

12 **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

21 Numéro de dépôt: 85401769.6

51 Int. Cl.⁴: B 22 D 11/04

22 Date de dépôt: 12.09.85

30 Priorité: 26.09.84 FR 8414759

43 Date de publication de la demande:
 23.04.86 Bulletin 86/17

84 Etats contractants désignés:
 AT BE CH DE GB IT LI LU NL SE

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

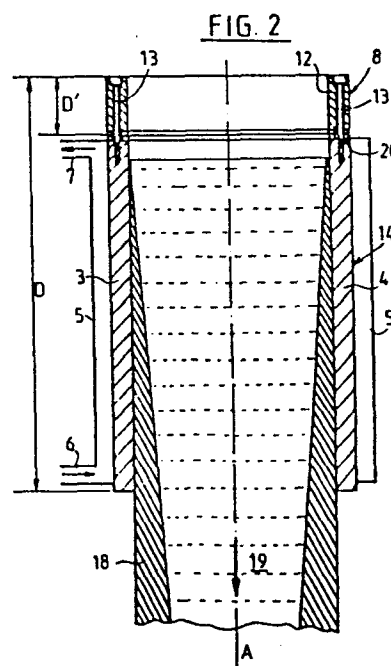
72 Inventeur: Larrecq, Michel
 87 bis, rue Georges Ducrocq
 F-57070 Metz(FR)

72 Inventeur: Nogues, Michel
 113, Avenue des Cotes
 F-78600 Maisons-Laffitte(FR)

74 Mandataire: Ventavoli, Roger et al,
 INSTITUT DE RECHERCHES DE LA SIDERURGIE
 FRANCAISE (IRSID) Station d'Essais Boîte Postale 13
 F-57210 Maizières-lès-Metz(FR)

54 **Lingotière vibrante de coulée continue des métaux.**

57 Lingotière vibrante de coulée continue des métaux,
 notamment de l'acier, comprenant au moins un transducteur
 ultrasonore (8) monté sur le bord (20) d'une extrémité de
 l'élément tubulaire interne (14) de la lingotière, dans le
 prolongement de cet élément, et orienté pour transmettre
 audit élément (14) les vibrations ultrasonores qu'il génère
 selon une direction longitudinale, parallèle, ou sensiblement
 parallèle, à l'axe de coulée (A) dans la lingotière.



LINGOTIERE VIBRANTE DE COULEE CONTINUE DES METAUX

La présente invention a trait à la mise en vibration par ultrasons de l'élément tubulaire interne d'une lingotière de coulée continue.

On rappelle que l'élément tubulaire interne est une pièce en cuivre, ou alliage de cuivre, usinée d'un bloc ou constituée de quatre plaques assemblées définissant un passage pour le produit coulé et qui est énergiquement refroidie, généralement par circulation d'eau, afin de provoquer une solidification périphérique du métal coulé.

L'un des problèmes majeurs rencontrés dans la coulée continue des métaux, notamment de l'acier, que celle-ci soit du type vertical, courbe ou horizontal, est celui de l'accrochage, sur la surface interne de l'élément tubulaire, de la croûte solidifiée résultant du refroidissement périphérique de la barre coulée. Du fait de ces accrochages, il peut se produire, lors de la progression de la barre dans la lingotière, des déchirements de la croûte solidifiée qui sont à l'origine de percées et de défauts de surface sur les produits obtenus.

D'après la littérature (BE-A-886 924 de NSC, FR-A-2471 821 de NKK et JP-A-86432/79), il est connu de réduire les frottements, et donc de favoriser la lubrification entre le métal coulé et la paroi interne de la lingotière, en appliquant à celle-ci, au moyen de transducteurs fixés latéralement sur l'élément tubulaire interne, des vibrations ultrasonores selon une direction perpendiculaire à la surface de l'élément, i.e. perpendiculaire à l'axe de coulée. On parviendrait de cette façon à limiter les risques de percées et à améliorer la qualité de surface des produits coulés.

