



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

⑯ Numéro de publication:

O 248 727
B1

⑯

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

⑯ Date de publication du fascicule du brevet:
12.09.90

⑯ Int. Cl.⁵: **F27B 14/06, F27B 14/10,**
H05B 6/22, H05B 6/28

⑯ Numéro de dépôt: **87401230.5**

⑯ Date de dépôt: **02.06.87**

⑯ Four de fusion à induction haute fréquence.

⑯ Priorité: **03.06.86 FR 8607970**

⑯ Titulaire: **COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE,**
31/33, rue de la Fédération, F-75015 Paris(FR)

⑯ Date de publication de la demande:
09.12.87 Bulletin 87/50

⑯ Inventeur: **Caillaud, Bruno, 11, rue Pasteur,**
F-38170 Seyssins(FR)
Inventeur: **Perrier de la Bathie, René, F-73250 Saint**
Pierre d'Albigny(FR)
Inventeur: **Terrier, Jacques, 3, Avenue des Buinières,**
F-38360 Sassenage(FR)

⑯ Mention de la délivrance du brevet:
12.09.90 Bulletin 90/37

⑯ Mandataire: **Mongrédiens, André et al, c/o**
BREVATOME 25, rue de Ponthieu, F-75008 Paris(FR)

⑯ Etats contractants désignés:
DE ES GB IT NL

⑯ Documents cités:
DE-C- 697 555
DE-C- 3 316 546
FR-A- 1 430 192
FR-A- 1 430 962
FR-A- 2 540 982

B1

EP O 248 727 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 un four de fusion par induction électromagnétique par circulation de courant alternatif à haute fréquence, utilisable notamment pour la fusion et la transformation de matériaux réfractaires tels que les oxydes céramiques, le verre et les sels chimiques.

Le principe du four à induction consiste à faire parcourir un inducteur par un courant alternatif ; il se crée alors un champ magnétique à l'intérieur de cet inducteur où se trouve la charge liquéfier. Des courants induits sont alors générés, qui circulent à l'intérieur de cette charge et sont convertis en énergie calorifique par effet Joule à condition que la résistivité de la charge soit inférieure à une valeur dépendant du diamètre de cette charge et de la fréquence considérée.

De nombreux matériaux réfractaires peuvent être considérés comme isolants à température ambiante, mais leur résistivité décroît au-delà d'une température dite ici d'inductibilité. Il est dans ce cas nécessaire de prévoir un moyen de chauffage pour assurer l'initiation du phénomène d'induction. Quand la fusion de la charge est réalisée, le four peut fonctionner en coulée continue à condition de comporter des moyens de remplissage et de vidange appropriés.

Des dispositifs connus, tels ceux protégés par les brevets français 1 430 192 et 1 430 962, ainsi que par le brevet européen 0 079 266, font apparaître que de tels fours de fusion peuvent être réalisés suivant diverses variantes de conception :

- L'inducteur peut être constitué d'une simple enveloppe de métal conducteur, de forme généralement cylindrique et interrompue uniquement par une fente aux bornes de laquelle arrivent les prises de tension. Le courant parcourt donc un tour complet seulement autour de la charge. Cette conception sera appelée monospire dans ce qui suit.

- L'inducteur peut aussi être constitué d'un solénoïde (conception multispire), le courant parcourt alors une hélice.

- 25 - Qu'il soit monospire ou multispire, l'inducteur peut être isolé de la charge à liquéfier par une paroi refroidi ou réfractaire (mode d'induction indirecte). Il peut aussi être en contact avec la charge liquéfier : on est alors en présence d'une induction directe en auto-creuset. Le refroidissement de l'inducteur doit alors être assuré, en principe, par une circulation de fluide : une couche solide du matériau réfractaire, sous forme pulvérulente ou granuleuse, subsiste alors et isole l'inducteur de la charge en fusion.

30 Toutefois, ces diverses conceptions présentent des inconvénients que l'on peut ainsi résumer :

- Les solutions dans lesquelles une paroi intermédiaire isole l'inducteur de la charge ont un rendement amoindri par suite de l'effet Joule produit dans cette paroi, ainsi que par le découplage électromagnétique créé.

