



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) Numéro de publication :

**0 020 215
B1**

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPÉEN

(45) Date de publication du fascicule du brevet :
13.07.83

(51) Int. Cl.³ : **H 05 B 6/02**

(21) Numéro de dépôt : **80400644.3**

(22) Date de dépôt : **12.05.80**

(54) **Four de réchauffage à induction à champ glissant.**

(30) Priorité : **23.05.79 FR 7913428**

(43) Date de publication de la demande :
10.12.80 Bulletin 80/25

(45) Mention de la délivrance du brevet :
13.07.83 Bulletin 83/28

(84) Etats contractants désignés :
BE DE GB IT SE

(56) Documents cités :
**DE A 1 565 381
DE B 1 182 373
DE C 404 606
FR A 1 034 097
FR A 2 140 510
US A 2 005 901
US A 2 781 437
US A 3 774 002**

(73) Titulaire : **INSTITUT DE RECHERCHES DE LA SIDERURGIE FRANCAISE (IRSID) France
185, rue Président Roosevelt
F-78105 Saint-Germain-en-Laye (FR)**

(72) Inventeur : **Delassus, Jean
31, rue des Carrières
F-95160 Montmorency (FR)
Inventeur : Michelet, Jacques
19, rue du Fort
Longeville-les-Metz F-57000 Metz (FR)
Inventeur : de Lamberterie, Bertrand
Quartier Pelenches
F-13450 Grans (FR)**

(74) Mandataire : **Tuppin, Claude
INSTITUT DE RECHERCHES DE LA SIDERURGIE
FRANCAISE (IRSID) 185, rue Président Roosevelt
F-78105 Saint-Germain-en-Laye (FR)**

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).

Four de réchauffage à induction à champ glissant

La présente invention concerne un four électrique à géométrie variable destiné au chauffage par induction de produits métalliques, notamment de grand format, tels que des brames d'acier que l'on place sur chant à l'intérieur du four.

Un four de ce type est décrit dans le brevet français n° 2 339 316. Le dispositif chauffant est un inducteur plan à champ magnétique glissant, constituant l'élément essentiel d'au moins une grande paroi latérale mobile du four. Cet inducteur comporte des conducteurs électriques à barres qui sont logés dans des encoches ménagées dans une culasse magnétique sur la face tournée vers l'intérieur du four et désignée dans la suite par « face active de l'inducteur ».

L'un des impératifs essentiels est d'assurer le maintien de l'inducteur à un niveau de température acceptable face à la charge thermique provenant à la fois de l'échauffement interne et du rayonnement du produit dans le four.

Conformément au brevet précité, la protection thermique de l'inducteur est obtenue par l'action conjuguée d'un revêtement réfractaire équipant la face active de l'inducteur et d'une circulation de fluide refroidissant dans les encoches.

Une telle solution n'est pas sans inconvénients si l'on considère par exemple que, dans le cas d'un inducteur à champ glissant, l'entrefer joue un rôle capital pour le rendement électrique du four, et qu'à cet égard l'épaisseur du revêtement réfractaire devrait être la plus réduite possible.

Une observation analogue concerne le refroidissement dans les encoches, notamment lorsque, conformément à la réalisation décrite dans le brevet précité, les conducteurs électriques sont des barres de type « Roebel » destinées à faciliter le passage des hautes intensités nécessaires. Dans ce cas en effet, les possibilités de refroidissement par circulation interne de fluide sont en contre-partie plus limitées que pour les conducteurs tubulaires plus classiques que l'on utilise couramment pour le chauffage par solénoïde, ou par tout autre type d'inducteur à champ magnétique stationnaire.

Selon une réalisation préférée décrite dans le brevet précité, la protection thermique de l'inducteur est complétée par une circulation de fluide refroidissant dans des canaux parallèles aux barres, placés en tête d'encoches. Là encore, certaines difficultés peuvent apparaître : des difficultés de réalisation pratique d'abord, car il n'est pas simple de mettre en place de tels canaux dans les encoches de la culasse ; des difficultés de tenue mécanique ensuite en raison de phénomènes de vibration de l'inducteur lors du passage du courant alternatif ; des difficultés d'ordre électrique enfin car ces canaux, disposés parallèlement aux barres conductrices, peuvent devenir le siège de courants de Foucault parasites.

La présente invention a pour but d'améliorer l'efficacité du refroidissement de l'inducteur sans présenter les inconvénients précités.

