconducteur (1) liquide à un confinement électromagnétique radial,

   caractérisé en ce que :

   - on soumet le jet de coulée de matériau électroconducteur (1) liquide à ce confinement à l'aide d'une bobine électromagnétique extraplate,
   - on assure un alignement coaxial vertical des champs électromagnétiques agissant sur la masse du matériau électroconducteur (1) liquide et sur le jet de coulée de ladite masse,
   - et on crée, dans la masse du matériau électroconducteur (1) liquide par brassage électromagnétique, au moins un vortex (30) dans lequel les particules inclusionnaires sont entraînées dans un mouvement tourbillonnaire et décantées en atteignant la surface de ladite masse du matériau électroconducteur (1) liquide.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'on crée dans la masse du matériau électroconducteur (1) liquide soumise au brassage électromagnétique, au moins deux vortex (30) superposés.

3. Four de fusion d'un matériau électroconducteur (1) par induction en creuset froid, pour la mise en oeuvre du procédé selon les revendications 1 et 2, ledit four de fusion (10) comprenant un creuset (11) destiné à contenir ledit matériau conducteur (1) et formé de plusieurs secteurs métalliques (12) isolés électriquement les uns des autres, des moyens de refroidissement desdits secteurs métalliques (12), des moyens (14) de chauffage par induction électromagnétique du matériau électroconducteur (1) disposés autour du creuset (11), un tube de coulée (15) du matériau électroconducteur (1) liquide disposé verticalement au-dessous du creuset (11) et des moyens (16) électromagnétiques de confinement du jet de matériau électroconducteur (1) liquide dans le tube de coulée (15), lesdits moyens (16) électromagnétiques étant disposés autour du tube de coulée (15) et alimentés par un générateur, caractérisé en ce que les moyens électromagnétiques de confinement du jet de matériau électroconducteur (1) sont formés par une bobine électromagnétique extraplate (16) et en ce qu'il comporte des moyens (20) de centrage de ladite bobine électomagnétique extraplate (16) par rapport à l'axe vertical du tube de coulée (15) et du creuset (11) et des moyens (25) de centrage et de positionnement des secteurs (12) du creuset (11) par rapport aux moyens (14) de chauffage par induction électromagnétique du matériau électroconducteur (1) et par rapport aux moyens (16) électromagnétiques de confinement du jet de matériau électroconducteur (1) liquide.

4. Four de fusion selon la revendication 3, caractérisé en ce que les moyens de centrage de la bobine électromagnétique extraplate (16) sont formés par une enveloppe (20) en matériau isolant électrique et thermique insérant ladite bobine extraplate (16).

5. Four de fusion selon la revendication 3, caractérisé en ce que les moyens de centrage et de positionnement des secteurs (12) du creuset (11) sont formés par une coquille (25) en matériau isolant électrique et thermique disposée autour des secteurs (12) et insérant les moyens (14) de chauffage par induction électromagnétique du matériau électroconducteur (1) et les moyens de refroidissement

des secteurs (12).

6. Four de fusion selon la revendication 3, caractérisé en ce que la bobine électromagnétique (16) comporte dix spires (16a) sous forme de plaques de cuivre, réparties sur une hauteur de 30mm, pour un jet de matériau électroconducteur d'environ 12mm de diamètre,.

7. Four de fusion selon l'une des revendications 3 à 6, caractérisé en ce que le tube de coulée (15) est formé par un cylindre métallique sectorisé à double paroi, refroidi par circulation d'un fluide.

