

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(11) N° de publication :

2 495 752

(A n'utiliser que pour les
commandes de reproduction).

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

N° 80 26260

(54) Dispositif de chauffage électrique par induction de produits électroconducteurs solides.

(51) Classification internationale (Int. Cl.º). F 27 D 11/06; F 27 B 9/06; F 27 D 9/00.

(22) Date de dépôt 10 décembre 1980.

(33) (32) (31) Priorité revendiquée :

(41) Date de la mise à la disposition du
public de la demande B.O.P.I. — « Listes » n° 23 du 11-6-1982.

(71) Déposant : INSTITUT DE RECHERCHES DE LA SIDERURGIE FRANÇAISE (IRSID). Etablissement professionnel régi par la loi du 17 novembre 1943, résidant en France.

(72) Invention de : Pierre Vayssiére et Jacques Michelet.

(73) Titulaire : *Idem* (71)

(74) Mandataire :

DISPOSITIF DE CHAUFFAGE ELECTRIQUE PAR INDUCTION
DE PRODUITS ELECTROCONDUCTEURS SOLIDES

La présente invention concerne le chauffage électrique par induction
5 de produits électroconducteurs solides de toutes formes et dimensions, plus spécialement de produits métalliques, tels que les demi-produits sidérurgiques à format allongé, à l'exemple des brames d'acier.

On sait que le chauffage électrique par induction est déjà bien utilisé industriellement, soit pour le traitement thermique de produits finis, 10 particulièrement dans le domaine de la trempe superficielle, soit pour le chauffage ou le préchauffage de demi-produits avant laminage, par exemple dans une installation de coulée continue avec laminage en ligne.

Les dispositifs de chauffage inductif que l'on connaît sont généralement conçus de façon que la face d'appui du produit sur les moyens de 15 support soit distincte de la face, ou de l'une des faces chauffées, c'est-à-dire celles tournées en regard des inducteurs.

Par ailleurs, dans le cas de produits à format allongé, les brames notamment, il importe pour l'efficacité du chauffage, de disposer le, ou les inducteurs, en regard des grandes faces du produit. On est alors conduit 20 à placer la brame sur chant dans le dispositif de chauffage, dont les parois latérales, en regard des deux grandes faces de la brame, sont équipées d'inducteurs électromagnétiques. Un dispositif de ce type est décrit en détail dans le brevet français n° 2 339 316 et dans son 2ème Certificat d'Addition n° 79/13428.

25 Or, la majorité des installations industrielles pour l'élaboration des métaux, et de l'acier en particulier, sont conçus de manière que le produit métallique solide, en cours de fabrication, soit placé la plupart du temps, et notamment au cours des phases de transfert, en position naturellement la plus stable, c'est-à-dire en position horizontale, en appui par sa plus 30 grande face.

On comprend que l'intégration d'un dispositif de chauffage inductif du type précité dans une chaîne de fabrication industrielle s'accompagne donc de la nécessité d'un basculement du produit à l'enfournement, puis au défournement. Ceci se traduit par une manutention non justifiée par ailleurs, 35 pas toujours facile à réaliser, en raison des masses souvent importantes devant être déplacées, et qui, de toute façon, pénalise la productivité.

La présente invention a pour but de supprimer ces inconvénients en permettant le chauffage inductif de produits en position horizontale.

39 A cet effet, l'invention a pour objet un dispositif de chauffage

électrique par induction de produits électroconducteurs solides, et notamment des produits métalliques à format allongé, constitué par une pluralité de cellules chauffantes élémentaires disposées en ligne, les unes à la suite des autres, de manière à définir un couloir plat horizontal ou 5 sensiblement horizontal, pour le passage du produit à chauffer. Chaque cellule comprend une partie supérieure et une partie inférieure placées respectivement au-dessus et en-dessous du produit à chauffer, et équipée chacune de moyens de chauffage par induction. Les cellules sont séparées entre-elles par des moyens de support du produit à chauffer dont la surface 10 porteuse est légèrement surélevée par rapport à la paroi intérieure de la partie inférieure des cellules.