A cet effet, l'invention a pour objet un four électrique à dimensions variables de l'enceinte de chauffe et destiné au chauffage par induction de produits métalliques, notamment de grand format, tels que des brames d'acier, disposés sur chant à l'intérieur du four et dans lequel le dispositif chauffant est un inducteur plan à champ magnétique glissant constituant au moins une grande paroi latérale mobile du four et équipé sur sa face active d'un revêtement réfractaire, four comprenant des moyens de refroidissement de l'inducteur à circulation interne d'un fluide refroidissant et caractérisé en ce que ces moyens sont constitués par un écran refroidissant indépendant, interposé entre la face active de l'inducteur et le revêtement réfractaire et possédant une structure composite de manière à présenter une pluralité de discontinuités électriques s'étendant chacune selon une direction transversale à celle des conducteurs du courant primaire dans l'inducteur, et consécutives les unes des autres dans la direction desdits conducteurs.

Comme on le comprend, la présente invention consiste donc à remplacer les canaux de refroidissement incorporés à la culasse magnétique de l'inducteur par un écran refroidissant indépendant de la culasse, masquant la face active de l'inducteur et dispose en sandwich entre cette dernière et le revêtement réfractaire.

Toutefois, des dispositions doivent être prises pour rendre cet écran refroidissant, le plus transparent possible au champ magnétique. A cet égard, on a avantage à utiliser, pour la fabrication de l'écran un matériau présentant une faible conductibilité électrique et une perméabilité magnétique relative voisine de l'unité. Cependant, pour des raisons évidentes de tenue mécanique, il n'est guère envisageable à l'heure actuelle d'employer un matériau autre qu'un métal, et notamment de l'acier, de sorte que l'on peut craindre quelques difficultés au plan de la transmission du flux magnétique au travers de l'écran.

Afin de remédier à ces difficultés, et de permettre ainsi au dispositif de refroidissement d'être un « écran thermique » sans pour autant constituer un « écran magnétique », une caractéristique de l'invention consiste à doter cet écran d'une structure composite de manière à présenter des discontinuités électriques les unes à la suite des autres dans une direction parallèle aux barres conductrices de l'inducteur.

De cette façon en effet, les courants de Foucault qui ont tendance, comme on le sait, à se former dans une direction parallèle à celle du courant primaire de l'inducteur, verront leur possibilité de développement dans l'écran considérablement réduite et, avec elle, l'absorption du champ magnétique au travers de ce dernier.

Une technologie possible consiste à réaliser les parois de l'écran en bandes métalliques et non métalliques alternées, orientées perpendiculaire-

ment aux barres conductrices de l'inducteur.

Une forme de réalisation préférée, conformément à l'invention, réside en ce que l'écran refroidissant est constitué par des tubes métalliques placés côte-à-côte de façon rapprochée mais sans contact entre eux, de manière à ménager entre deux tubes consécutifs un espace d'isolation électrique, lesdits tubes étant orientés perpendiculairement aux barres conductrices.

Bien entendu, ces dispositions peuvent être avantageusement complétées par d'autres, consistant, en fonction des indications prémentionnées, en un choix approprié du métal dont est fait l'écran, par exemple un acier inoxydable amagnétique.

De façon particulièrement avantageuse, on peut réaliser cet écran à partir d'unités élémentaires que l'on assemble sur le four. Cette solution permet de préfabriquer des unités de dimension standard dont le nombre à utiliser dépendra de la dimension du four destiné à les recevoir.

L'invention sera bien comprise et d'autres aspects et avantages ressortiront plus clairement au vu de la description qui suit donnée en référence aux planches de dessins annexées sur lesquelles :

la figure 1 est une section verticale perpendiculaire au plan des grandes faces de l'inducteur, la figure 2 est une vue en section horizontale passant par une encoche de la culasse magnétique,

la figure 3 est une vue de face d'une unité élémentaire constitutive de l'écran refroidissant selon l'invention,

la figure 4 est une vue de profil de l'unité représentée sur la figure 3.

Sur toutes les figures, les mêmes éléments sont désignés par des références identiques.

Sur les figures 1 et 2, on a représenté en 1 une brame d'acier disposée sur chant à l'intérieur du four de chauffage 2 au moyen d'un socle de support 3. Pour pouvoir adapter la géométrie du four au format de la brame, les grandes parois latérales 4, placées en regard des grandes faces de la brame, sont mobiles en translation sur un chemin de roulement 5 par l'intermédiaire de roues 6. Les déplacements des parois sont commandés par des vérins représentés en 7, 7'. La fermeture de l'enceinte de chauffe est complétée latéralement par deux petites cloisons réfractaires 8, à la partie supérieure par un couvercle réfractaire 9 et l'étanchéité de l'enceinte à sa partie inférieure est assurée par compression d'un joint élastique 10 sous l'action du socle 3.