- 35 - Les solutions de type auto-creuset nécessitent la mise en place d'une enveloppe externe dans le cas d'un inducteur multispire afin d'éviter l'écoulement de la charge hors du creuset. L'inducteur monospire présente quant à lui l'inconvénient du risque de formation d'arc électrique entre les deux prises de tension de l'inducteur, surtout si la couche externe de la charge est portée à une température supérieure à la température d'inductibilité. Cette couche ne peut alors plus remplir correctement son rôle d'isolant électrique.

- 40 - Les inducteurs multispires ont pour principal inconvénient leur impédance élevée, l'inductance étant proportionnelle au carré du nombre de spires ainsi qu'au carré du diamètre. On est alors amené à utiliser des creusets de petit diamètre (en pratique, pas plus de 35 cm pour un enroulement à deux spires), ce qui pose des problèmes d'induction l'intérieur de la charge et d'autre part limite la surface d'échange thermique entre le bain fondu et la matière première ajoutée en continu.

- 45 - Un autre désavantage des monospires est lié au risque de formation d'arc électrique entre les prises de tension, comme on l'a mentionné ci-dessus. Il en résulte une limitation des différences de potentiel avec lesquelles on peut travailler.

La présente invention apporte une amélioration des solutions existantes dans la mesure où elle associe la conception la plus simple : four monospire en auto-creuset, à un dispositif permettant de se prévenir contre les risques d'arc qui constituent le problème majeur de la monospire.

50 A cet effet, la présente invention a pour objet un four de fusion pour matériaux réfractaires par induction dont la paroi conductrice de l'électricité est constituée d'une spire cylindrique unique dont les extrémités sont reliées à une source de courant alternatif à haute fréquence, ladite spire formant à la fois l'inducteur et le creuset proprement dit et comportant des moyens de refroidissement de sa surface, ce four étant caractérisé en ce qu'il comprend au moins une pièce refroidie de forme allongée en matériau conducteur de l'électricité, disposée le long de la fente délimitée par les extrémités de la spire, maintenue à un potentiel flottant et isolée électriquement de ladite spire.

La pièce de forme allongée, qui constitue le moyen essentiel de l'invention, remplit ainsi une double fonction.

60 D'abord, du fait qu'elle est conductrice et se place automatiquement à un potentiel intermédiaire entre ceux des extrémités de la spire, elle supprime pratiquement les risques d'amorçage d'arc électrique entre les extrémités de cette spire.

Ensuite, de par sa position le long de la fente séparant les extrémités de la spire, elle permet un refroidissement suffisant pour assurer l'étanchéité du creuset vis-à-vis de son contenu.

65 Selon une caractéristique secondaire, l'espace entre la pièce refroidie et les extrémités de la spire est

empli d'un isolant électrique qui doit résister à des températures maximales de 200°C environ et peut donc être réalisé en papier, plâtre, résine époxy ou ciment réfractaire en couche fine.

Selon une autre caractéristique secondaire, mais néanmoins importante de l'invention, et qui s'applique de préférence en même temps que la caractéristique principale, le fond du creuset est constitué d'un matériau conducteur.

La spire est alors isolée électriquement du fond du creuset par un isolant électrique réfractaire.

Selon une réalisation de cette caractéristique secondaire le matériau conducteur constituant le fond du creuset est de même nature que celui de la spire. Selon une autre caractéristique secondaire, le fond du creuset est constitué d'un matériau isolant.

Selon une autre caractéristique secondaire, la partie inférieure de la spire, adjacente au fond du creuset, est entaillée. Cette disposition, dans le cas d'un fond de creuset conducteur permet, selon l'invention, de ne pas perturber le champ électromagnétique dans la partie inférieure du creuset en réduisant fortement le couplage entre la monospire et le fond du creuset. Cette disposition, dans le cas d'un fond de creuset isolant, permet de limiter le domaine d'induction dans la charge et ainsi interdire la fusion au contact du fond réfractaire. Pour parachever ce mode de mise en oeuvre, il est possible de séparer la spire et le fond par un isolant électrique réfractaire et de colmater les entailles à l'aide de cet isolant électrique réfractaire.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront de la description qui va suivre, donnée à titre purement illustratif et non limitatif, en référence aux dessins annexés, dans lesquels :

- la figure 1 représente une perspective générale du four à induction selon l'invention,
- la figure 2 représente une vue de face, en coupe partielle, de la pièce qui contribue à isoler les prises de tension de la spire de la figure 1,
- la figure 3 représente un mode particulier de réalisation de l'invention, d'après lequel l'isolation électrique de la spire est assurée par deux exemplaires, disposés en parallèle, de la pièce représentée figure 2. L'agencement est représenté en vue de dessus.
- la figure 4 représente une coupe d'un fond de creuset non conducteur.