8. Four de fusion selon la revendication 3, caractérisé en ce le générateur d'alimentation de la bobine électromagnétique extraplate (16) délivre un signal à une fréquence déterminée pour que le rapport entre le rayon de la section du jet du matériau électroconducteur (1) et la profondeur de pénétration du champ électromagnétique soit supérieur à 1,7.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Schmelzen eines elektrisch leitfähigen Materials (1) in einem Induktionsschmelzofen (10) mit kaltem Tiegel, wobei

   - in dem Schmelzofen (10) eine elektrisch leitfähige Materialmenge (1) elektromagnetisch eingegrenzt wird, bis sie ihre Schmelztemperatur erreicht,
   - die im flüssigen elektrisch leitfähigen Material (1) enthaltenen Einschlußteilchen dekantiert werden,
   - eine Teilmenge des flüssigen elektrisch leitfähigen Materials (1) durch ein unter dem Schmelzofen (10) angeordnetes Ablaßrohr (15) abgelassen wird,
   - der Ablaßstrahl aus flüssigem elektrisch leitfähigem Material (1) in Radialrichtung elektromagnetisch eingegrenzt wird,

   dadurch gekennzeichnet, daß

   - der Ablaßstrahl aus flüssigem elektrisch leitfähigem Material (1) dieser Eingrenzung mit Hilfe einer besonders flachen elektromagnetischen Spule unterworfen wird,
   - das elektromagnetische Feld, das auf die flüssige elektrisch leitfähige Materialmenge (1) wirkt, und das elektromagnetische Feld, das auf den Ablaßstrahl der genannten Menge wirkt, koaxial vertikal zueinander ausgerichtet werden, und
   - in der Menge des flüssigen elektrisch leitfähigen Materials (1) durch elektromagnetisches Rühren mindestens ein Wirbel (30) erzeugt wird, in dem die Einschlußteilchen in einer Wirbelbewegung mitgerissen werden und bei Erreichen der Oberfläche der flüssigen elektrisch leitfähigen Materialmenge (1) dekantiert werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß in der elektromagnetisch gerührten Menge des flüssigen elektrisch leitfähigen Materials (1) wenigstens zwei überlagerte Wirbel (30) erzeugt werden.

3. Ofen (10) zum Schmelzen eines elektrisch leitfähigen Materials (1) durch Induktion in einem kaltem Tiegel, zur Durchführung des Verfahrens nach den Ansprüchen 1 und 2, mit einem aus mehreren metallischen, voneinander elektrisch isolierten Sektoren (12) bestehenden Tiegel (11) zum Aufnehmen des leitfähigen Materials (1), Einrichtungen zum Kühlen der metallischen Sektoren (12), um den Tiegel (11) herum angeordneten Einrichtungen (14) zum Erhitzen des elektrisch leitfähigen Materials (1) durch elektromagnetische Induktion, einem vertikal unter dem Tiegel (11) angeordneten Rohr (15) zum Ablassen des elektrisch leitfähigen Materials (1) und elektromagnetischen Einrichtungen (16) zum Eingrenzen des flüssigen elektrisch leitfähigen Materialstrahls (1) im Ablaßrohr (15), wobei die elektromagnetischen Einrichtungen (16) um das Ablaßrohr (15) angeordnet und durch einen Generator gespeist sind, dadurch gekennzeichnet, daß die elektromagnetischen Einrichtungen zum Eingrenzen des elektrisch leitfähigen Materialstrahls (1) durch eine besonders flache elektromagnetische Spule (16) gebildet sind und daß der Schmelzofen (10) ferner Einrichtungen (20) zum Zentrieren der besonders flachen elektromagnetischen Spule (16) bezüglich der Vertikalachse des Ablaßrohrs (15) und des Tiegels (11) sowie Einrichtungen (25) zum Zentrieren und Positionieren der Sektoren (12) des Tiegels (11) bezüglich der Einrichtungen (14) zum Erhitzen des elektrisch leitfähigen Materials (1) durch elektromagnetische Induktion und bezüglich der elektromagnetischen Einrichtungen (16) zum Eingrenzen des flüssigen elektrisch leitfähigen Materialstrahls (1) aufweist.

4. Schmelzofen nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Einrichtungen zum Zentrieren der besonders flachen elektromagnetischen Spule (16) durch eine diese Spule (16) enthaltende Hülle aus elektrisch und thermisch isolierendem Material gebildet sind.

