

(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(21) Numéro de dépôt: 85401286.1

(51) Int. Cl.⁴: **H 05 B 6/22**
H 05 B 6/42

(22) Date de dépôt: 25.06.85

(30) Priorité: 29.06.84 FR 8410364

(43) Date de publication de la demande:
29.01.86 Bulletin 86/5

(84) Etats contractants désignés:
DE GB IT

(71) Demandeur: COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE
Etablissement de Caractère Scientifique Technique et
Industriel
31/33. rue de la Fédération
F-75015 Paris(FR)

(72) Inventeur: Boen, Roger
Saint Alexandre Lieu dit "Les Gazelles"
F-30130 Pont Saint Esprit(FR)

(72) Inventeur: Delage, Daniel
"Les Cèdres" 24 rue Jean Jaurès
F-38610 Gieres(FR)

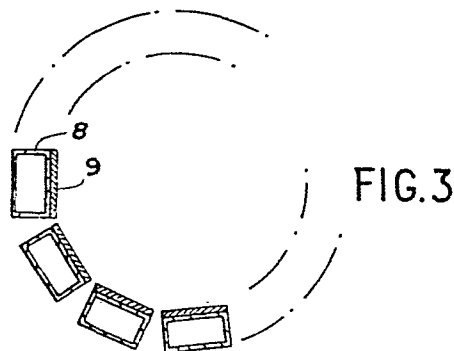
(72) Inventeur: Reboux, Jean
56, rue Alexandre Ribot
F-91600 Savigny Sur Orge(FR)

(72) Inventeur: Jouan, Antoine
1, Allée des Romarins Les Cyprès
F-30200 Bagnols Sur Ceze(FR)

(74) Mandataire: Mongrédien, André et al,
c/o BREVATOME 25, rue de Ponthieu
F-75008 Paris(FR)

(54) **Cage froide pour creuset à fusion par induction électromagnétique à fréquence élevée.**

(57) Cage froide pour creuset à fusion par induction électromagnétique à fréquence élevée, comportant, de façon connue, une série de segments creux (2) parcourus par de l'eau de refroidissement, entourée d'un bobinage inducteur (5) à haute ou moyenne fréquence, et dans laquelle sont confinés les produits à fondre (6), caractérisée en ce qu'au moins une partie des parois de chaque segment (2) de la cage (1) est constituée d'au moins deux couches de matériaux adjacentes, et en ce que les épaisseurs relatives de ces couches ainsi que la fréquence d'alimentation de l'inducteur électrique (5) sont choisies de façon telle que les courants de Foucault induits dans la cage se développent dans une couche bonne conductrice de l'électricité.



CAGE FROIDE POUR CREUSET A FUSION PAR INDUCTION
ELECTROMAGNETIQUE A FREQUENCE ELEVEE

La littérature technique a largement décrit, ces dernières années, les "cages froides" ou "creusets froids" utilisés dans des applications physico-chimiques ou de métallurgie spéciale, notamment en vue de la fusion par induction à haute ou moyenne fréquence de métaux ou alliages spéciaux, ou matériaux isolants réfractaires ou non, se déroulant souvent à température élevée. La plupart des creusets froids décrits comportent un nombre plus ou moins grand de segments, soit droits, soit disposés en épingle. Généralement, ces segments sont réalisés en cuivre, qui convient parfaitement si l'opération de fusion est effectuée sans contact direct avec le creuset sous ambiance protectrice, ou si le cuivre du creuset se trouve protégé du bain liquide par une couche protectrice de laitier solide ou encore par une carapace naturelle du matériau liquide (isolant dans les conditions normales) fondu par induction à fréquence appropriée et dont une mince pellicule est solidifiée au contact du creuset froid.