Conformément à une caractéristique de l'invention, les moyens de chauffage par induction équipant les parties supérieure et inférieure de chaque cellule sont des inducteurs statiques polyphasés de structure plane 15 et créant un champ magnétique mobile glissant.

De préférence, les inducteurs présentent des conducteurs électriques orientés transversalement par rapport au dispositif.

De préférence encore, le dispositif comporte un nombre pair de cellules.

Selon une forme de réalisation, les moyens de support du produit sont 20 constitués par des rouleaux transversaux mobiles en rotation axiale et interposés à distance entre les cellules. En variante, certains rouleaux au moins sont moteurs avec réversibilité de leur sens de rotation.

Selon une autre forme de réalisation assurant la continuité du circuit magnétique dans le sens longitudinal du dispositif, les cellules sont 25 juxtaposées de façon jointive et les moyens de support sont constitués par des glissières transversales fixes, incorporées dans la partie inférieure de chaque cellule chauffante à l'endroit de la jonction avec ses voisines immédiates.

Comme on le comprend, l'invention consiste donc, dans ses caractéristiques essentielles, à chauffer le produit métallique par sa face porteuse grâce à une conception du dispositif en parties chauffantes et parties de support fonctionnellement et physiquement distinctes.

L'invention apporte ainsi une solution simple, efficace et peu coûteuse au problème posé depuis longtemps et consistant à pouvoir concilier avantageusement le support stable d'un produit soumis uniquement à son propre poids avec son chauffage inductif par sa face d'appui.

L'invention sera bien comprise et d'autres aspects et avantages ressortiront plus clairement au vu de la description qui suit, donnée à 39 titre d'exemple non limitatif et en référence aux planches de dessins

annexées sur lesquelles :

- la figure 1 représente schématiquement un dispositif de chauffage inductif de brames d'acier, vu en coupe longitudinale selon le plan vertical B-B de la figure 2,

5 - la figure 2 est une vue en coupe transversale selon le plan vertical A-A de la figure 1,

- la figure 3 est une vue partielle en coupe longitudinale montrant une variante de réalisation du dispositif selon la figure 1.

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

Le dispositif de chauffage inductif représenté comprend quatre cellules chauffantes identiques 1, 1', 1'', 1''' alignées de manière à définir un couloir horizontal plat 2 pour le passage de la brame 3 à chauffer.

15 Comme on le voit, chaque cellule est constituée de deux parties chauffantes identiques : une partie supérieure 4 (4', 4'', 4''') et une partie inférieure 5 (5', 5'', 5''') placées respectivement au-dessus et en-dessous de la brame 3, et dimensionnées transversalement (figure 2) de manière à couvrir toute la largeur de celle-ci.

20 Dans ces conditions, la brame 3 est couchée longitudinalement dans le dispositif avec ses grandes faces à l'horizontale (position naturellement stable) en regard desquelles sont disposées les parties chauffantes 4, 5 des cellules (chauffage optimal).

25 Ces dernières sont séparées entre elles par des rouleaux transversaux 6, 6', 6'' servant de support à la brame 3. Des rouleaux supplémentaires 7 et 7' sont prévus à chaque extrémité du dispositif. On observe que les rouleaux de support sont disposés de façon que leur génératrice 8, 8', 8'' (ou 9 et 9' pour les rouleaux d'extrémités) au contact de la grande face inférieure de la brame 3, soit légèrement surélevée par rapport à la paroi intérieure des parties inférieures 5 (5', 5'', 5''') des cellules chauffantes.

30 Cette disposition est destinée, ainsi qu'on l'aura compris, à éviter que la brame ne vienne reposer sur les cellules chauffantes, suite à sa déformation par fluage à chaud.

On va maintenant décrire en détail la structure d'une cellule. Ses parties chauffantes constitutives supérieure et inférieure étant identiques, 35 on se limitera à la description de l'une d'entre elles, par exemple la partie inférieure.