Cependant, on est en droit de penser que cette technique connue présente certains inconvénients majeurs : sous l'effet de telles vibrations, la paroi de l'élément tubulaire subit des déformations vers l'intérieur de la lingotière, déformations dont l'amplitude n'atteint un maximum qu'au voisinage de l'endroit où le transducteur ultrasonore est appliqué contre ladite paroi. Il n'en résulte qu'une réduction globale limitée des forces de frottement, généralement de l'ordre de 50 %, sauf à multiplier le nombre de transducteurs, comme le propose d'ailleurs le document FR-A-2471 821 précité.

Par ailleurs, la masse importante d'acier liquide présente dans la lingotière tend par son inertie à s'opposer aux vibrations transmises à la paroi. Il est nécessaire, pour pallier cet effet, de surépaissir cette dernière et, partant, de faire appel à des lingotières lourdes et onéreuses et au surplus complexes en raison du mode de refroidissement par canaux internes indispensables pour ce type de lingotières.

On connaît également, par le document GB-A-2108 873 (BSC) une technique de mise en oscillation longitudinale d'une lingotière de coulée continue venant reposer à cet effet sur des oscillateurs fixés au bâti de la machine de coulée. Dans cette technique, c'est donc l'ensemble de la lingotière qui est mis en oscillation et non pas uniquement l'élément tubulaire interne, de sorte qu'on ne peut raisonnablement envisager de mettre en oscillation à fréquence ultrasonore une telle masse de plusieurs tonnes, voire de plus de dix tonnes dans le cas de la coulée de produits à large section tels que les brames.

La présente invention a pour but de proposer une solution à une mise en vibration ultrasonore d'une lingotière de coulée continue qui pallie les inconvénients des solutions connues.

A cet effet, l'invention a pour objet une lingotière vibrante de coulée continue des métaux, du type comprenant au moins un transducteur ultrasonore appliqué contre l'élément tubulaire interne de la lingotière au contact du métal coulé, caractérisée en ce que ce transducteur est monté sur le bord d'une extrémité dudit élément tubulaire dans le prolongement de celui-ci, et orienté pour transmettre audit élément tubulaire les vibrations ultrasonores qu'il génère selon une direction longitudinale parallèle, ou sensiblement parallèle, à l'axe de coulée dans la lingotière.

On comprend que, conformément à l'invention, la direction de transmission des vibrations à la paroi de la lingotière est telle que la masse de produit liquide coulé présente dans la lingotière n'a pas d'effet d'amortissement sur les vibrations transmises. Il n'est donc nullement nécessaire, comme dans le procédé antérieurement connu rappelé ci-dessus, de surépaissir

la paroi pour conserver les conditions de résonance dans cette paroi. La lingotière peut donc sans inconvénient être réalisée de manière classique, c'est-à-dire présenter une paroi de faible épaisseur refroidie au moyen d'un fluide de refroidissement circulant dans un espace annulaire entourant la face externe de ladite paroi. En d'autres termes, le procédé selon l'invention peut être appliqué aux lingotières existantes sans que celles-ci ne nécessitent une adaptation particulière.

En outre, conformément à l'invention qui assure une vibration longitudinale de la paroi, le rendement vibratoire peut être optimal, ce qui constitue un autre avantage par rapport aux procédés connus dans lesquels les vibrations sont transmises perpendiculairement à l'axe de coulée.

Il est à noter par ailleurs que les vibrations ultrasonores mises en oeuvre selon l'invention seront avantageusement des ultrasons de puissance dont la fréquence est de préférence supérieure ou égale à 16 kHz et par exemple comprise entre 16 et 60 kHz, pour éviter une nuisance sonore trop importante.

Le générateur de vibrations ultrasonores peut être de différents types. Il peut par exemple être constitué par un transducteur magnétostrictif. On préfère néanmoins les transducteurs piézoélectriques dont les rendements de conversion électrique-mécanique peuvent atteindre 95 %.