Comme on le voit clairement sur la figure 1, les grandes parois latérales 4 du four sont essentiellement constituées par un inducteur électromagnétique plan 11. Celui-ci est formé d'une culasse magnétique 12, feuilletée verticalement et présentant, du côté de la brame, des encoches horizontales dans lesquelles sont logées des barres 13 de type Roebel pour le passage du courant électrique.

Ces barres sont connectées de façon connue à une alimentation polyphasée non représentée

(par exemple triphasée), de manière à générer dans l'enceinte du four un champ magnétique mobile, glissant verticalement.

Les barres conductrices 13 sont plus visibles sur la figure 2 où l'on a également représenté leurs extrémités recourbées 14 plus généralement appelées « têtes de bobine » et permettant le montage en série des barres reliées à la même phase de l'alimentation.

On signale que pour absorber l'énergie de vibration due au passage du courant alternatif, la culasse magnétique 12 est fragmentée en plusieurs blocs élémentaires séparés par des plaques intercalaires 15 en métal relativement mou, comme l'aluminium, l'ensemble étant maintenu par des tiges de serrage 16. D'autre part, afin de bloquer les barres 13, des cales élastiques longitudinales 17 sont placées en tête de chaque encoche. Au besoin, on trouvera une description plus détaillée de la technologie de l'inducteur et du four en général en se reportant au brevet n° 2 339 316 et à son premier certificat d'addition n° 2 354 015.

Comme on le voit, l'inducteur est équipé sur sa face active, désignée en 18, d'un revêtement réfractaire 19 avec interposition entre les deux, d'un écran refroidissant 20 de structure composite conformément à l'invention, et dont une forme de réalisation préférée mais non limitative est décrite plus en détail ci-après.

L'écran 20 est constitué par une pluralité de tubes métalliques parallèles 21 disposés côte-à-côte de façon rapprochée mais sans contact mutuel de manière à définir entre eux des espaces d'isolation électrique 22. Ces tubes 21 sont orientés perpendiculairement aux barres conductrices 13, c'est-à-dire verticalement dans l'exemple décrit. Pour conférer à l'ensemble un complément de rigidité, les espaces 22 sont de préférence comblés par un matériau approprié, isolant de la chaleur et de l'électricité, par exemple un matériau disponible dans le commerce sous la désignation de « Syndanio », composé d'un mélange de pierre minérale et d'amiante agglomérée sous forte pression.

Cette structure composite de l'écran 20 et son orientation par rapport aux barres conductrices ont pour but, comme on l'a déjà dit, de défavoriser le développement de courants de Foucault indésirables.

Bien entendu, l'écran 20 fait partie d'un circuit de refroidissement (non représenté) pour permettre une circulation interne d'un fluide refroidissant, par exemple de l'eau, et que l'on considérera comme tel dans la suite.

Conformément à une variante préférée, l'écran 20 est réalisé par assemblage d'unités refroidissantes élémentaires identiques 23 dont un exemplaire est bien visible sur les figures 3 et 4.

On voit que chaque unité 23 comprend une tubulure d'entrée 24 et une tubulure de sortie 25 pour la circulation interne de l'eau de refroidissement.

À cette fin, les tubes 21 appartenant à une

même unité 23 peuvent être montés en parallèle ou de préférence en série comme c'est le cas de la figure 3. Dans le cas, l'unité 23 constitue un serpentin refroidissant dans lequel l'eau circule successivement dans chacun des tubes 21 ce qui permet une meilleure répartition de l'absorption du flux thermique.

Comme on le voit, les tubes communiquent entre eux à leur extrémité par l'intermédiaire de deux conduites transversales respectivement supérieure 26 et inférieure 27. Cette technologie particulière présente l'intérêt de pouvoir passer d'un montage en parallèle des tubes à un montage en série sans nécessiter de modifications importantes. En effet, comme le montre clairement la figure 3, pour passer d'un montage en parallèle à un montage en série, il suffit d'obstruer les conduites transversales 26 et 27 en des endroits convenables, c'est-à-dire entre deux tubes 21 voisins et distants d'un espace correspondant à une paire de tubes, les endroits d'obturation étant décalés d'une unité entre les deux conduites 26 et 27.

Ces obturations peuvent être réalisées simplement, comme le montre la figure au moyen de pastilles 28 mises en place dans les conduites après avoir effectué dans ces dernières des découpes demi-annulaires 29 aux endroits adéquats.

On remarque que les tubulures d'entrée et de sortie 24 et 25 se situent du même côté de l'écran, ce qui présente l'avantage d'une plus grande simplicité pratique au niveau de l'architecture d'ensemble du four.

Nous allons à présent donner quelques indications chiffrées, absolument non limitatives, sur la structure de l'unité refroidissante 23.