39 Comme on le voit sur les figures, cette partie est essentiellement constituée par un inducteur électromagnétique comprenant une culasse magnétique 10 en tôle feuilletée collée et compactée au moyen de tirants !!

convenablement répartis. La culasse 10 présente, sur sa face tournée vers la brame 3, des encoches parallèles orientées transversalement à la brame et dans lesquelles sont placées des conducteurs en cuivre 12 pour le passage du courant électrique. Les conducteurs sont avantageusement constitués par 5 des brins de cuivre assemblés en hélice et de manière à ménager des passages longitudinaux pour une circulation d'eau de refroidissement (barres types Roebel). Des cales longitudinales 13 assurent leur blocage en fond d'encoche.

Sur la culasse 10, côté encoches, est rapporté un écran refroidissant 14 assurant la protection thermique de l'inducteur. Cet écran est constitué 10 par un faisceau de tubes 15 parallèles et communiquant entre eux à leurs extrémités respectives par une nourrice 16 d'alimentation en eau et par un collecteur de sortie 17. Les tubes sont disjoints et orientés perpendiculairement aux barres électroconductrices 12 de manière à empêcher la formation dans l'écran 15 de courants de Foucault parasites.

15 Des brides d'extrémités 18 et 19 assurent la fixation de l'écran sur la culasse.

Sur la face libre de l'écran 14 est plaqué un revêtement isolant 20 réalisé par assemblage de plaques réfractaires.

Des petites plaques réfractaires 21, maintenues dans une enveloppe 20 métallique 22, assurent la fermeture latérale de l'espace défini entre les parties 4 et 5, de manière à réduire les déperditions de chaleur (figure 2).

Dans l'exemple décrit, chaque culasse 10 comprend huit barres conductrices 12, partagées en deux groupes reliés chacun à une phase d'une alimentation électrique diphasée non représentée.

25 Chaque groupe est constitué de quatre barres reliées entre elles, mais disposées de façon alternée avec les barres de l'autre groupe. Ainsi, la barre de rang i d'un groupe a pour voisines immédiates les barres de rang $i-1$ et $i+1$, appartenant à l'autre groupe. Par ailleurs, les barres d'un même groupe sont reliées en série, de sorte que le courant électrique qui 30 les traverse change de sens d'une barre à l'autre, par exemple entre la barre de rang i et celle de rang $i+2$ (ou $i-2$).

Le circuit électrique ainsi réalisé, laisse apparaître de chaque côté des cellules, des boucles (têtes de bobine) 23 bien visibles sur la figure 2 et repliées vers l'extérieur pour réduire leur encombrement.

35 Par ailleurs, chaque inducteur supérieur 4 (4'...) ou inférieur 5 (5'...) crée un champ magnétique mobile, glissant longitudinalement et dont l'action sur la brame 3 se traduit par un chauffage rapide et homogène de cette dernière. Il doit être souligné que les inducteurs sont avantageusement alimentés en courant électrique à fréquence industrielle. Au besoin,

on trouvera des indications plus détaillées sur la structure et le fonctionnement de ce type d'inducteur en se reportant au brevet français n° 2 339 316 et à son 2ème Certificat d'Addition n° 79/13.428 déjà cités.

Conformément à une mise en oeuvre préférée de l'invention, chaque couple d'inducteurs (4, 5) appariés au sein de la même cellule crée des champs magnétiques glissants qui se déplacent dans le même sens, ceci afin de limiter les possibilités de bouclage des lignes de champ d'un inducteur vers son correspondant disposé en regard de l'autre côté de la brame. L'expérience montre en effet une efficacité de chauffage accrue lorsqu'un tel bouclage n'est pas favorisé.

D'autre part et conformément à une caractéristique avantageuse de l'invention, chaque inducteur crée un champ magnétique qui glisse dans un sens opposé à celui du champ créé par les inducteurs les plus proches voisins et situés du même côté de la brame.

Cette caractéristique a pour but d'empêcher, de la part du dispositif, une action motrice sur la brame qui pénaliserait l'effet du chauffage recherché.

A cet égard, une caractéristique complémentaire est que le dispositif ne présente qu'un nombre pair de cellules inductrices, de sorte que les composantes motrices des forces électromagnétiques développées au sein de la brame se contrebalancent deux à deux.