Cet état de la technique connu est représenté sur la figure 1 qui montre en perspective-élévation un creuset froid dont la cage froide 1 est composée d'un certain nombre de segments tels que 2 en cuivre. Cette cage 1 est refroidie par une circulation d'eau schématiquement représentée par des entrées 3 et des sorties 4 mettant en communication l'intérieur de chaque segment 2 avec l'extérieur. Sur la figure 1 on a représenté en outre le bobinage inducteur 5 qui est chargé de réaliser la fusion du matériau 6 par induction magnétique à fréquence élevée. Ce matériau 6 enfermé dans le creuset 1, rendu intérieurement étanche par une croûte solidifiée 7, constitue ainsi en quel-

que sorte le secondaire d'un transformateur dont l'inducteur 5 est le primaire. C'est sous l'influence des courants secondaires à haute fréquence qui se développent dans le matériau 6 que celui-ci s'échauffe puis parvient à la fusion recherchée.

Toutefois, dans un certain nombre d'opérations de plus en plus nombreuses du fait de l'accroissement considérable des applications potentielles de la fusion ou des traitements physico-chimiques ou métallurgiques en creuset froid, il peut se produire, lorsque le creuset est plongé dans un environnement physiquement ou chimiquement agressif, une altération du cuivre soit par attaque chimique, soit par entraînement de particules ou d'atomes de cuivre par effet d'érosion ou de désorption superficielle. Ces effets sont très gênants dans la mesure où ils sont susceptibles d'une part d'occasionner une usure prématurée du creuset ou d'autre part d'engendrer une pollution du matériau traité dans le creuset lorsque celui-ci est utilisé pour l'élaboration de matériaux de très haute pureté.

Ces phénomènes néfastes liés à la présence du cuivre en tant que métal de base de la cage froide sont encore amplifiés quand celle-ci est utilisée, et les cas d'application en sont de plus en plus nombreux, comme enceinte de confinement ou d'entretien d'un plasma inductif ; de telles torches à plasma inductif sont en effet de plus en plus utilisées pour la préparation de métaux, alliages ou matériaux nobles ultra purs : silice, quartz, alumine, silicium, titane, etc...

La présente invention a précisément pour objet une cage froide pour creuset à fusion par induction électromagnétique qui permet de remédier aux inconvénients préalables de l'art antérieur tout en con-

servant les avantages bien connus de la fusion ou du traitement physico-chimique en creuset froid.

5 Cette cage froide pour creuset à fusion par induction électrique qui comporte de façon connue une série de segments creux parcourus par de l'eau de refroidissement, entourée d'un bobinage inducteur à haute ou moyenne fréquence, et dans laquelle sont confinés les produits à fondre, se caractérise en ce qu'au moins une partie des parois de chaque segment de la cage est constituée d'au moins deux couches de matériaux adjacentes, dont l'une résistante à la corrosion est en contact avec les produits à fondre, et dont l'autre est bon conducteur de l'électricité, et en ce que les épaisseurs relatives de ces couches ainsi que la fréquence d'alimentation de l'inducteur électrique sont choisies de façon telle que les courants de Foucault induits dans la cage se développent principalement dans une couche bonne conductrice de l'électricité.

20 On voit donc que la structure de la cage froide objet de l'invention consiste essentiellement à réaliser les segments du creuset, non plus uniquement en cuivre, mais en une structure composite comportant au moins deux métaux étroitement appliqués l'un contre l'autre, l'un bon conducteur de l'électricité, donc à faibles pertes Joule, l'autre plus résistif électriquement mais caractérisé par une plus grande résistance à la corrosion : ladite structure composite ou sandwich est appliquée soit à la totalité de la cage, soit au moins à la paroi interne de celle-ci plus particulièrement exposée aux effets de corrosion ou d'agression physico-chimiques ou même hydrodynamiques dans le cas des plasmas.

30 La disposition essentielle de la structure selon l'invention consiste par conséquent à choisir
35

les épaisseurs respectives de métal anti-corrosion et de métal bon conducteur pour que les courants de Foucault induits dans la cage sous l'influence du bobinage inducteur primaire et dont on sait que la profondeur à laquelle ils se situent dépend de la fréquence de l'induction, se développent pour la plus grande part dans une couche bonne conductrice de l'électricité de façon à rendre minimales les pertes par effet Joule du système.