Sur la figure 1, le four comprend donc généralement une spire 1 constituée, suivant un mode préféré de l'invention, d'une feuille recourbée d'un métal conducteur de l'électricité tel que le cuivre ou l'aluminium, aux extrémités 2 de laquelle un circuit électrique 3 introduit le courant électrique alternatif nécessaire au fonctionnement.

Le long de la fente 4 délimitée par les extrémités de la spire 1 et à proximité de celle-ci est disposée au moins une pièce de forme allongée 5 en matériau conducteur de l'électricité, maintenue à un potentiel flottant et isolée électriquement de la spire 1 par un espace pouvant être éventuellement rempli d'un isolant 6 disposé entre la pièce 5 et les extrémités de la spire 1.

Dans le mode de réalisation de l'invention décrit sur la figure 1, la pièce 5 est unique et permet de diviser par deux la valeur de la tension entre les deux extrémités de la spire.

Dans d'autres modes de réalisation de l'invention, plusieurs pièces 5 sont installées le long de la fente 4 et les tensions entre les extrémités de la spire peuvent être échelonnées plus finement. C'est le cas notamment de l'exemple qui sera décrit plus loin en se référant à la figure 3.

Chaque pièce 5 est sujette à l'action du champ électromagnétique et donc parcourue par des courants induits générateurs de chaleur. Elle est donc constituée essentiellement d'une enveloppe creuse 7 à l'intérieur de laquelle circule un fluide de refroidissement. La figure 2 indique une configuration possible, d'après laquelle on introduit un tube métallique 8 à l'intérieur de l'enveloppe 7 : le fluide entre par le tube métallique 8 et remonte le long de l'enveloppe 7.

L'isolant 6, qui assure en outre l'étanchéité du creuset, doit résister à des températures maximales de 200°C environ puisque la pièce 5 est refroidie. Il peut être réalisé en papier, plâtre ou résine époxy ou ciment réfractaire en couche fine par exemple.

Le fond 9 du creuset peut être, suivant un mode particulier de l'invention, réalisé en matériau réfractaire.

Le dispositif, représenté sur la figure 4, assurant la vidange du produit liquéfié est alors constitué essentiellement d'un tube de cuivre refroidi 18 par quelques enroulements d'un tube de cuivre 20 plus petit dans lequel circule un fluide de refroidissement, l'ensemble étant noyé dans le matériau réfractaire constituant le fond 9 et obturé par un bouchon 22 de cuivre lui-même refroidi.

Le fond 9 peut encore, suivant un autre mode de réalisation de l'invention, être constitué, comme c'est le cas sur la figure 1, du même matériau conducteur que la spire 1, le dispositif de vidange se limitant alors à un trou alésé dans le fond et obturé par un bouchon de cuivre refroidi, comme pour la réalisation décrite au paragraphe précédent. Il est alors nécessaire d'assurer l'isolation électrique entre le fond et la spire et d'éviter une modification trop importante des lignes du champ électromagnétique ; c'est pourquoi un joint isolant et réfractaire 10 sépare le fond et la spire, et de plus la partie de la spire adjacente au fond est entaillée, ce qui supprime la partie du champ électromagnétique qui aurait subi un couplage dû à la présence du fond. Ces entailles 11 ménagées dans la spire sont colmatées par un isolant électrique qui assure l'étanchéité du creuset. Elles sont généralement disposées périodiquement et leur longueur est de l'ordre du dixième de la hauteur de la spire.

Le refroidissement des parois du creuset est effectué au moyen de petits tubes de cuivre 12 qui sont le siège d'une circulation forcée de fluide amené et recueilli après utilisation par deux collecteurs 13 et 14 de diamètres plus importants. Les tubes 12 sont généralement circonférentiels. Seules les découpes 15 limitées par les entailles sont refroidies par circulation de fluide dans des tubes coudés 16 serpentant le long des découpes.