5. Schmelzofen nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Einrichtungen zum Zentrieren und Positionieren der Sektoren (12) des Tiegels

(11) durch eine um die Sektoren (12) angeordnete Kokille (25) aus elektrisch und thermisch isolierendem Material gebildet sind, welche die Einrichtungen (14) zum Erhitzen des elektrisch leitfähigen Materials (1) durch elektromagnetische Induktion und die Einrichtungen zum Kühlen der Sektoren (12) enthält

6. Schmelzofen nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die elektromagnetische Spule (16) zehn Windungen (16a) in Form von Kupferscheiben aufweist, die über eine Höhe von 30 mm verteilt und für einen elektrisch leitfähigen Materialstrahl von ungefähr 12 mm Durchmesser ausgebildet sind.

7. Schmelzofen nach einem der Ansprüche 3 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß das Ablaßrohr (15) durch einen in Sektoren unterteilten, doppelwandigen metallischen Zylinder gebildet ist, der durch Zirkulation eines strömungsfähigen Mediums kühlbar ist.

8. Schmelzofen nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß der zur Speisung der besonders flachen elektromagnetischen Spule (16) dienende Generator ein Signal gegebener Frequenz abgibt, so daß das Verhältnis zwischen dem Radius des Querschnitts des elektrisch leitfähigen Materialstrahls (1) und der Eindringtiefe des elektromagnetischen Feldes über 1,7 liegt.

Claims

1. Method of smelting of an electroconductive material (1) in a smelting furnace (10) by induction in a cold crucible, a method in which:

- there is electro-magnetically confined in the smelting furnace (10) a mass of the electroconductive material (1) up to its smelting temperature,
- the inclusion particles contained in the liquid electroconductive material (1) are decanted,
- a portion of the mass of liquid electroconductive material (1) is cast through a casting tube (15) disposed beneath said smelting furnace (10),
- the casting jet of the liquid electroconductive material (1) is subjected to a radial electromagnetic confinement,

characterised in that:

- the casting jet of liquid electroconductive material (1) is subjected to this confinement with the aid of an extra-flat electromagnetic coil,
- coaxial vertical alignment of the electromagnetic fields acting on the mass of liquid electroconductive material (1) is ensured as well as on the casting jet of the said mass,
- and there is created in the mass of liquid electroconductive material (1) by means of electromagnetic agitation, at least one vortex (30) in which the inclusion particles are set in a turbulent movement and are decanted on reaching the surface of the said mass of liquid electroconductive material (1).

2. Method according to claim 1, characterised in that there is created in the mass of liquid electroconductive material (1) subjected to electromagnetic agitation, at least two superimposed vortices (30).

3. Smelting furnace for an electroconductive material (1) by induction in a cold crucible, for putting into effect the method according to claims 1 and 2, said smelting furnace (10) comprising a crucible (11) intended to contain the said conductive material (1) and formed from a plurality of metallic sectors (12) electrically insulated from one another, means of cooling the said metallic sectors (12), means (14) of heating by electromagnetic induction of the electroconductive material (1), and disposed around the crucible (11), a casting tube (15) for the liquid electroconductive material (1) and disposed vertically beneath the crucible (11), and electromagnetic means (16) for confining the jet of liquid electroconductive material in the casing tube (15), the said electromagnetic means (16) being disposed around the casting tube (15) and supplied by a generator, characterised in that the electromagnetic means for confinement of the jet of electroconductive material (1) are formed by an extra-flat electromagnetic coil (16), and in that it comprises means (20) of centering said extra-flat electromagnetic coil (16) with respect to the vertical axis of the casting tube (15) and of the crucible (11), and means (25) of centering and positioning the sectors (12) of the crucible (11) with respect to the means (14) of heating by electromagnetic induction the electroconductive material (1), and with respect to the electromagnet means (16) for confining the jet of liquid electroconductive material (1).

4. Smelting furnace according to claim 3, characterised in that the means of centering the extra-flat electromagnetic coil (16) are formed by an envelope (20) of electrical and thermal insulating material embedding the said extra-flat coil (16).