Dans le cas de l'utilisation d'un transducteur piézoélectrique unique comprenant, de manière connue en soi, des plaquettes en matériau piézoélectrique (tel qu'une céramique piézoélectrique), maintenue entre une masse métallique émettrice et une masse métallique d'équilibre, l'une de ces masses est avantageusement formée par la lingotière elle-même, l'une des plaquettes venant en appui sur le bord d'une extrémité de la lingotière. Cette disposition particulière présente en effet l'avantage de supprimer les problèmes inhérents au couplage entre le transducteur et la pièce à laquelle on désire transmettre des vibrations, couplage qui doit nécessairement être très rigide quand ces vibrations sont de forte intensité, comme c'est le cas des ultrasons de puissance.

Suivant un mode de réalisation de la lingotière à transducteur unique selon l'invention, les plaquettes en matériau piézoélectrique présentent sensiblement la même forme que la section droite de la lingotière. Une lingotière particulièrement rigide et compacte peut ainsi être obtenue quand lesdites plaquettes présentent les mêmes dimensions que ladite _____ section et quand la masse métallique émettrice présente également une section transversale possédant la forme et les dimensions de la section de la lingotière.

Par ailleurs, pour réaliser les conditions optimales de résonance de la lingotière, dont la paroi constitue l'une des masses métalliques du transducteur piézoélectrique, on choisit les dimensions des masses métalliques de façon que la distance D , séparant l'extrémité libre de la masse émettrice de l'extrémité libre de la masse d'équilibre, soit telle que l'on ait $D = k \frac{\lambda}{2}$ où k est un nombre entier et λ la longueur d'onde des vibrations ultrasonores générées par le transducteur.

On notera enfin que pour atteindre une fiabilité optimale de la lingotière selon l'invention, comprenant un transducteur à deux plaquettes superposées en matériau piézoélectrique, on cherchera à faire coïncider le plan de joint des deux plaquettes avec un plan nodal des ondes ultrasonores générées. Ceci revient en pratique à choisir les dimensions de la masse métallique émettrice pour que la distance D' , séparant l'extrémité libre de cette masse du plan de joint des deux plaquettes, soit telle que l'on ait $D' = \frac{\lambda}{4} + \frac{n'\lambda}{2}$ où n' est égal à zéro ou à un nombre entier et λ représente la longueur d'onde des vibrations ultrasonores générées par le transducteur.

Un mode de réalisation de l'invention est décrit ci-après à titre d'exemple non limitatif en référence au dessin annexé dans lequel :

- la figure 1 est une représentation schématique en perspective, vu du dessus d'un élément tubulaire interne d'une lingotière de coulée continue d'acier de type vertical selon l'invention ;

- la figure 2 est une coupe médiane longitudinale simpli-

fiée à plus grande échelle de la lingotière selon la figure 1 en fonctionnement ;

- la figure 3 est une vue agrandie et plus détaillée de l'extrémité supérieure de la lingotière selon la figure 2.

La lingotière de coulée continue représentée sur les figures est classiquement constituée par un élément tubulaire 14 en cuivre ou alliage de cuivre définissant un passage pour le produit coulé 19 et entouré à distance par une chemise 5. La chemise 5 et l'élément 14 définissent entre eux un espace de circulation d'un fluide de refroidissement (généralement de l'eau), et relié à l'extérieur par deux conduites 6 et 7 respectivement d'arrivée et de sortie de l'eau. Le rôle de cette circulation d'eau est d'extraire, au travers de la paroi de l'élément 14, un flux de chaleur du métal coulé 19 suffisant pour provoquer la formation d'une croûte solidifiée périphérique 18 maintenant le coeur encore liquide à la sortie de la lingotière lorsqu'on extrait le produit dans le sens indiqué par la flèche portée par l'axe de coulée A. L'alimentation de la lingotière en métal liquide à son extrémité opposée à celle de l'extraction du produit n'a pas été représentée pour ne pas surcharger inutilement les figures.

Dans l'exemple considéré, l'élément tubulaire 14 est formé de quatre plaques assemblées 1 à 4 définissant les quatre parois latérales internes d'une lingotière pour la coulée de produits de section droite rectangulaire.

