



(11) Numéro de publication : **0 625 688 A1**

(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(21) Numéro de dépôt : **94420143.3**

(51) Int. Cl.⁵ : **F28F 21/02, F28F 3/08**

(22) Date de dépôt : **17.05.94**

(30) Priorité : **18.05.93 FR 9306257**

(43) Date de publication de la demande :
23.11.94 Bulletin 94/47

(84) Etats contractants désignés :
DE FR GB SE

(71) Demandeur : **VICARB**
18 avenue Marcel Cachin
F-38400 Saint Martin d'Heres (FR)

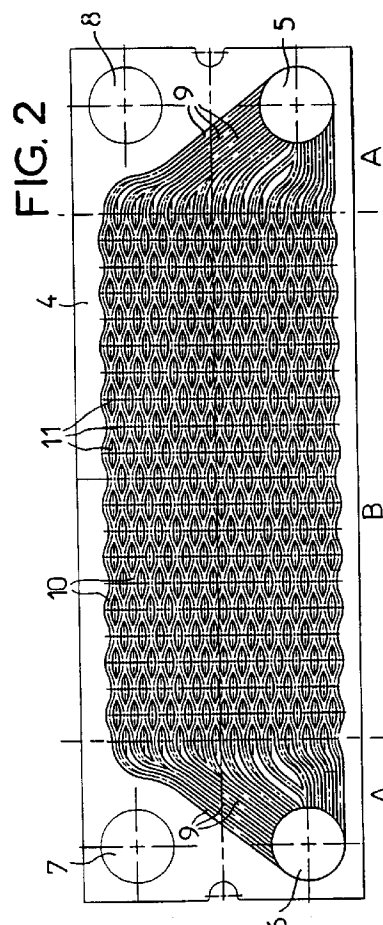
(72) Inventeur : **Ricard, Joel**
8, allée du Rachais
F-38320 Eybens (FR)
Inventeur : **Nicolas, Robert**
6 allée des Vosges
F-38130 Echirolles (FR)
Inventeur : **Roussel, Claude**
9 rue de la Liberté
F-38130 Echirolles (FR)
Inventeur : **Chopard, Fabrice**
10 allée du Doulan
F-38400 Saint Martin d'Heres (FR)

(74) Mandataire : **Laurent, Michel et al**
Cabinet LAURENT et CHARRAS,
20, rue Louis Chirpaz
B.P. 32
F-69131 Ecully Cédex (FR)

(54) **Echangeur de chaleur à plaques.**

(57) Cet échangeur de chaleur à plaques à circulation parallèle et à contre courant des fluides caloporteurs, est constitué par l'empilement d'un nombre déterminé de plaques nervurées (4) de même dimension, serrées les unes contre les autres entre deux flasques (1,2), lesdites plaques présentant dans leurs angles des ouvertures (5,6,7,8) définissant au sein de l'empilement des canalisations respectivement d'amenée et de sortie pour les fluides caloporteurs.

Les plaques sont réalisées en graphite massif usiné, préalablement imprégné d'un matériau imperméabilisant, et notamment d'une résine.



L'invention concerne un nouveau type d'échangeur à plaques. Elle concerne également les plaques d'échange thermique permettant la réalisation d'un tel échangeur.

Les échangeurs de chaleur actuels se répartissent en deux catégories principales, à savoir les échangeurs tubulaires, de conception déjà ancienne, et les échangeurs à plaques, plus récents, qui présentent la caractéristique d'être démontables et modulables facilement.

De manière générale, les échangeurs à plaques et joints sont constitués par un empilement d'un nombre déterminé de plaques nervurées, de même type, qui sont serrées entre deux flasques notamment au moyen de tirants. Ces plaques possèdent en leurs angles des ouvertures, qui, au sein de l'empilement ainsi constitué, définissent des canalisations, respectivement d'amenée et de sortie pour les fluides caloporteurs. Entre deux plaques consécutives est défini de par les nervures un réseau de circulation de l'un des fluides, par exemple le fluide chaud, qui transmet à travers les deux plaques la chaleur à l'autre fluide caloporteur froid, qui circule en sens inverse dans les deux plaques immédiatement consécutives.