Ce four peut être adapté à un fonctionnement en continu, la matière solide pouvant être introduite en continu et évacuée sous forme de liquide par débordement à l'aide d'une goulotte non représentée ici fixée dans la partie supérieure de la spire, comme cela est décrit dans la demande de brevet français FR-A 2 540 982.

L'avantage de l'invention consiste en ce que la (ou les) pièce(s) 5 permettent d'opérer avec un courant de tension plus élevé sans craindre la formation d'arc électrique entre les extrémités de la spire 1 : cette tension peut être doublée dans le cas d'un four comprenant une seule de ces pièces. Il est alors possible de travailler avec une spire de diamètre deux fois plus grand, permettant de traiter des produits de résistivité plus élevée, ce qui implique une surface d'échange thermique quatre fois plus importante.

L'inductance et la résistance d'un inducteur et donc son impédance sont proportionnelles au carré du nombre de spires. L'impédance d'une monospire, quatre fois plus faible que celle d'un inducteur à deux spires, permet également de ne pas changer le diamètre et de travailler à une fréquence quatre fois inférieure, ce qui est équivalent du point de vue énergétique mais autorise l'emploi de dispositifs de transformation du courant alternatif beaucoup plus simples et efficaces dans certains cas. Ces possibilités nouvelles peuvent encore être étendues si on insère plusieurs exemplaires de la pièce 5 comme le montre la figure 3. Sur cette figure on retrouve les mêmes éléments essentiels que ceux décrits à la figure 1 et remplaçant les mêmes rôles. Seul est prévu l'emploi de deux pièces refroidies.

Il est possible de travailler suivant la résistivité du produit dans la gamme de fréquence 40 kHz-500 kHz en utilisant un générateur à triodes de type apériodique, et dans la gamme 50 Hz-40 kHz avec un générateur à semi-conducteur ou à partir du réseau.

A titre d'exemple, le matériau porté la fusion (environ 1400°C) est un verre borosilicaté de type VR15F commercialisé par HPC. Le chargement en poudre brute se fait en continu à la surface et l'évacuation du verre fondu a lieu par débordement à travers une goulotte ménagée dans la partie supérieure de l'inducteur.

Le tableau 1 présente les caractéristiques principales et les résultats de deux essais réalisés à l'aide d'un inducteur monospire de diamètre 400 mm ou 600 mm. A titre comparatif, des caractéristiques et des résultats d'un essai réalisé à l'aide d'un inducteur deux spires (diamètre 300 mm) de l'art antérieur, sont donnés dans la première colonne de ce tableau.

35

40

45

50

55

60

65

TABLEAU 1

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

	Inducteur 2	Inducteur	Inducteur
	spires $(\varnothing =300\text{mm})$	monospire $(\varnothing =400\text{mm})$	monospire $(\varnothing =600\text{mm})$
	part antérieur		
Fréquence kHz	330	310	300
Tension HF aux bornes de l'inducteur (volts)	830	650	620
Puissance résiduelle délivrée par le générateur (kW)	80	65	90
Production de verre (kg/h)	50	70	110
Dépense d'énergie (kW.h/kg)	1,5	0,9	0,8

L'utilisation d'un générateur haute fréquence de type apériodique permet d'adapter la capacité du circuit oscillant à l'inducteur utilisé pour se situer dans la gamme de fréquence indiquée par le constructeur.

55

Revendications

60

1. Four de fusion pour matériaux réfractaires par induction dont la paroi conductrice de l'électricité est constituée d'une spire cylindrique unique (1) dont les extrémités (2) sont reliées à une source de courant alternatif à haute fréquence (3), ladite spire formant à la fois l'inducteur et le creuset proprement dit et comportant des moyens de refroidissement (12) de sa surface, caractérisé en ce qu'il comprend au moins une pièce refroidie de forme allongée en matériau conducteur de l'électricité (5), disposée le long de la fente (4) délimitée par les extrémités (2) de la spire (1), maintenue à un potentiel flottant et isolée électriquement de ladite spire.