Les tubes 21 en acier inoxydable amagnétique présentent un diamètre externe de 15 mm et une épaisseur de 2 mm. À ce sujet, il est préférable, pour des raisons électromagnétiques, de choisir une épaisseur de tube la plus faible possible, compatible avec les impératifs de résistance mécanique de l'écran, laquelle peut être améliorée, comme on l'a vu, en plaçant dans les espaces 22 des cales isolantes.

Ces espaces 22 sont de faible largeur : 2 mm dans l'exemple décrit. Cette valeur peut être plus réduite encore, la seule condition étant que les tubes ne soient pas en contact entre eux afin d'éviter une continuité électrique dans le sens transversal. La longueur des tubes est de préférence au moins égale à la hauteur de la région active de l'inducteur. Cette disposition présente l'avantage complémentaire de placer les conduites transversales 26 et 27 en dehors de l'entrefer et d'éviter ainsi qu'elles deviennent le siège de courants de Foucault.

La fixation des unités 23 sur le four s'effectue à l'aide de deux brides identiques prolongeant l'écran verticalement de part et d'autre.

Sur les figures 3 et 4, seule la bride supérieure 30 a été représentée. Comme on le voit, cette bride est constituée d'un profilé en L dont la petite branche 31 est soudée sur la conduite

transversale et dont la grande branche 32, placée dans le plan de la surface interne de l'écran, présente deux entretoises en U, 33 et 34. L'entretoise supérieure 34 est percée d'orifices 35 pour le passage de boulons de fixation représentés en 36 sur la figure 1. En plus de l'efficacité de la protection thermique de l'inducteur, l'invention présente de nombreux autres avantages, parmi lesquels on peut citer :

— le fait que l'écran refroidissant est un organe autonome rapporté sur le four, donc structurellement indépendant de l'inducteur, ce qui permet une grande simplicité de conception et de réalisation ainsi qu'une grande souplesse de maintenance.

— l'efficacité de l'écran pour la protection thermique de l'inducteur est telle que l'épaisseur du revêtement réfractaire peut être substantiellement réduite par rapport à celle du four connu décrit dans le brevet n° 2 339 316. On peut ainsi passer d'une épaisseur voisine de 10 cm à environ 3 cm. Il en résulte compte tenu de l'épaisseur de l'écran (1,5 cm environ), une réduction de l'entrefer de l'ordre de 5 cm, et ceci grâce à la possibilité d'adapter la géométrie de l'enceinte du four à celle des produits à chauffer.

La réduction de l'entrefer entraîne d'autres avantages que l'on peut énumérer comme suit :

— une amélioration du $\cos \phi$ de l'installation. À cet égard, l'expérience a montré que le $\cos \phi$ du four connu décrit dans le brevet précité était légèrement inférieur à celui d'un chauffage par un inducteur classique à champ magnétique stationnaire. Grâce à l'invention, le $\cos \phi$ devient désormais supérieur, ce qui implique une économie, par exemple au niveau des condensateurs électriques ainsi qu'au niveau des câbles d'aménée du courant qui peuvent être moins gros.

— une amélioration du rendement électrique de chauffage, surtout sensible dans le cas, conforme à l'invention, d'un chauffage par inducteur à champ magnétique mobile.

— une amélioration du rendement de chauffage global du four, car l'amélioration du rendement électrique de chauffage prime sur les pertes thermiques, légèrement accrues, dues à la réduction de l'épaisseur du revêtement réfractaire.

— enfin, un avantage très particulier au cas d'un inducteur à champ glissant, à savoir la réduction, voire la suppression, du déséquilibre entre phases électriques, responsable de ce que l'on appelle en électrotechnique « les effets d'extrémités » ou plus précisément les « effets de longueur finie » propres aux moteurs linéaires à induction. En effet, le fait de pouvoir réduire l'entrefer permet de réduire corrélativement le pas polaire de l'inducteur tout en conservant constante la valeur du rapport entre le champ magnétique créé au voisinage de l'inducteur et le champ magnétique agissant sur le produit à chauffer, autrement dit en conservant constant l'affaiblissement relatif du champ magnétique depuis l'inducteur jusque sur la surface du produit.

Il est donc possible de ce fait, d'augmenter le nombre de paires de pôles magnétiques par phase de l'alimentation électrique, donc d'atténuer corrélativement la dissymétrie électrique entre l'extrémité d'entrée et l'extrémité de sortie du champ magnétique, par exemple entre les extrémités inférieure et supérieure de l'inducteur lorsque le champ magnétique mobile glisse verticalement de bas en haut.