Il doit être noté toutefois que, comme on l'aura sans doute déjà compris, l'influence d'un nombre impair de cellules sur le chauffage est inversement proportionnel au nombre total de cellules. Par conséquent, on peut toujours déterminer un nombre de cellules au-delà duquel, toute chose étant égale par ailleurs, le non-respect du critère de parité demeure sans conséquence sensible.

Il doit être également souligné que le choix optimal du nombre de cellules inductrices constitutives du dispositif selon l'invention, résulte d'un compromis entre les exigences antagonistes que sont, d'une part, l'efficacité du chauffage et, de l'autre, l'efficacité des moyens de support.

On va donner quelques précisions sur ce point :

D'un côté, on a intérêt à espacer les rouleaux-supports le moins possible, donc à augmenter le nombre de cellules, afin que la brame, par fluage à chaud, ne vienne reposer sur la surface du revêtement réfractaire 20.

De l'autre, on favorise le chauffage, d'une part, en minimisant l'entrefer des inducteurs, c'est-à-dire en rapprochant le plus possible la génératrice de contact des rouleaux du four de la surface réfractaire 20, et, d'autre part, en minimisant le nombre d'espaces entre les cellules, donc en

réduisant le nombre de cellules, car ces espaces sont des régions à faible champ magnétique.

Compte tenu de ces indications, l'homme de métier saura dans chaque cas d'espèce, déterminer le nombre optimal de cellules en fonction de ses 5 souhaits ou nécessités.

A titre purement indicatif, le dispositif illustré sur les figures présente une longueur de 12,5 m (brame de 13 m environ) et chaque cellule inductrice 4, 4'..., 5, 5'... est longue de 2,5 m.

La distance séparant deux rouleaux de support consécutifs, tels que 10 6 et 6', est de 3 m. Le jeu entre le produit et les parties inductives supérieures 4, 4'... a été réglé à 5 cm et celui entre le produit et les parties inductives inférieures 5,5'... a été augmenté jusqu'à 10 cm pour des raisons de sécurité évoquées ci-avant.

Par ailleurs, on a également évoqué précédemment les raisons pour 15 lesquelles les espaces entre les cellules étaient préjudiciables à l'efficacité du chauffage.

On observe en effet des hétérogénéités de température sur la brame, les portions de métal situées au niveau desdits espaces étant moins chaudes que le reste du produit.

20 En général, ces hétérogénéités s'estompent d'elles-mêmes par la suite ; toutefois, conformément à l'invention, il est possible d'éviter leur formation en soumettant la brame en cours de chauffe à un mouvement de va-et-vient longitudinal de faible amplitude.

Le mouvement recherché peut être obtenu simplement en attelant les 25 rouleaux, ou seulement quelques-uns d'entre eux, à des moteurs réversibles, pilotés séquentiellement. Ces moteurs n'ont pas été représentés pour ne pas surcharger inutilement les figures.

La figure 3 illustre une autre variante de l'invention permettant d'éviter les hétérogénéités de chauffage.

30 Comme on le voit, la solution consiste cette fois à limiter la cause des hétérogénéités en rendant les cellules jointives entre elles. On assure ainsi une continuité du circuit magnétique du dispositif, donc une uniformité meilleure qu'auparavant en ce qui concerne la répartition longitudinale du chauffage. Dans ce cas, les rouleaux sont supprimés et remplacés par des 35 glissières fixes 24, de préférence en matériau magnétique, et incorporées de fabrication dans les culasses magnétiques inférieures 10 au niveau de leur jonction, comme le montre la figure. De préférence, ces glissières sont tubulaires pour permettre une circulation interne d'eau de refroidissement.

Une autre variante, non représentée sur les figures, mais visant au même but et pouvant être mise en oeuvre isolément ou en combinaison avec la réalisation à cellules jointives précédemment décrite, consiste à décaler entre elles les parties supérieures et inférieures des cellules, selon une 5 disposition en quinconce dans le sens longitudinal, de manière à avoir toujours un inducteur faisant face à une zone de jonction de cellules situées de l'autre côté des produits. Comme on l'aura compris, la réduction des hétérogénéités longitudinales de température des produits s'opère cette fois par conduction des calories au travers de leur épaisseur depuis leur 10 face chaude en regard de l'inducteur vers la face opposée.