Selon l'invention, le métal jouant le rôle anticorrosion du creuset et présent sur la face du segment tournée vers l'intérieur du creuset est constitué par un acier inoxydable bien connu pour sa résistance en milieu agressif. Mais il est aussi connu que, si l'épaisseur de l'acier inox est égale ou supérieure à la profondeur de pénétration des courants à la fréquence de travail dans ce métal, soit environ 5 mm à 10 kHz ou 5/10e de mm à 1 MHz, les pertes Joule développées dans la couche externe en acier inoxydable sont six à sept fois supérieures à celles observées dans la paroi aux dimensions identiques qui serait réalisée en cuivre. Ceci est très préjudiciable à l'obtention du rendement électrique acceptable du traitement effectué dans un tel creuset et l'invention permet d'éviter cet écueil.

Les dispositions pratiques de la cage selon l'invention permettent donc par un choix judicieux des épaisseurs de couches de cuivre et d'acier inoxydable en présence et des fréquences d'induction, de réaliser un creuset froid possédant à la fois une excellente résistance à la corrosion et des pertes Joule compatibles avec un rendement électrique acceptable.

De toute façon, l'invention sera mieux comprise en se référant à la description qui suit de plusieurs exemples de mise en oeuvre d'une cage froide

pour creuset à fusion par induction électrique, description qui sera faite en se référant aux figures 2 à 5 ci-jointes sur lesquelles :

5 - la figure 2 représente en coupe élévation (figure 2a) et en coupe vue de dessus (figure 2b) un segment rectangulaire bimétal de cage froide conforme à l'invention ;

10 - la figure 3 représente en coupe perpendiculaire à l'axe du creuset une partie des segments de la cage froide dans le cas d'une structure bimétallique limitée à la paroi interne du creuset ;

15 - la figure 4 représente également en coupe partielle selon un plan perpendiculaire à l'axe une partie des segments de la cage froide dans une autre forme de structure bimétallique à deux couches ;

20 - la figure 5 représente en coupe selon un plan perpendiculaire à l'axe du creuset, une partie des segments constituant la cage froide dans l'hypothèse d'une réalisation multicouches en sandwich des parois des segments.

25 Sur les figures 2a et 2b (vue en coupe selon le plan horizontal AA de la figure 2a) on a représenté la constitution possible selon l'invention d'un segment 2 d'une cage froide pour creuset à fusion par induction électrique.

30 Dans ce premier mode de réalisation revendiqué par l'invention, la paroi interne 8 des segments du creuset est réalisée en cuivre d'épaisseur appropriée, généralement située entre 1 et 3 mm. La paroi externe 9 en acier inox est faite sous la forme, par exemple, d'un revêtement régulier et uniforme en acier inoxydable, dont l'épaisseur est notablement inférieure à la profondeur de pénétration des courants dans l'inox. On appliquera par exemple un revêtement
35 de 20 à 40 μm au-dessus de 1 MHz, 50 à 100 μm entre

500 kHz et 1 MHz. Le calcul et l'expérience montrent que les creusets réalisés conformément à cette disposition résistent bien à la corrosion tout en présentant des pertes Joule seulement légèrement supérieures à celles d'un creuset froid en cuivre. Le revêtement 9 en acier inoxydable est effectué en appliquant les procédés physico-chimiques bien connus tels par exemple que le "sputtering" quand il s'agit de dépôts de faible épaisseur, inférieure à 200 μ m par exemple. Pour des épaisseurs largement supérieures et notamment de quelques 1/10e de mm à quelques mm, on peut appliquer les méthodes également bien connues du "shoopage".

A titre de variante de la réalisation précédente, la figure 3 représente également une structure bimétallique de réalisation des segments de la cage froide dans laquelle la couche de métal bon conducteur 8, généralement en cuivre, n'est revêtue que sur la face tournée vers l'intérieur du creuset, d'un dépôt protecteur 9 en acier inoxydable. Cette structure simplifiée par rapport à la précédente peut être utilisée lorsque la face interne du creuset située vis-à-vis de la charge corrosive est seule exposée à la corrosion, en raison notamment du bon isolement des autres faces des segments vis-à-vis du matériau fondu.