Revendications

1. Four électrique à dimensions variables de l'enceinte de chauffe et destiné au chauffage par induction de produits métalliques (1) posés verticalement, et dans lequel le dispositif chauffant est un inducteur plan (11) à champ magnétique glissant, constituant au moins une paroi latérale mobile (4) du four et étant équipé sur sa face active (18) d'un revêtement réfractaire (19), four comprenant des moyens de refroidissement de l'inducteur par circulation interne d'un fluide refroidissant et caractérisé en ce que lesdits moyens sont constitués par un écran refroidissant (20) rapporté sur le four et structurellement indépendant de l'inducteur (11), ledit écran refroidissant étant interposé entre la face active (18) de l'inducteur et le revêtement réfractaire (19) et possédant une structure composite de manière à présenter une pluralité de discontinuités électriques (22) s'étendant chacune selon une direction transversale à celle des conducteurs (13) du courant primaire dans l'inducteur, et consécutives les unes des autres dans la direction desdits conducteurs (13).

2. Four électrique selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'écran refroidissant (20) est constitué par une pluralité de tubes métalliques (21) parallèles, disposés côte-à-côte, de façon rapprochée mais sans contact mutuel de manière à définir entre eux des espaces d'isolation électrique (22), lesdits tubes étant orientés perpendiculairement à la direction du courant primaire dans l'inducteur.

3. Four électrique selon la revendication 2, caractérisé en ce que l'écran refroidissant (20) est constitué par assemblage d'unités élémentaires identiques (23) comprenant chacune une pluralité de tubes (21).

4. Four électrique selon la revendication 3, caractérisé en ce que les tubes (21) appartenant à une même unité élémentaire (23) sont reliés en série de manière à constituer un serpentin refroidissant, et en ce que les unités élémentaires (23) sont montées en parallèles entre elles.

5. Four électrique selon la revendication 4, caractérisé en ce que les tubes (21) sont reliés en série à leurs extrémités.

6. Four électrique selon la revendication 2, caractérisé en ce que les espaces d'isolation électrique (22) sont occupés par un matériau isolant de l'électricité conférant à l'ensemble de l'écran (20) un complément de rigidité mécanique.

Claims

1. An electric furnace, with a heating-chamber of varying size, designed for induction heating of stacked iron and steel products (1), the heating device being a flat, drift magnetic-field inductor (11), making up at least a movable side wall (4) of the furnace and which has a refractory lining (19) on its active side (18), the furnace being equipped with means for cooling internally the inductor by a circulating refrigerant, the furnace being characterised in that such means consist of a build-up cooling screen (20) structurally separate from the inductor (11) and sandwiched between the active side (18) of the inductor and refractory lining (19), its structure being composite so as to include a number of consecutive electrical discontinuities (22) each one extending transversely within the inductor across the primary-current conductors (13) and in the same direction as the said conductors (13).

2. An electric furnace, according to claim 1, characterised in that the cooling screen (20), consists of a number of parallel, side-by-side metal tubes (21) which are close to one another but leaving between them adequate electrical-insulation space (22), the said tubes being arranged at right angles to the direction of the primary current in the inductor.

3. An electric furnace, according to claim 2, characterised in that the cooling screen (20) consists of an assembly of identical elementary units (23) each one comprising a number of tubes (21).

4. An electric furnace, according to claim 3, characterised in that the tubes (21), forming part of a selfsame elementary unit (23), are connected in series to make up a cooling coil, and in that the said elementary elements (23) are connected in parallel between them.

5. An electric furnace, according to claim 4, characterised in that the tubes (21) are connected in series at their ends.

6. An electric furnace, according to claim 2, characterised in that the electrical-insulation spaces (22) are filled by an insulating material imparting additional strength to the screen structure.

Ansprüche

1. Elektrischer Ofen mit veränderlichen Abmessungen der Heizummantelung zur induktiven Aufheizung von senkrecht stehenden metallischen Körpern, bei welchem die Heizvorrichtung ein ebener Induktor (11) mit einem gleitenden Magnetfeld ist, der mindestens eine bewegliche Seitenwand (4) des Ofens bildet, auf seiner wirksamen Seite (18) eine feuerfeste Auskleidung (19) aufweist und mittels von einem Kühlfluid durchströmter Kühlmittel gekühlt wird, dadurch gekennzeichnet, daß die Kühlmittel einen am Ofen ohne Verbindung mit dem Induktor (11) angebrachten Kühlschirm (20) bilden, der zwischen

der wirksamen Seite (18) des Induktors (11) und der feuerfesten Auskleidung (19) angeordnet ist und eine Vielzahl von elektrischen Unterbrechungen (22) aufweist, die sich einzeln in einer zu den Primärstromleitern (13) des Induktors (11) senkrechten Richtung erstrecken und eine in Richtung der Primärstromleiter (13) sich erstreckende Folge bilden.