Il doit être noté que, pour éviter dans ce cas une dissymétrie de la géométrie du four, les parties chauffantes décalées sont supérieures d'une unité aux autres, mais celles placées aux extrémités du four présentent une largeur corrélativement plus réduite.

15 Une autre variante, également non représentée sur les figures, consiste à recouvrir par une tôle en matériau amagnétique, le revêtement réfractaire 20 des parties inductrices inférieures. Cette tôle empêche la calamine, qui se forme inévitablement sur les produits, de traverser le revêtement réfractaire et d'atteindre la partie électrotechnique. Accessoirement, sa présence 20 facilite le nettoyage de la calamine qui se dépose dans le four. La tôle doit toutefois être prévue assez mince (de l'ordre de 1 à 3 mm environ) pour éviter tout risque de fusion par induction.

Il va de soi que l'invention ne saurait se limiter aux exemples de réalisation qui viennent d'être décrits mais s'étendent à toutes variante 25 ou à tous équivalents dans la mesure où sont respectées les caractéristiques essentielles, telles qu'énoncées dans les revendications jointes.

En particulier, les moyens de chauffage équipant les cellules élémentaires ne sont pas nécessairement des inducteurs polyphasés à champ mobile, mais peuvent fort bien être constitués par des inducteurs monophasés du 30 type solénoïde à axe horizontal, éventuellement à spires rectangulaires, et dans lesquels passe le produit à chauffer.

On comprend toutefois qu'un avantage déterminant en faveur de la cellule à inducteurs polyphasés, réside dans l'indépendance mécanique et électrique des parties chauffantes supérieure et inférieure. Cette particularité permet notamment d'ajuster l'entrefer en fonction de l'épaisseur du produit à chauffer, de manière à optimiser dans chaque cas le couplage électromagnétique entre les inducteurs et le produit et, par conséquent, le rendement électrique de chauffage.

39 Par ailleurs, il n'est pas obligatoire que le champ magnétique mobile,

créé par chaque inducteur polyphasé, glisse dans le sens longitudinal du dispositif. Il est tout-à-fait possible à cet égard, de mettre en oeuvre un champ glissant transversalement, auquel cas il suffit de prévoir une orientation des barres conductrices dans le sens longitudinal. Il doit être noté 5 néanmoins que, dans ce cas, les contraintes liées aux têtes de bobines imposent la présence d'un espace de séparation suffisant entre les cellules.

Enfin, il doit être souligné que, si le dispositif selon l'invention a été conçu à l'origine pour le chauffage de demi-produits sidérurgiques à section allongée, tels que des brames d'acier, son domaine d'application 10 s'étend bien entendu aux produits solides électroconducteurs de format ou de géométrie quelconques.

REVENDICATIONS

- 1) Dispositif de chauffage électrique par induction de produits électroconducteurs solides, caractérisé en ce qu'il est constitué par une pluralité de cellules élémentaires de structure plane équipées de moyens de chauffage par induction et alignées les unes à la suite des autres, de manière à définir un couloir plat horizontal ou sensiblement horizontal pour le passage du produit à chauffer, en ce que chaque cellule comprend une partie inductive supérieure et une partie inductive inférieure, placées respectivement au-dessus et en-dessous du produit à chauffer et en ce que les cellules sont séparées entre elles par des moyens de support du produit à chauffer et dont la surface porteuse est légèrement surélevée par rapport à la paroi intérieure de la partie inductive inférieure des cellules.
- 2) Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que les moyens de chauffage par induction sont constitués par un couple d'inducteurs polyphasés à champ magnétique glissant équipant respectivement la partie inférieure et la partie supérieure de chaque cellule.
- 3) Dispositif selon les revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que les moyens de support du produit à chauffer sont constitués par des rouleaux transversaux interposés entre les cellules.
- 4) Dispositif selon les revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que les cellules sont jointives entre elles et en ce que les moyens de support du produit sont constitués par des glissières transversales fixes incorporées dans la partie inductive inférieure de chaque cellule à l'endroit de la jonction avec les cellules voisines.
- 5) Dispositif selon la revendication 2, caractérisé en ce que les inducteurs polyphasés équipant les cellules présentent des conducteurs électriques orientés transversalement.
- 6) Dispositif selon la revendication 3, caractérisé en ce que les rouleaux, ou du moins certains d'entre eux, sont entraînés par des moteurs réversibles.
- 7) Dispositif selon les revendications 1, 2 ou 3, caractérisé en ce que le nombre de cellules est d'ordre pair.
- 8) Dispositif selon les revendications 1, 2, 3 ou 4, caractérisé en ce que chaque cellule comprend une partie inductive supérieure et une partie inductive inférieure, décalées entre elles latéralement selon une disposition d'ensemble en quinconce dans le sens longitudinal du four.
- 9) Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que les parties inductives comportent sur leur face intérieure tournée vers les