Dans un second mode de réalisation représenté sur la figure 4, les segments de la cage froide sont réalisés en acier inoxydable 9. Un dépôt de cuivre 8 d'épaisseur égale ou légèrement supérieure à la pénétration des courants dans le cuivre à la fréquence de travail est appliqué sur les trois faces du profilé d'acier inoxydable non exposées à l'agression du milieu. L'épaisseur du dépôt est d'une vingtaine de microns entre 1 et 5 MHz, autour d'une cinquantaine de microns entre quelques centaines de Khz et 1 MHz, et

de quelques centaines de microns autour de 10 kHz. Dans ce mode de réalisation, les pertes Joule ne sont que faiblement accrues par rapport à celles d'un creuset en cuivre, au seul prorata de la longueur effective de l'acier inoxydable présent, rapportée à la périphérie totale du segment.

Enfin, et toujours dans le cadre de l'invention, il n'est pas exclu, par des modes de réalisation plus évolués et pour les applications sélectives, de combiner les deux réalisations de creusets précédentes telles que décrites en figure 3 et figure 4 pour réaliser une autre structure de creuset originale, laquelle n'est autre qu'une structure "trimétal" cuivre-inox-cuivre ou inox-cuivre-inox (figure 5) où les couches de cuivre sont référencées 8 et les couches d'acier inoxydable 9.

Les creusets froids décrits sont capables de larges applications dans des domaines scientifiques ou industriels très variés qui vont de la fusion par induction ou "autocreuset" des isolants tels que les verres, oxydes réfractaires, à la fusion en présence de laitier de métaux ou alliages conducteurs : titane, zirconium, inox, etc... ainsi qu'à la réalisation de torches à plasma inductif exploitées en milieu fortement agressif : plasma de milieu hydrogéné, halogéné, etc...

IL va de soi que l'invention n'est pas limitée aux seuls exemples précédents, en particulier en ce qui concerne la forme des segments constituant le creuset froid ; tout profil autre que rectangulaire, par exemple circulaire, trapézoïdal, etc... doit être considéré comme rentrant dans le cadre de l'invention.

Enfin, l'invention s'applique également à toute forme de creuset froid autre que la forme cylindrique telle que présentement décrite par exemple aux

5 creusets froids de forme tronconique, cylindroconique etc... permettant notamment dans le cas des utilisations de plasma des effets dynamiques sélectifs en concordance avec l'objectif physicochimique ou métallurgique recherché.

REVENDICATIONS

1. Cage froide pour creuset à fusion par induction électromagnétique à fréquence élevée comportant, de façon connue, une série de segments creux (2) parcourus par de l'eau de refroidissement, entourée
5 d'un bobinage inducteur (5) à haute ou moyenne fréquence, et dans laquelle sont confinés les produits à fondre (6), caractérisée en ce qu'au moins une partie des parois de chaque segment (2) de la cage (1) est constituée d'au moins deux couches de matériaux adjacents, dont l'un résistant à la corrosion (9) est en contact avec les produits à fondre (6), et dont l'autre (8) est bon conducteur de l'électricité, et en ce
10 que les épaisseurs relatives de ces couches ainsi que la fréquence d'alimentation de l'inducteur électrique (5) sont choisies de façon telle que les courants de Foucault induits dans la cage se développent principalement dans une couche bonne conductrice de l'électricité.

2. Cage froide selon la revendication 1, caractérisé en ce que le matériau résistant à la corrosion est de l'acier inoxydable et le matériau bon conducteur de l'électricité est du cuivre.

3. Cage froide selon l'une quelconque des revendications 1 et 2, caractérisée en ce que chaque
25 segment (2) est réalisé en matériau bon conducteur (8) revêtu, sur la face tournée vers l'intérieur de la cage, d'une couche de matériau (9) résistant à la corrosion.

4. Cage froide selon l'une quelconque des revendications 1 et 2, caractérisée en ce que chaque
30 segment est réalisé en matériau résistant bien à la corrosion (9) et revêtu, sur les faces non en contact avec le matériau fondu, d'une couche du matériau bon conducteur de l'électricité (8).