2. Elektrischer Ofen nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Kühlschirm (20) durch eine Vielzahl von in gegenseitigem Abstand parallel nebeneinander angeordneten, elektrisch isolierende Zwischenräume bildenden metallischen Rohren (21) gebildet wird, die sich senkrecht zur Richtung des Primärstroms des Induktors (11) erstrecken.

3. Elektrischer Ofen nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Kühlschirm (20) durch

Zusammenbau mehrerer identischer Elementareinheiten (23) gebildet wird, von denen jede eine Mehrzahl von Rohren (21) aufweist.

4. Elektrischer Ofen nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die eine Elementareinheit (23) bildenden Rohre (21) unter Bildung einer Kühlschlange miteinander verbunden sind und die Elementareinheiten (23) parallel zueinander angeordnet sind.

5. Elektrischer Ofen nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Rohre (21) an ihren Enden in Serie miteinander verbunden sind.

6. Elektrischer Ofen nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die elektrisch isolierenden Zwischenräume (22) von einem elektrisch isolierenden Stoff erfüllt sind, der dem Kühlschirm (20) die Eigenschaft eines mechanisch steifen Körpers verleiht.

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

6

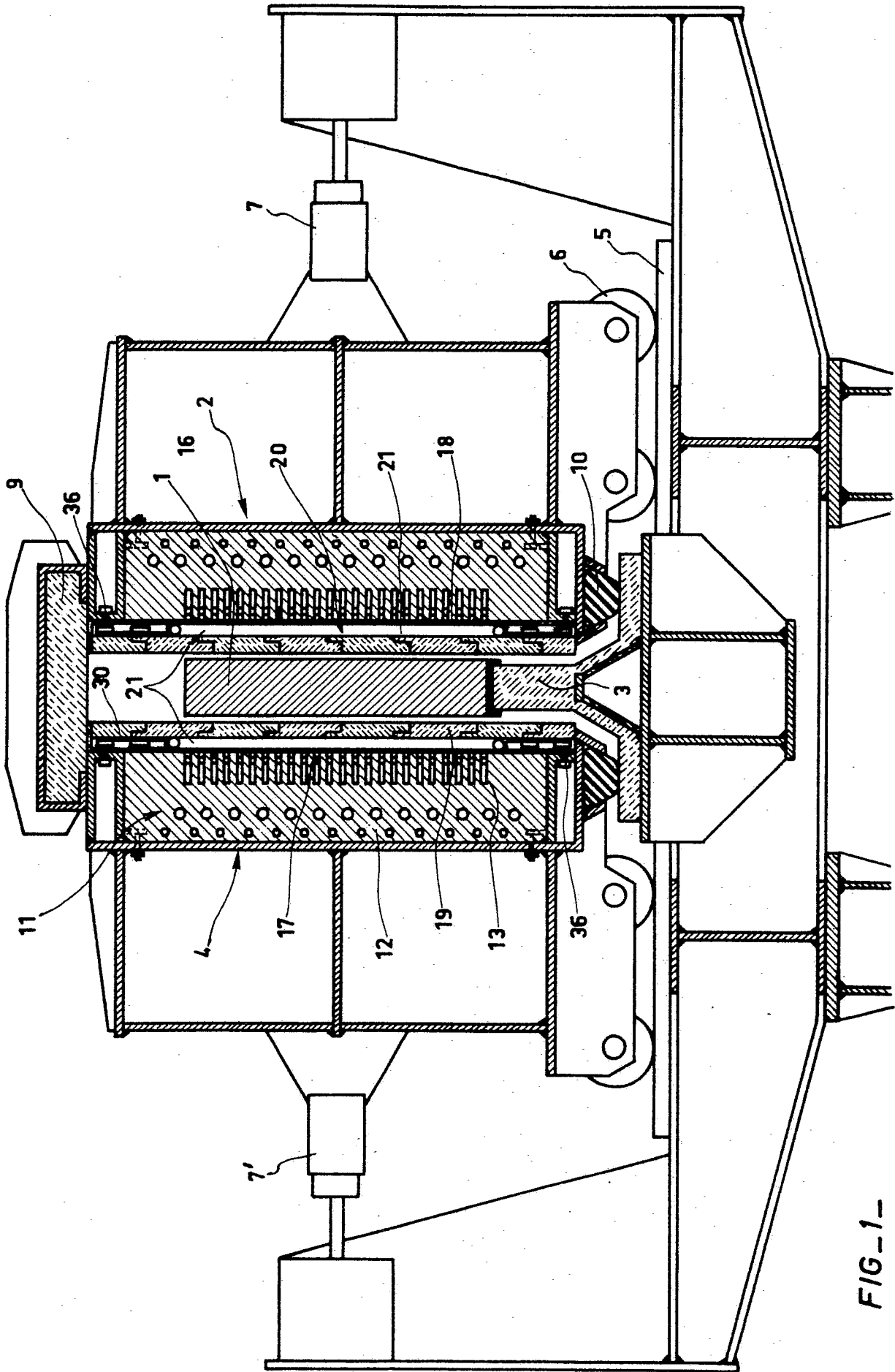


FIG-1-

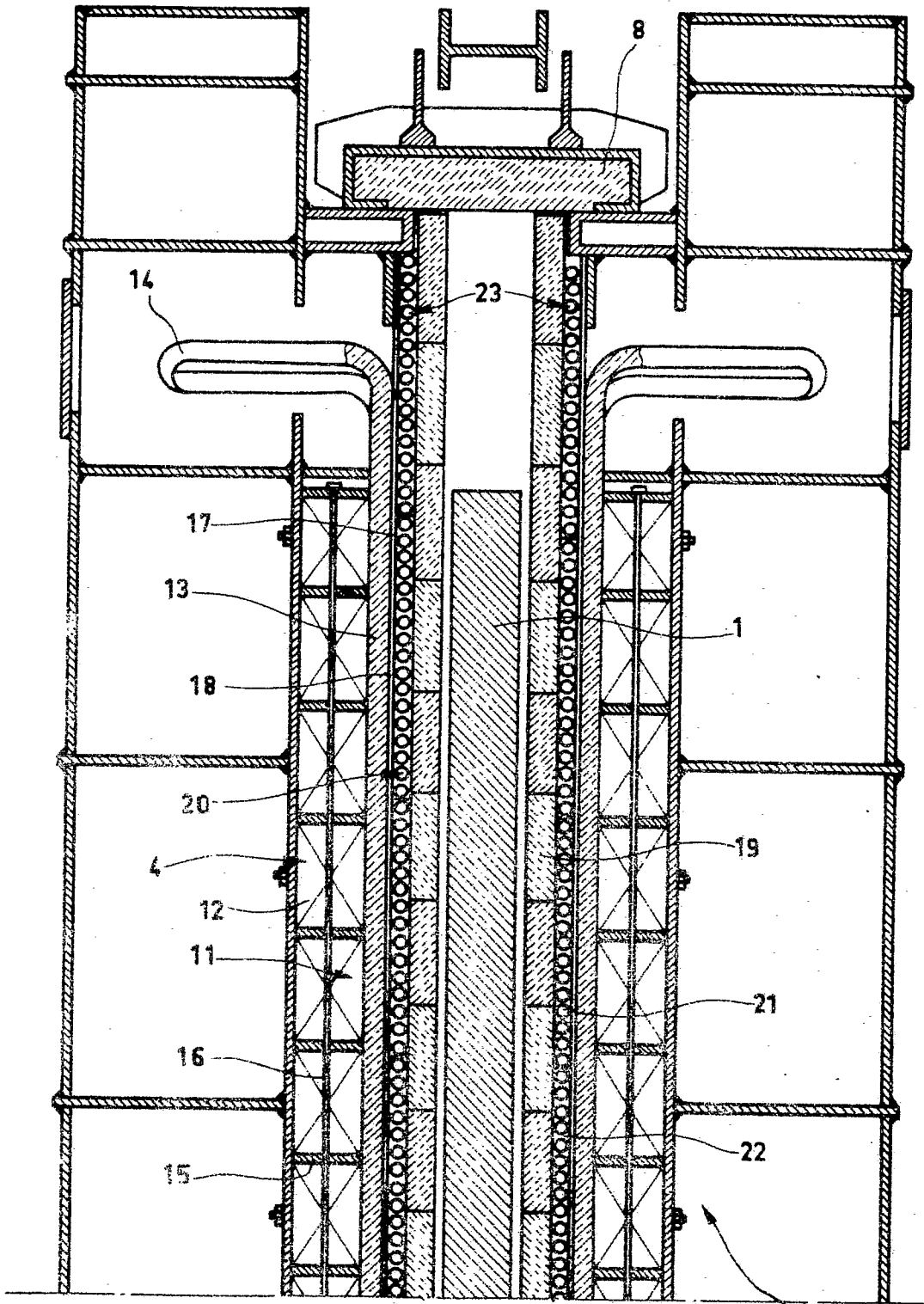
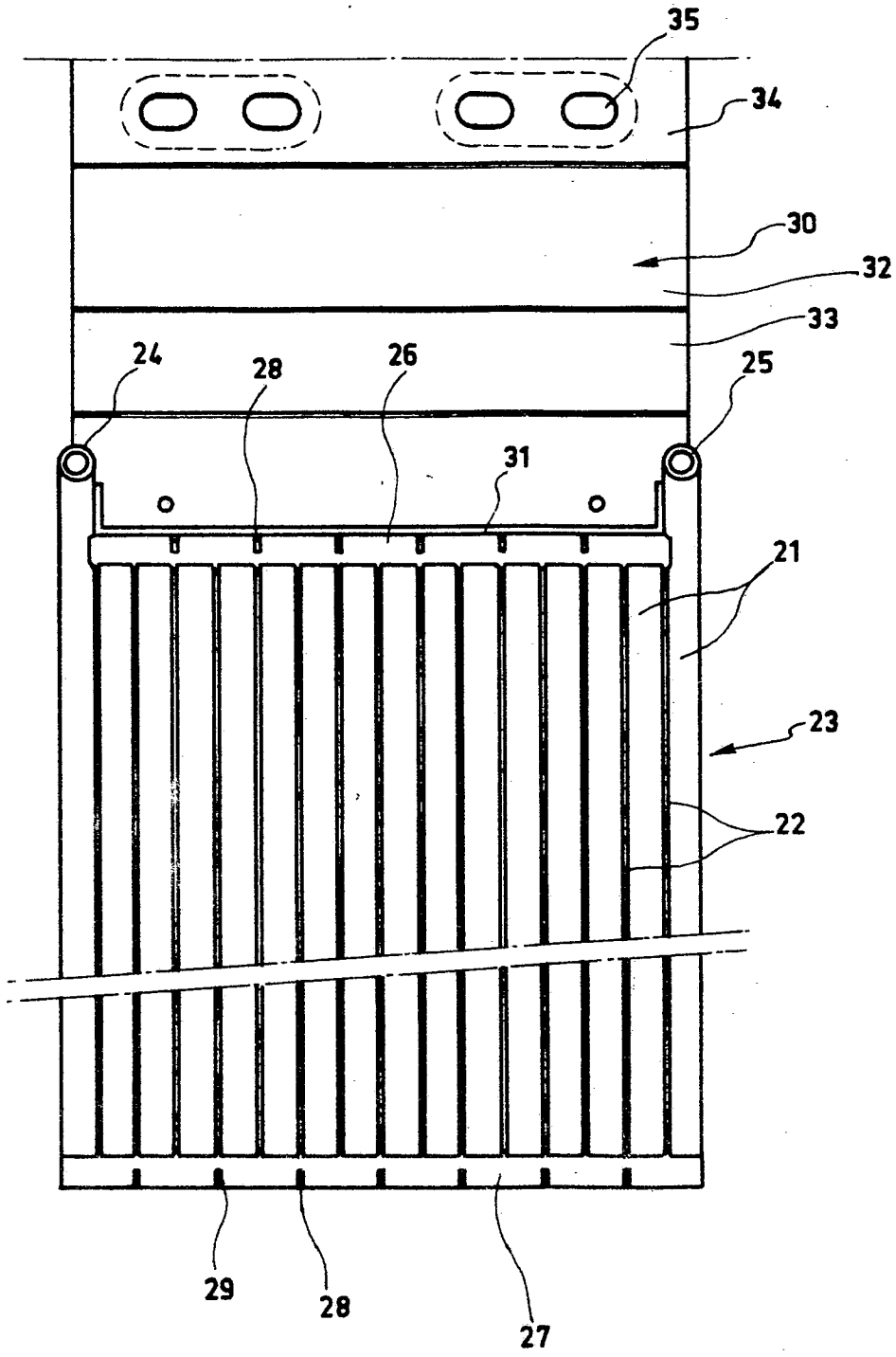
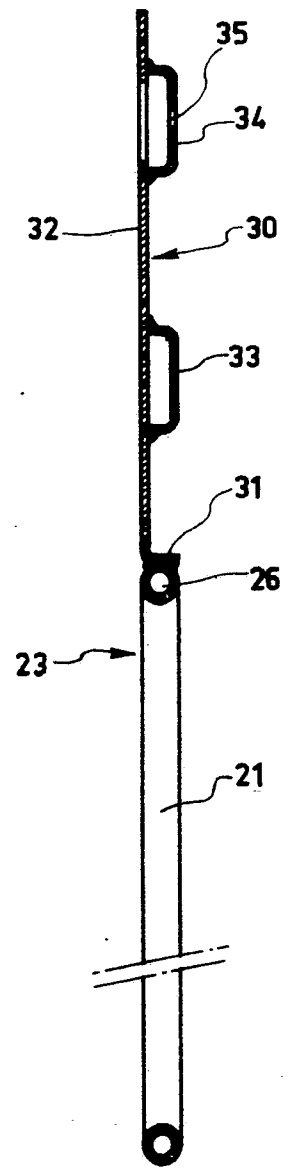


FIG. 2

2



FIG_3_



FIG_4_