65

2. Four de fusion selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'espace entre la pièce refroidie (5) et les extrémités de la spire (1) est rempli d'un isolant.
3. Four de fusion selon l'une quelconque des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que le fond (9) du creuset est constitué d'un matériau conducteur.
- 5 4. Four de fusion selon la revendication 3, caractérisé en ce que le matériau conducteur constituant le fond (9) du creuset est de même nature que celui de la spire (1).
5. Four de fusion selon l'une quelconque des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que le fond (9) du creuset est constitué d'un matériau isolant.
6. Four de fusion selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que la partie inférieure de la spire, adjacente au fond du creuset, est entaillée.
- 10 7. Four de fusion suivant l'une quelconque des revendications 3 et 4, caractérisé en ce que le fond conducteur (9) et la spire (1) sont séparés par un isolant électrique réfractaire (10).
8. Four de fusion suivant la revendication 6, caractérisé en ce que les entailles (11) ménagées dans la spire sont colmatées par un isolant électrique réfractaire.
- 15 9. Four de fusion suivant l'une quelconque des revendications 6 ou 8, caractérisé en ce que les découpes (15) limitées par les entailles sont refroidies par circulation de fluide dans des tubes coudés (16) serpentant le long des découpes.
10. Four suivant la revendication 1, caractérisé en ce que la pièce (5) maintenue à potentiel flottant est constituée principalement d'une enveloppe creuse (7) à l'intérieur de laquelle circule un fluide de refroidissement.

Claims

1. Melting furnace for refractory materials contained in a crucible by induction, having an electricity conducting wall constituted by a single cylindrical turn (1), whose ends (2) are connected to a high frequency alternating current source (3), said turn forming both the inductor and the crucible and having means (12) for cooling the surface thereof, characterized in that it comprises at least one elongated cooled member made from an electricity conducting material (5), arranged along a slot (4) defined by the ends (2) of the turn (1), which is maintained at a floating potential and electrically insulated from said turn.
- 25 2. Melting furnace according to claim 1, characterized in that the space between the cooled member (5) and the ends of the turn (1) is filled with an insulant.
3. Melting furnace according to either of the claims 1 or 2, characterized in that the bottom (9) of the crucible is made from a conductive material.
- 30 4. Melting furnace according to claim 3, characterized in that the conductive material constituting the bottom (9) of the crucible is of the same nature as that of the turn (1).
5. Melting furnace according to either or the claims 1 or 2, characterized in that the bottom (9) of the crucible is made from an insulating material.
- 35 6. Melting furnace according to any one of the claims 1 to 5, characterized in that the lower part of the turn, adjacent to the bottom of the crucible, is notched.
7. Melting furnace according to either of the claims 3 and 4, characterized in that the conductive bottom (9) and the turn (1) are separated by a refractory electrical insulant (10).
- 40 8. Melting furnace according to claim 6, characterized in that the notches (11) made in the turn are sealed by a refractory electrical insulant.
9. Melting furnace according to either of the claims 6 to 8, characterized in that the cutouts (15) defined by the notches are cooled by fluid circulation in bent tubes (16) running along the cutouts.
- 45 10. Melting furnace according to claim 1, characterized in that the member (5) maintained at a floating potential is mainly constituted by a hollow envelope (7) within which circulates a cooling fluid.

Patentansprüche

- 50 1. Induktionsschmelzofen für hochschmelzende Materialien, dessen elektrisch leitfähige Wand aus einer einzigen zylinderförmigen Windung (1) besteht, deren Enden (2) mit einer Hochfrequenz-Wechselstromquelle (3) verbunden sind, wobei die Windung zugleich den Induktor und den eigentlichen Schmelztiegel bildet und eine Abkühlvorrichtung (12) für ihre Oberfläche aufweist, dadurch gekennzeichnet, daß er wenigstens ein abgekühltes Teil länglicher Form aus einem elektrisch leitfähigen Material (5) aufweist, das entlang der Spalte (4) angeordnet ist, die von den beiden Enden (2) der Wicklung (1) begrenzt wird, und das auf einem erdfreien Potential gehalten wird und elektrisch von der Wicklung isoliert ist.
2. Schmelzofen nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Raum zwischen dem abgekühlten Teil (5) und den Enden der Wicklung (1) mit einem Isolator aufgefüllt ist.
3. Schmelzofen nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Boden (9) des Schmelztiegels aus einem leitfähigen Material besteht.
4. Schmelzofen nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß das leitfähige Material, das den Boden (9) des Schmelztiegels bildet dergleichen Art wie das der Wicklung (1) ist.
5. Schmelzofen nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Boden (9) des Schmelztiegels aus einem isolierenden Material besteht.