5. Cage froide selon la revendication 4, caractérisée en ce que chaque segment (2) comporte, en outre, un revêtement interne (8) en matériau bon conducteur de l'électricité.

FIG.1

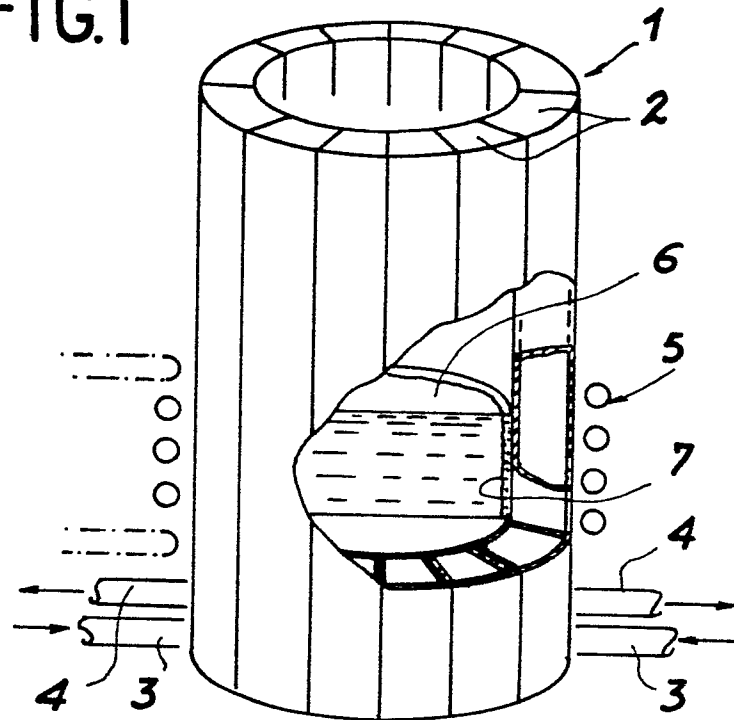


FIG.2a

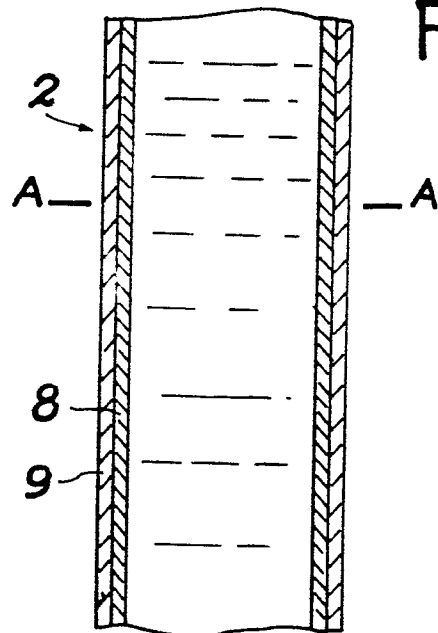
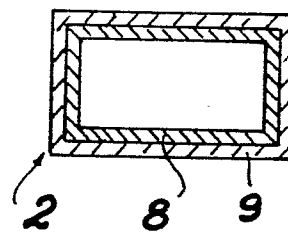