Un transducteur 8 de vibrations ultrasonores est monté sur le bord 20 de l'extrémité supérieure de l'élément tubulaire 14. Il s'agit ici d'un transducteur piézoélectrique de principe parfaitement connu en soi. Il comprend, dans le mode de réalisation représenté, une plaquette supérieure 9 et une plaquette inférieure 10, toutes deux en matériau piézoélectrique, par exemple en céramique piézoélectrique telle que du titanozirconate de plomb. Ces deux plaquettes sont serrées face contre face avec interposition d'une feuille conductrice 11, entre une première masse métallique supérieure 12, dite "masse émettrice", et une seconde masse métallique inférieure, constituée dans

le cas présent, par l'élément tubulaire interne 14 lui-même. Comme cela est clairement montré par les figures, les plaquettes 9, 10 et la masse métallique 12 s'étendent sur tout le pourtour du bord supérieur 20 de l'élément 14. Ces plaquettes 9, 10 présentent la forme et les dimensions de ce bord et la masse métallique 12 présente une section dont la forme et les dimensions correspondent à celles de l'élément 14, les faces latérales de cette masse 12 étant ainsi dans le prolongement des faces latérales de l'élément 14.

Par ailleurs, l'empilage formé par la masse métallique supérieure 12, la plaquette supérieure 9, la feuille conductrice 11, la plaquette inférieure 10 et l'élément tubulaire 14, est maintenu assemblé au moyen de tiges de serrage 13 traversant de part en part la masse métallique 12, les plaquettes 9, 10 et la feuille conductrice 11 et venant en prise par leur extrémité dans l'épaisseur de la paroi de l'élément 14.

L'ensemble ainsi décrit est complété par des bagues 15 isolant les tiges de serrage 13 des plaquettes 9, 10 et de la feuille conductrice 11 et par des contacts électriques 16, 17 solidarisés respectivement à la feuille conductrice 11 et à la masse métallique supérieure 12 et reliés à une source de courant alternatif (non représenté).

D'autre part, en vue de réaliser les conditions de résonance au sein de l'élément 14, les dimensions de la masse métallique supérieure 12 et de cet élément 14 sont choisies pour que la distance D séparant l'extrémité supérieure de la masse métallique 12 de l'extrémité inférieure de l'élément 14 soit égale à un nombre entier de fois la demi-longueur d'onde des vibrations émises par le transducteur 8.

La hauteur de la masse métallique 12 est en outre choisie pour que la distance D' séparant l'extrémité supérieure de cette masse 12 du plan médian de la feuille 11 soit égale à $\frac{\lambda}{4}$ (modulo $\frac{\lambda}{2}$), λ étant la longueur d'onde des vibrations émises par le transducteur 8.

Compte tenu de la position relative de la masse métallique supérieure 12 et de l'élément tubulaire interne 14 de la

lingotière, les vibrations émises par le transducteur 8 sont transmises verticalement audit élément, c'est-à-dire dans la direction de l'axe de coulée symbolisé en A sur la figure 2, ces vibrations se propageant ensuite verticalement au sein de cette paroi qui vibre alors dans la direction longitudinale de la lingotière. Cette vibration produit une réduction des forces de frottement à l'interface de l'élément en cuivre 14 et de la croûte solidifiée 18 entourant le coeur encore liquide 19 du métal coulé, ce qui a pour effet de diminuer de manière très sensible les risques d'accrochage ou de collage de ladite croûte à la surface interne de l'élément 14.

On observera que l'invention peut avantageusement se combiner avec la pratique habituelle de lubrification par huile ou par poudre de couverture, de même qu'avec la pratique habituelle de mise en oscillation mécanique longitudinale de l'ensemble de la lingotière.

Il est à noter que l'invention s'applique, non seulement aux lingotières à plaques assemblées, telles que considérées dans l'exemple précédent, et généralement utilisées pour la coulée de brames ou de gros blooms, mais également aux lingotières pourvues d'un élément tubulaire interne monolithique usiné, généralement retenu pour la coulée des billettes ou des blooms, ronds, carrés, rectangulaires ou autres.

En outre, on prendra soin, pour des raisons évidentes de tenue en fatigue, d'assembler l'élément tubulaire interne au reste du corps de la lingotière en des points de fixation qui se situent dans des plans nodaux de l'onde ultrasonore.