5. Smelting furnace according to claim 3, characterised in that the means of centering and positioning the sectors (12) of the crucible (11) are formed by a shell (25) of electrical and thermal insulating material disposed around the sectors (12) and embedding the means (14) of heating by electromagnetic

induction the electroconductive material and the means of cooling of the sectors (12).

6. Smelting furnace according to claim 3, characterised in that the electro-magnetic coil (16) comprises ten windings (16a) in the form of copper plates, distributed at a height of 30 mm, for a jet of electroconductive material of a diameter of about 12 mm.

7. Smelting furnace according to one of claims 3 to 6, characterised in that the casting tube (15) is formed by a double-walled, sub-divided metallic cylinder, cooled by circulation of a fluid.

8. Smelting furnace according to claim 3, characterised in that the generator supplying the extra-flat electromagnetic coil (16) provides a signal at a determined frequency so that the ratio between the radius of the section of the jet of electroconductive material (1) and the depth of penetration of the electromagnetic field is above 1.7.

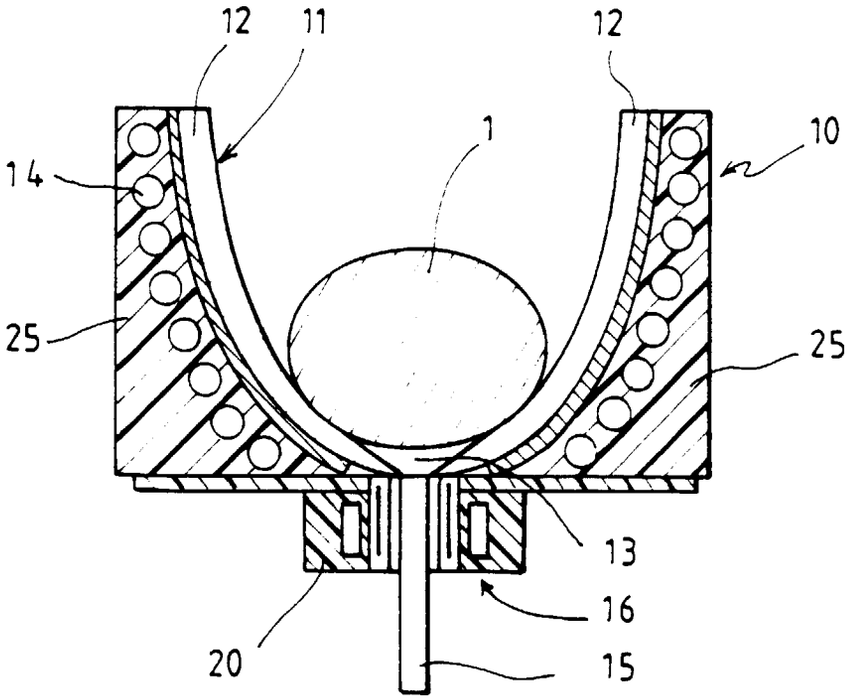


FIG.1

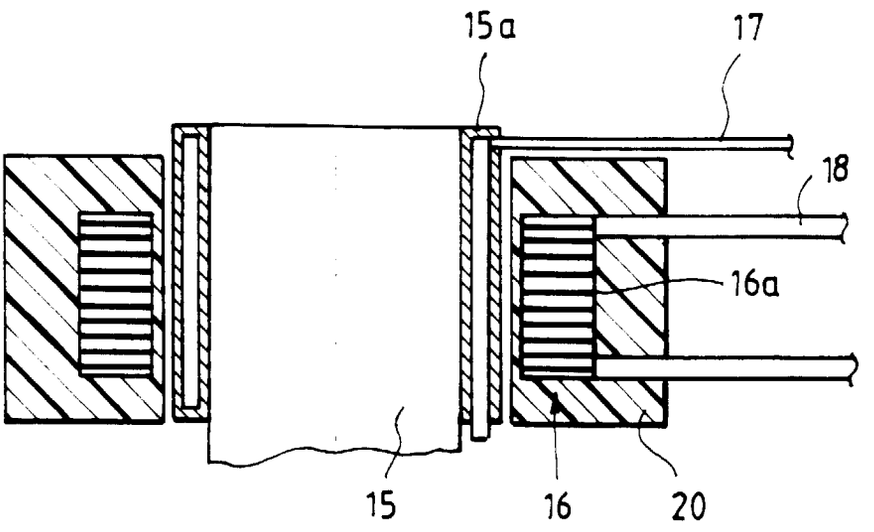


FIG.2

FIG.3

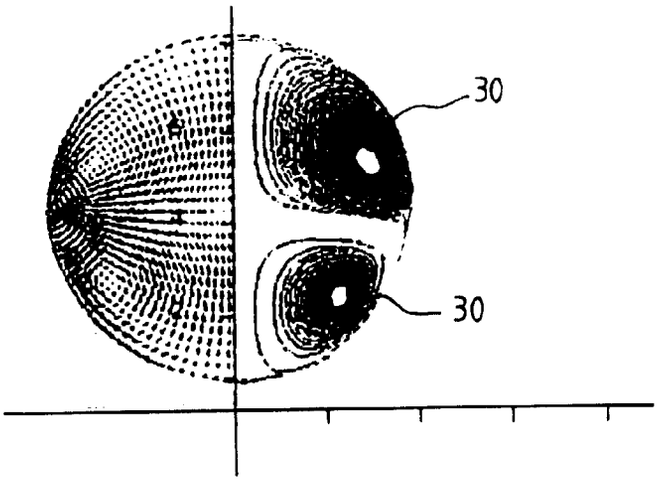


FIG.4

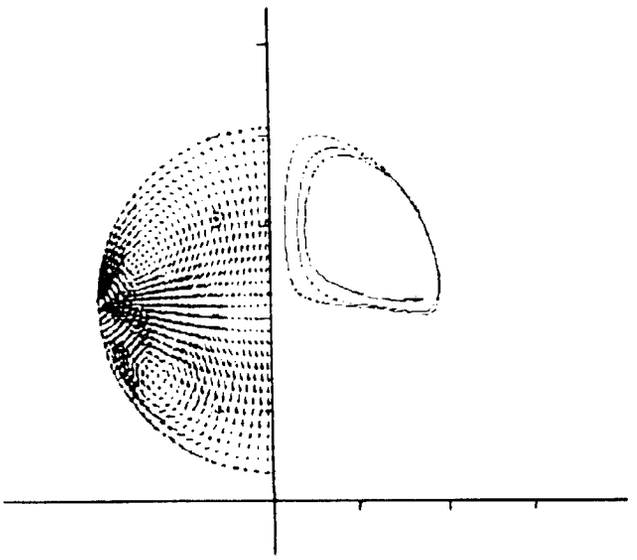
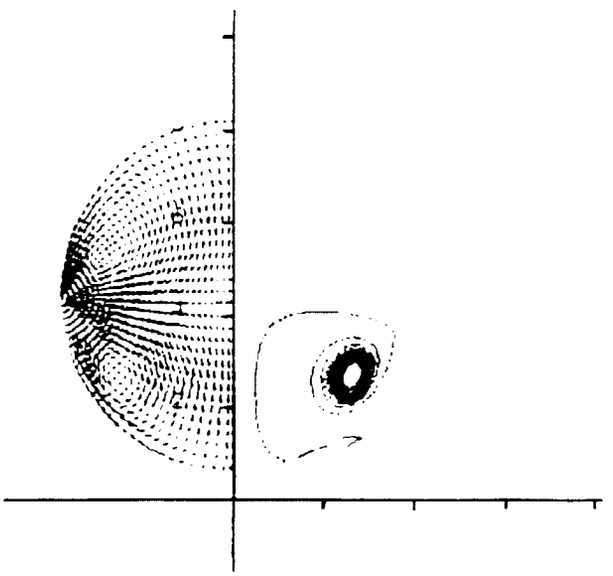