FIG.2b



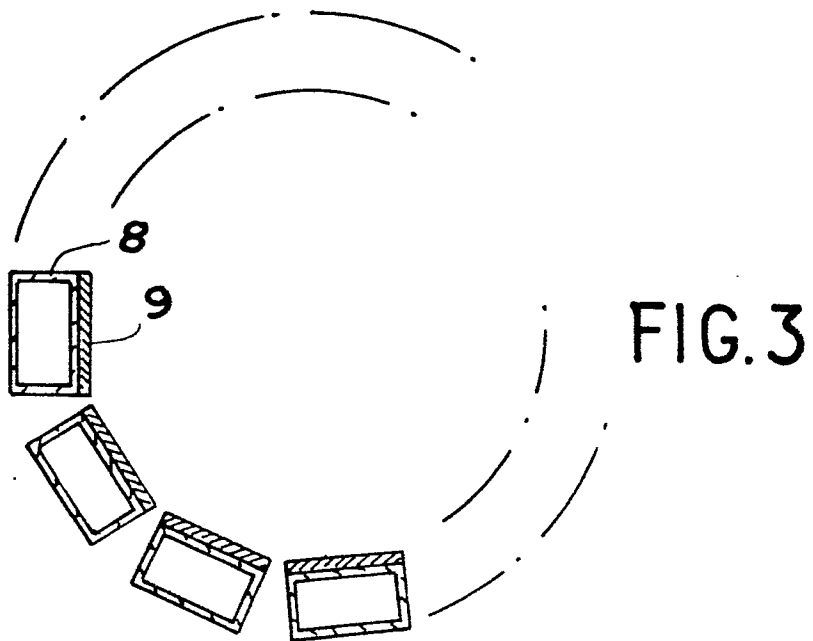


FIG. 4

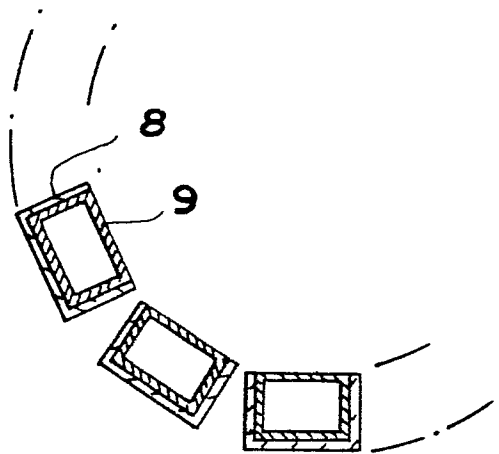
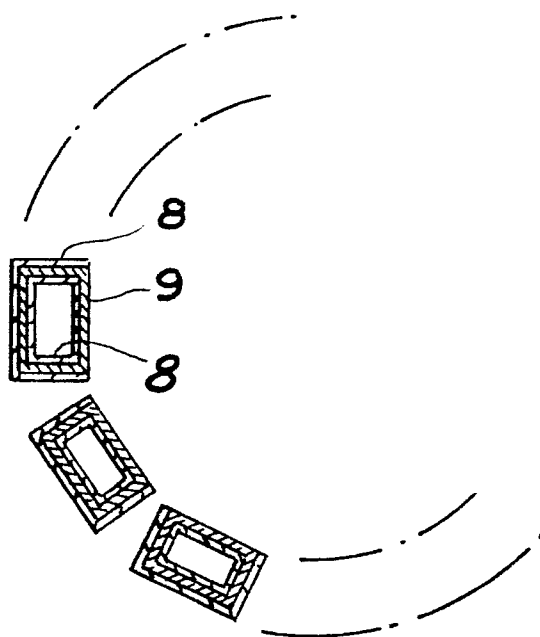


FIG. 5





Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

0169765

Numero de la demande

EP 85 40 1286

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int. Cl. 4)
A	FR-A-1 576 364 (SEAVOM) * Page 2, colonne de droite, lignes 30-43; figure 13 * ---	1,3	H 05 B 6/22 H 05 B 6/42
A	GB-A-1 208 146 (STANDARD TELEPHONES AND CABLES) * Page 1, lignes 61-78; page 2, lignes 78-96 * ---	1,5	
A	US-A-4 207 451 (TUDBURY) * Colonne 6, ligne 64 - colonne 7, ligne 3; figures 2,10 * ---	1,4	
A	FR-A-2 230 046 (A.S.E.A.) * Page 2, lignes 11-27 * ---	1,2,4	
A	DE-A-2 921 472 (AEG-ELOTHERM) ---		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl. 4)
A	FR-A-1 492 063 (C.E.A.) ---		H 05 B 6/00 F 27 B 14/00 C 21 C 5/00
A	FR-A-2 497 050 (SAPHYMO-STEL) -----		
Le présent rapport de recherche a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 30-09-1985	Examinateur RAUSCH R.C.
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES			
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	