Dans l'exemple décrit ci-dessus, le transducteur comporte deux plaquettes céramique, mais la présente invention peut également être mise en oeuvre avec un empilage de plus de deux plaquettes céramique superposées, par exemple 4, 6, 8... (toujours en nombre pair) ; ceci permet, si on le souhaite, d'augmenter la puissance de l'onde ultrasonore.

La céramique constituant les plaquettes du transducteur n'est pas limitée au titanozirconate de plomb, mais d'autres matériaux peuvent convenir à l'usage recherché, dans la mesure

où ils présentent une bonne résistance mécanique leur assurant une tenue satisfaisante aux champs électriques élevés. A toutes fins utiles, on précisera encore que les céramiques du type titanozirconate de plomb sont disponibles dans le commerce, en France, auprès de l'Importateur "Quartz et Silice S.A.", sous la référence P 762.

Par ailleurs, l'invention s'accommode parfaitement avec un brassage du métal liquide en lingotière, par exemple à l'aide d'un champ magnétique tournant autour de l'axe de coulée, ou glissant parallèlement ou perpendiculairement à cet axe.

Il est clair enfin que l'application de l'invention ne se limite pas aux lingotières verticales de coulée continue, mais s'étend également aux lingotières inclinées, courbes et même horizontales.

Dans le cas de la coulée continue horizontale, qui semble à présent en cours de développement industriel, la lingotière étant solidaire du récipient qui l'alimente en métal liquide, sa mise en oscillation mécanique, avec ou indépendamment du récipient, pose d'importantes difficultés non encore résolues à l'heure actuelle à la connaissance des inventeurs. On comprendra que l'invention peut apporter une solution particulièrement satisfaisante et qu'une façon de mise en oeuvre dans ce cas peut consister simplement à monter le transducteur à l'extrémité libre opposée à celle connectée à l'orifice de sortie du récipient.

REVENDEICATIONS
LINGOTIERE VIBRANTE DE COULEE CONTINUE DES METAUX

1) Lingotière vibrante de coulée continue des métaux, du type comprenant au moins un transducteur ultrasonore appliqué contre l'élément tubulaire interne de la lingotière au contact du métal coulé, caractérisée en ce que ce transducteur (8) est monté sur le bord (20) d'une extrémité dudit élément tubulaire interne (14) dans le prolongement de celui-ci, et orienté pour transmettre audit élément tubulaire les vibrations ultrasonores qu'il génère selon une direction longitudinale parallèle, ou sensiblement parallèle, à l'axe de coulée (A) dans la lingotière.

2) Lingotière selon la revendication 1, caractérisée en ce que le transducteur (8) est un transducteur piézoélectrique.

3) Lingotière selon la revendication 2, comprenant un transducteur piézoélectrique unique (8) comportant des plaquettes (9, 10) en matériau piézoélectrique maintenues entre une masse métallique émettrice (12) et une masse métallique d'équilibre, caractérisée en ce que l'une de ces masses est formée par l'élément tubulaire interne (14) lui-même, l'une des plaquettes (10) venant en appui par l'une de ses faces sur le bord (20) dudit élément.

4) Lingotière selon la revendication 3, caractérisée en ce que les plaquettes (9, 10) en matériau piézoélectrique présentent sensiblement la même forme que celle du bord (20) de l'élément tubulaire interne (14).

5) Lingotière selon la revendication 4, caractérisée en ce que les plaquettes présentent sensiblement les mêmes dimensions que celles dudit bord (20) et en ce que la masse métallique émettrice (12) présente une section transversale possédant la forme et les dimensions dudit bord (20).

6) Lingotière selon la revendication 3, 4 ou 5, caractérisée en ce que la distance D, séparant l'extrémité libre de la masse émettrice (12) de l'extrémité libre de la masse d'équilibre (14), est telle que $D = k \frac{\lambda}{2}$ où k est un nombre entier et λ la longueur d'onde des vibrations ultrasonores générées par le transducteur (8).