FIG.5



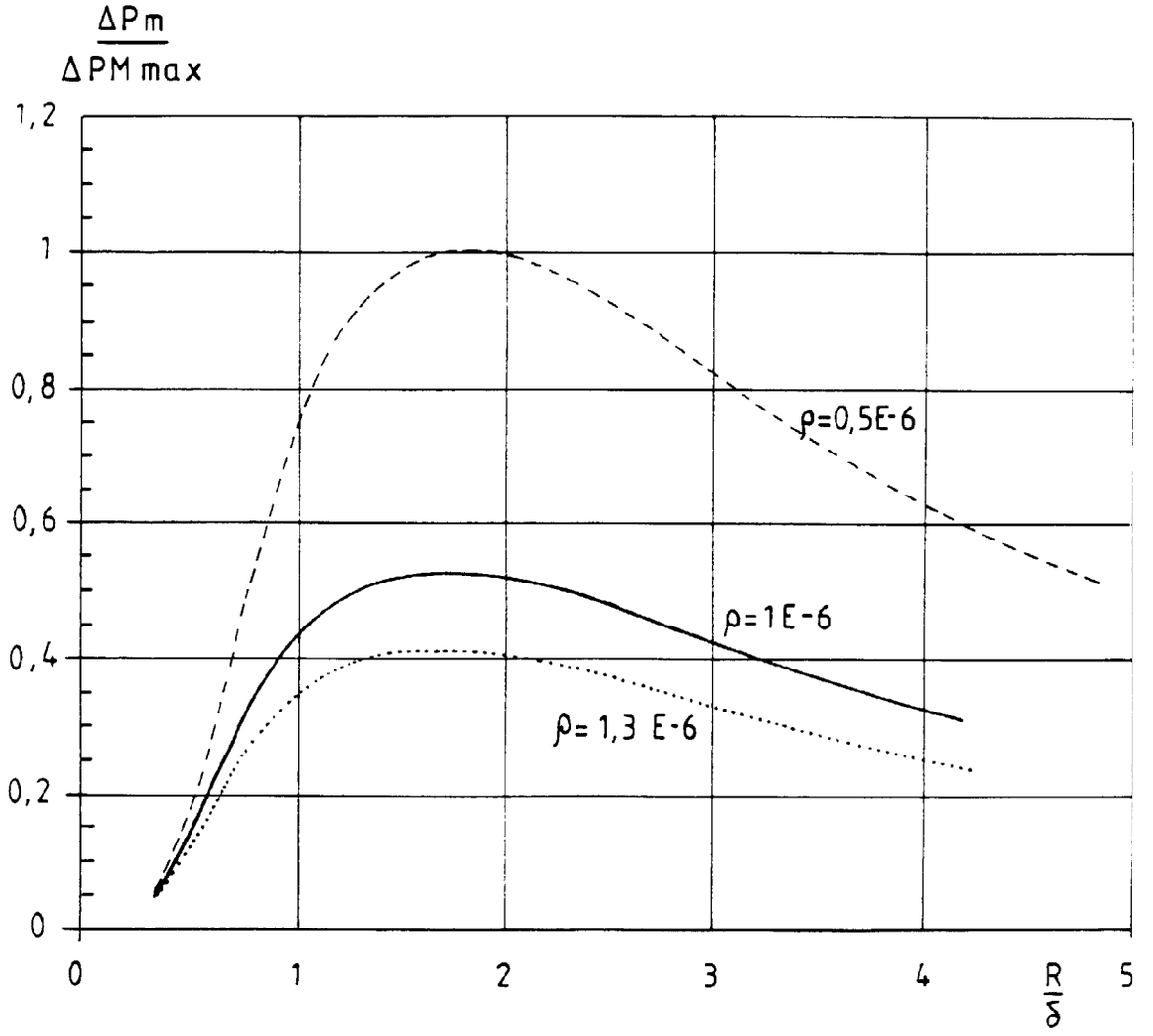


FIG.6