6. Schmelzofen nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß der untere Teil der Wicklung, der an den Boden des Schmelztiegels angrenzt, eingekerbt ist.

7. Schmelzofen nach einem der Ansprüche 3 und 4, dadurch gekennzeichnet, daß der leitfähige Boden (9) und die Wicklung (1) durch einen hochschmelzenden elektrischen Isolator (10) getrennt sind.

5 8. Schmelzofen nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die in der Wicklung ausgeführten Einkerbungen (11) mit einem hochschmelzenden elektrischen Isolator aufgefüllt sind.

9. Schmelzofen nach einem der Ansprüche 6 oder 8, dadurch gekennzeichnet, daß von den Einkerbungen begrenzten Abschnitte (15) durch den Durchfluß einer Flüssigkeit durch abgewinkelte Röhren (16), die sich an den Abschnitten entlang schlängeln, gekühlt werden.

10 10. Schmelzofen nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das erdfrei gehaltene Teil (5) im wesentlichen aus einer hohlen Umhüllung (7) besteht, in deren Inneren eine Kühlflüssigkeit zirkuliert.

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

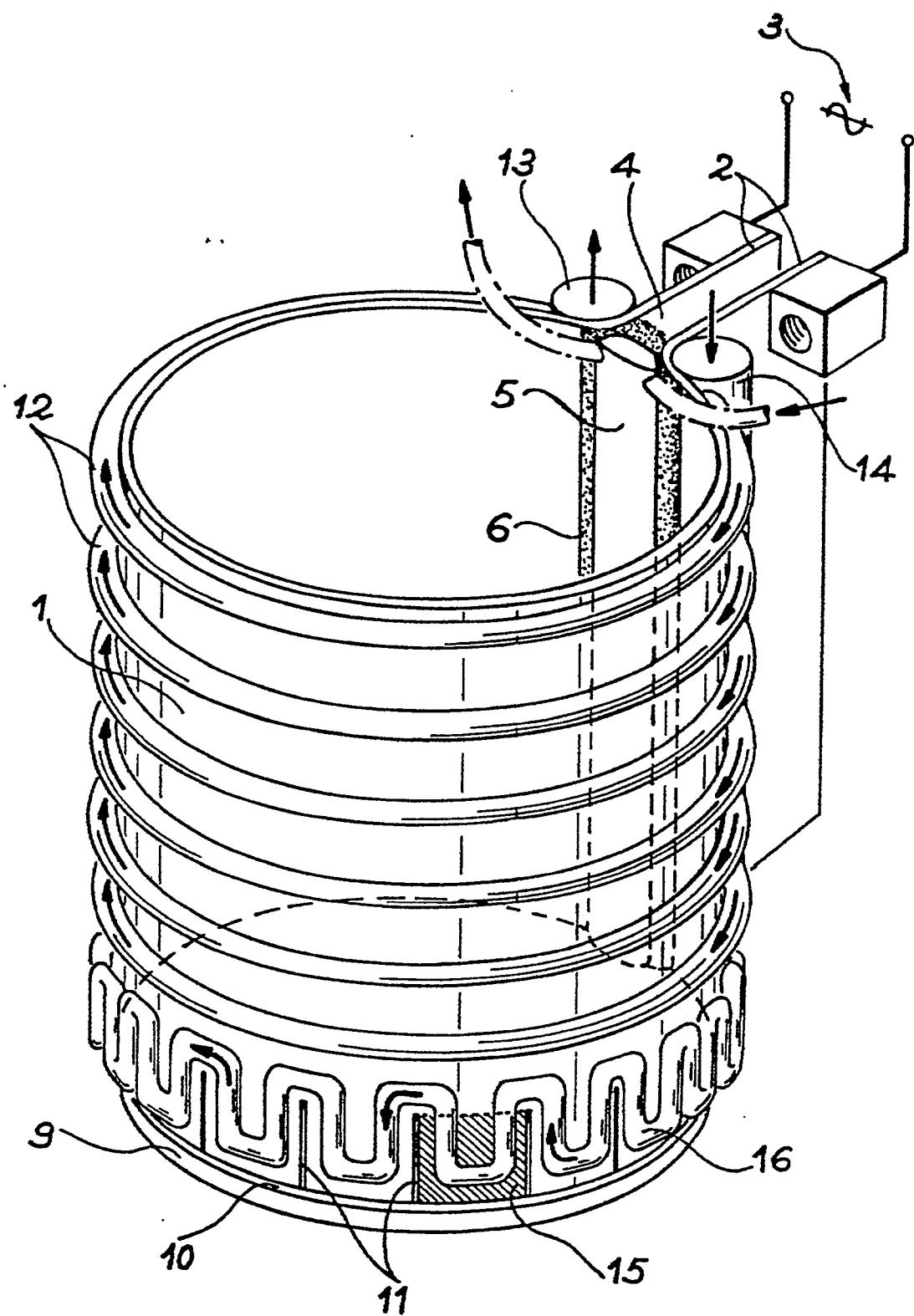


FIG. 1

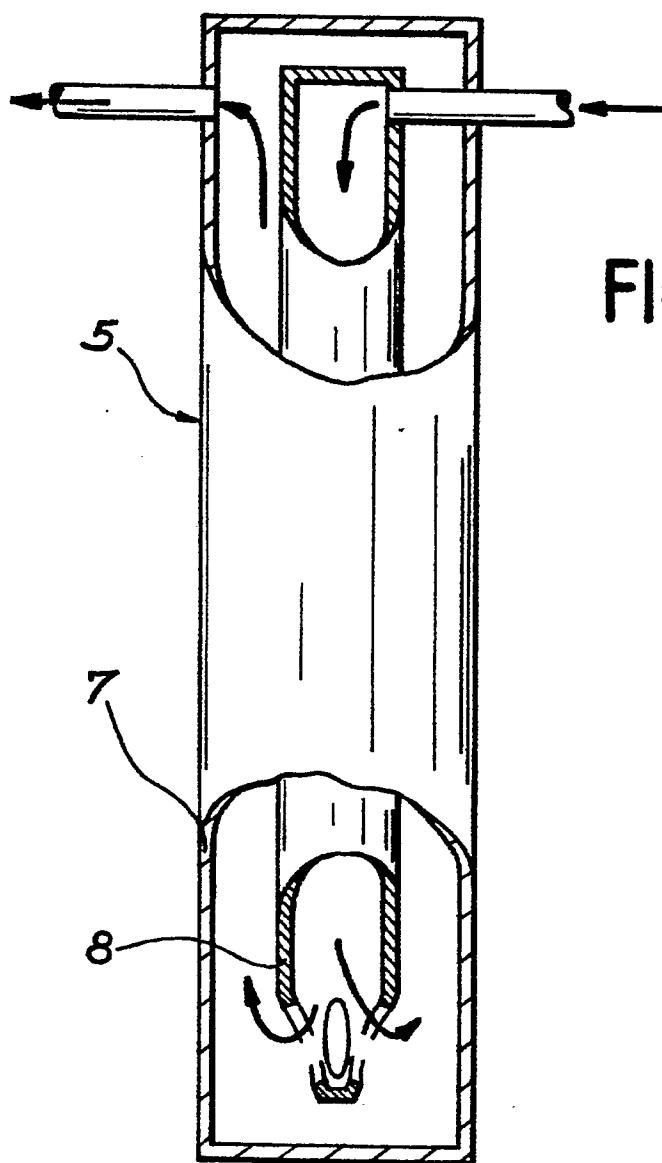


FIG. 2

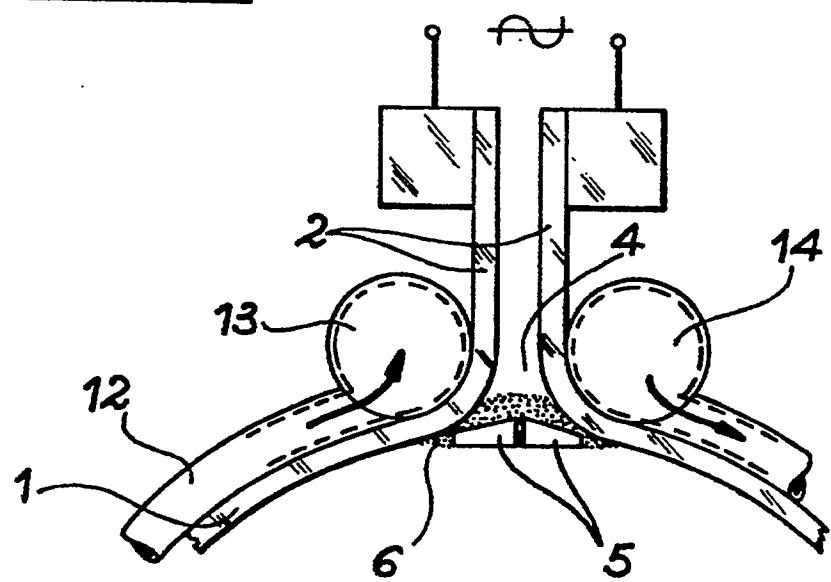


FIG. 3

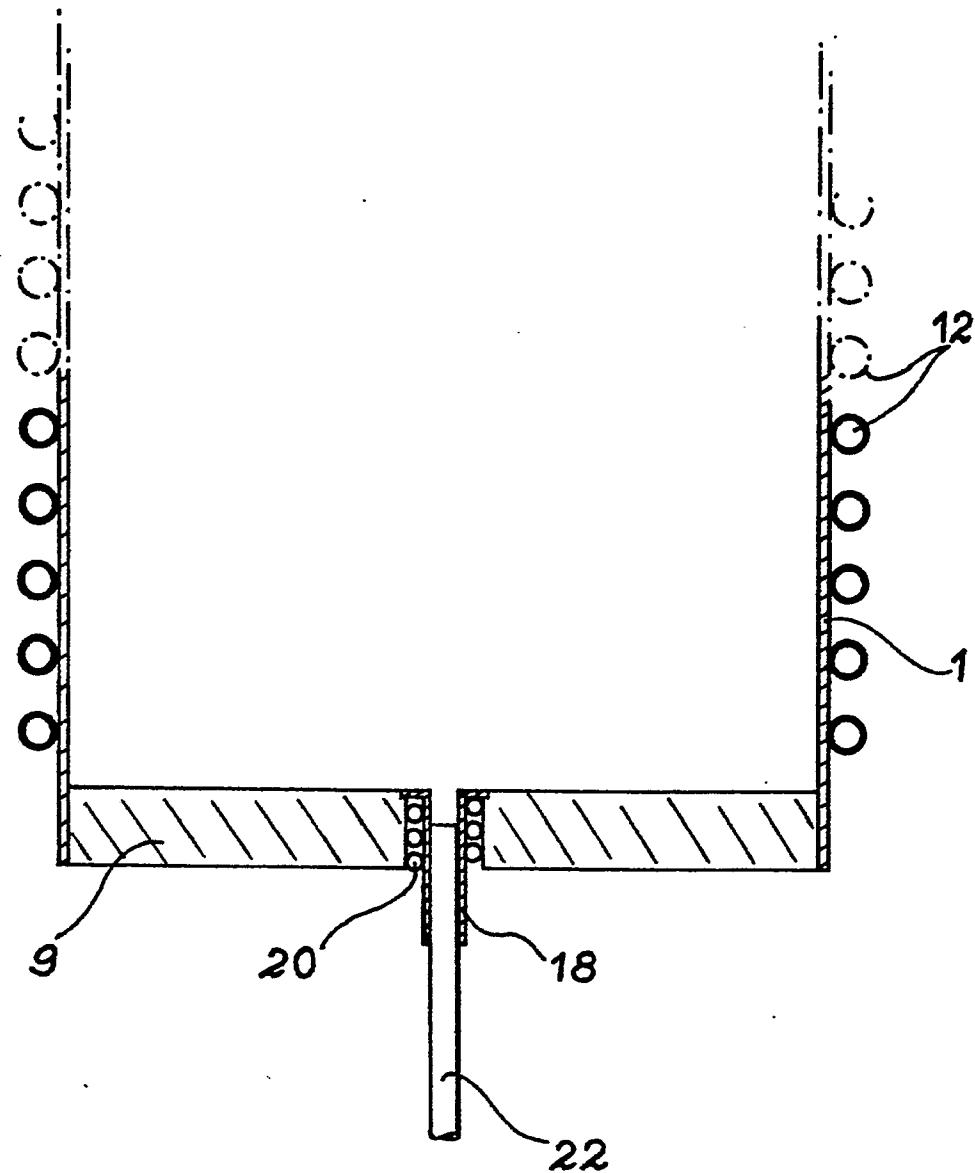


FIG. 4