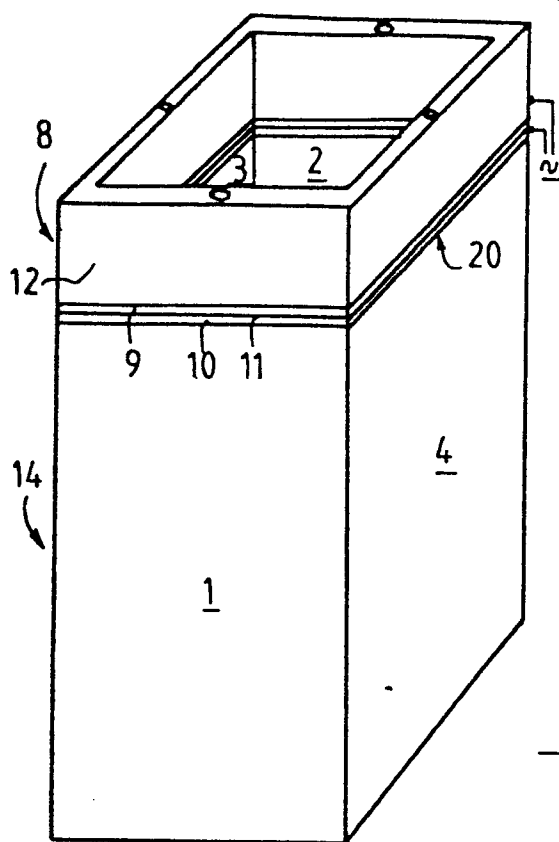
7) Lingotière selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, dont le transducteur comprend deux plaquettes (9, 10) en

matériau piézoélectrique, caractérisée en ce que les dimensions de la masse métallique émettrice (12) sont choisies pour que la distance D' séparant l'extrémité libre de cette masse du plan de joint des deux plaquettes (9, 10) soit telle que $D' = \frac{\lambda}{4} + \frac{n' \lambda}{2}$ où n' est égal à zéro ou un nombre entier et λ représente la longueur d'onde des vibrations ultrasonores générées par le transducteur (8).

8) Application de la lingotière selon la revendication 1 ou 5 à la coulée continue horizontale de l'acier.

9) Application selon la revendication 8, caractérisée en ce que le transducteur (8) est monté à l'extrémité de sortie de la lingotière.