produits à chauffer un revêtement isolant réfractaire.

10) Dispositif selon la revendication 9, caractérisé en ce que le revêtement isolant réfractaire est recouvert par une tôle mince en matériau amagnétique.

5 11) Dispositif selon les revendications 9 ou 10, caractérisé en ce qu'un écran refroidissant est interposé entre le revêtement isolant réfractaire et chaque inducteur, et en ce que ledit écran est constitué par un faisceau de tubes parallèles orientés perpendiculairement aux conducteurs électriques des inducteurs, et dans lesquels circule un fluide de refroidissement.

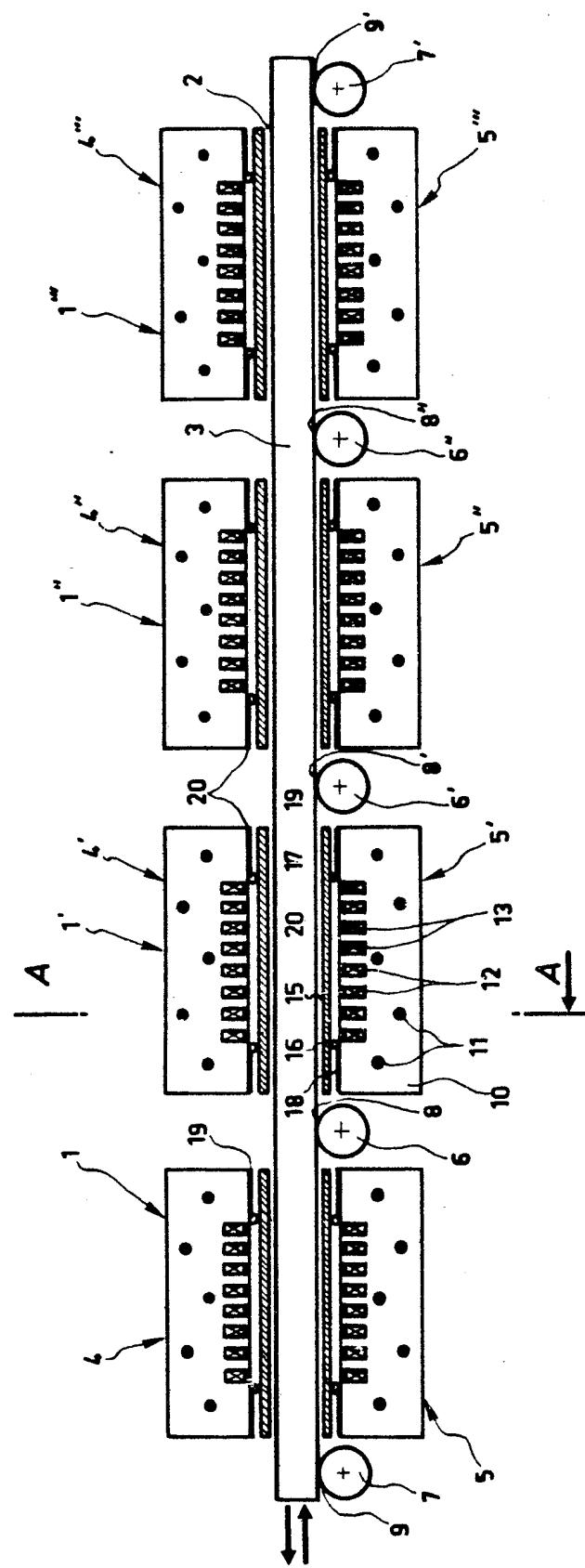


Fig. 1 -
coupe BB

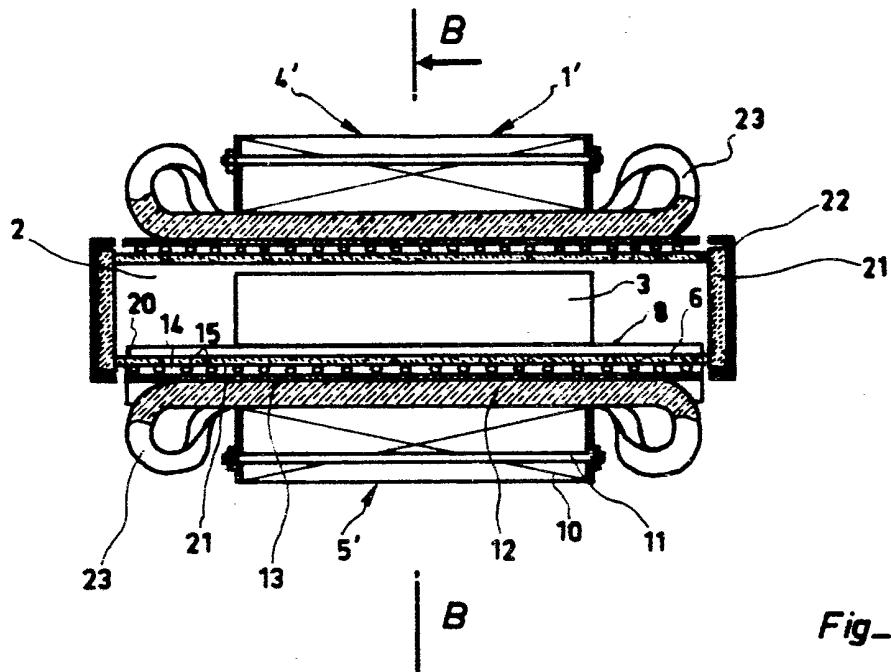


Fig. 2-
coupe AA

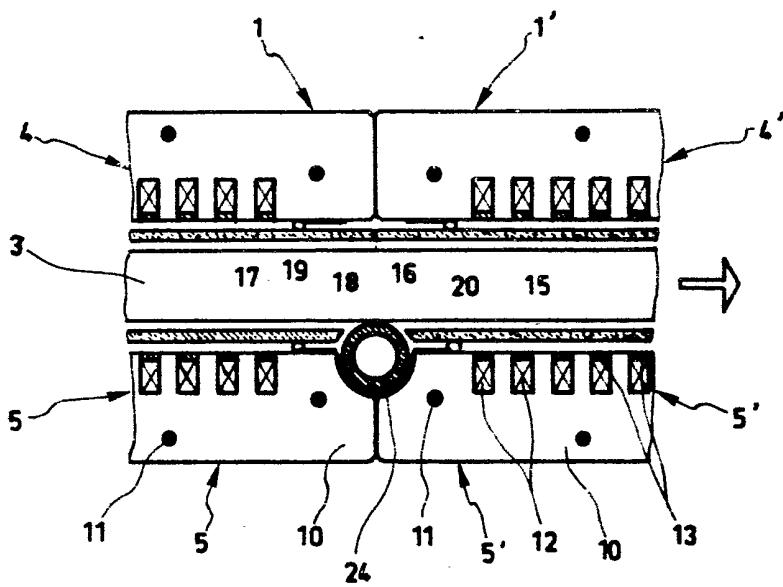


Fig. 3-