FIG. 1



1/1

FIG. 2

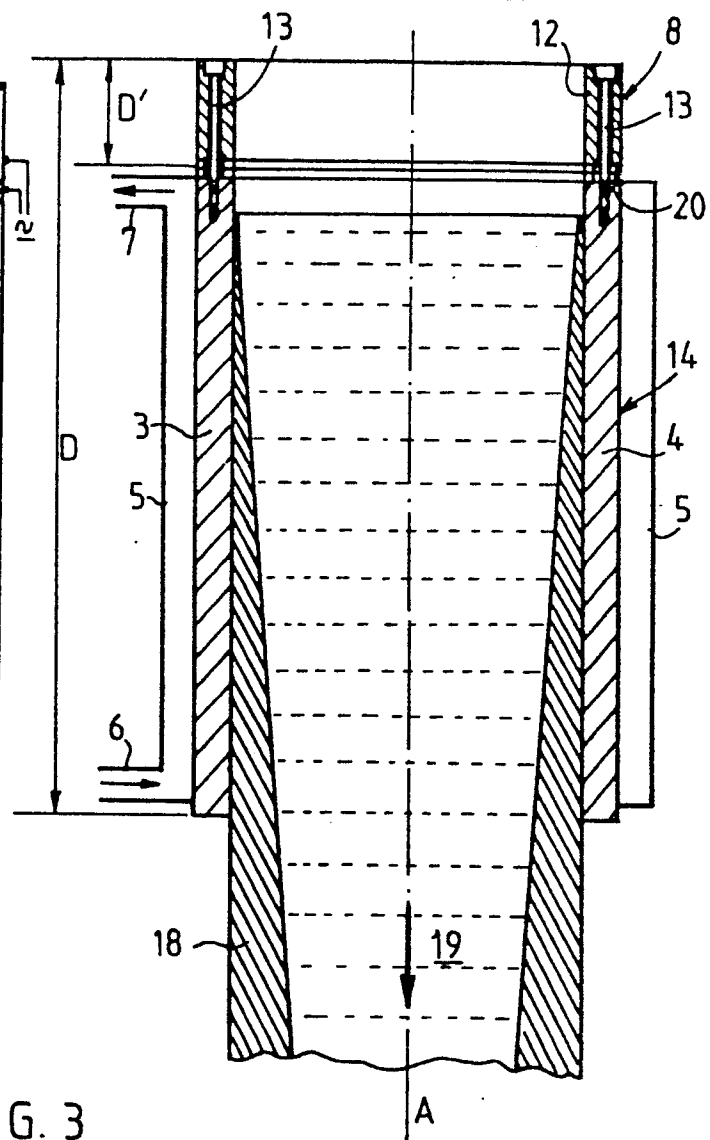
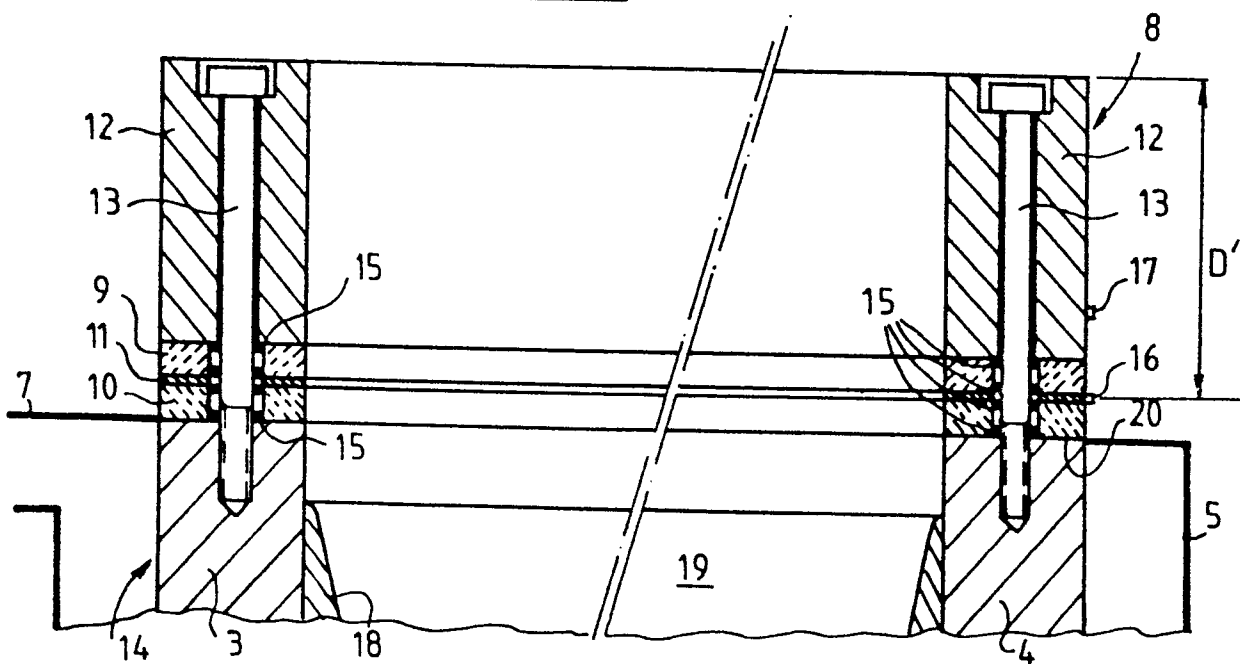


FIG. 3





Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

0178967

Numero de la demande

EP 85 40 1769

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	GB-A-2 108 878 (BRITISH STEEL CORP.) * Revendications 1,2,4 *	1,2	B 22 D 11/04
A,D	--- BE-A- 886 924 (NIPPON STEEL CORP.) * Page 12, alinéa 8; page 14, lignes 1-14; page 16, alinéa 1 *	1	
A	--- EP-A-0 042 007 (NIPPON KOKAN K.K.) * Abstract; page 13, lignes 11-19 *	1,8	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl. 4)
			B 22 D
Le présent rapport de recherche a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 09-01-1986	Examineur MAILLIARD A.M.
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	