A ce jour, ces plaques d'échange thermique sont réalisées en tout matériau métallique emboutissable, notamment en acier inoxydable, en titane, etc., susceptibles de présenter des performances d'échange thermique relativement bonnes pour un encombrement réduit. Néanmoins, on a souhaité améliorer l'échange thermique entre deux plaques successives et donc faire appel à un matériau présentant une plus grande capacité pour assurer l'échange thermique.

Parmi ces différents matériaux, il en existe un tout particulièrement bon conducteur de la chaleur, à savoir le graphite. Néanmoins, il présente l'inconvénient rédhibitoire d'être relativement peu résistant mécaniquement, de sorte qu'à ce jour, il n'est pas utilisé pour la réalisation de telles plaques.

On a alors proposé, afin de palier cette insuffisance de propriétés mécaniques, de mouler des plaques nervurées en une résine type PVDF (polysulfure de vinylidène), ou en un polymère fluoré intégrant des particules de graphite (voir par exemple EP-A-0 203 213). Outre la nécessité d'une presse spécifique pour obtenir ce moulage, obtenu dans le cas d'espèce par pressage, les plaques obtenues ne présentent pas une amélioration très significatives des performances d'échange thermique, compte tenu de l'insuffisance de la concentration des particules de graphite dans le matériau composite obtenu.

On a également proposé pour la réalisation de telles plaques d'intégrer au sein d'une structure carbone-carbone du graphite expansé, l'ensemble ainsi réalisé subissant alors un pressage à chaud, de telle sorte à obtenir le profil souhaité desdites plaques. Cependant, outre la difficulté relative à l'opération de pressage, on observe que nonobstant l'utilisation de

graphite, les performances d'échanges thermiques demeurent insuffisantes.

L'objet de l'invention est de proposer un échangeur de chaleur à plaques, réalisé en graphite massif, afin d'augmenter très significativement ses performances d'échange thermique, et susceptible de fonctionner tant en position horizontale que verticale.

Cet échangeur de chaleur à plaques à circulation parallèle et à contre courant des fluides caloporteurs, est constitué par l'empilement d'un nombre déterminé de plaques nervurées de même dimension, serrées les unes contre les autres entre deux flasques, lesdites plaques dites d'échange thermique présentant dans leurs angles des ouvertures définissant au sein de l'empilement des canalisations respectivement d'amenée et de sortie pour les fluides caloporteurs.

Il se caractérise en ce que les plaques sont réalisées en graphite massif usiné, préalablement imprégné d'un matériau imperméabilisant, et notamment d'une résine.

En d'autres termes, l'invention consiste à utiliser comme matériau de réalisation, des plaques de graphite massif, usiné dans la masse et ce, à l'encontre de tous les enseignements éloignant le recours à un tel matériau, compte-tenu de sa très faible résistance mécanique, notamment aux pressions engendrées au sein de l'échangeur, pressions qui peuvent facilement atteindre des valeurs voisines de $10 \cdot 10^5$ à $15 \cdot 10^5$ Pascals. De fait, les plaques en graphite massif utilisées dans le cadre de l'invention résistent à de telles pressions, compte-tenu de leur profil particulier décrit ci-après.

Selon l'invention, l'une au moins des deux faces de chacune des plaques présente un profil comportant deux zones de distribution constituées d'une pluralité de canaux s'étendant sensiblement radialement sur un secteur à partir de deux des ouvertures de la plaque, et une zone d'échange thermique, mettant en communication les deux zones de distribution, et comportant une pluralité d'obstacles à la progression du fluide circulant entre deux plaques adjacentes, définissant d'une part une multitude de canaux en communication avec les canaux des zones de distribution, et d'autre part des points d'appui de ladite plaque sur la plaque immédiatement adjacente.

Selon une caractéristique tout à fait avantageuse de l'invention, la surface supérieure de chacun des obstacles des zones d'échange thermique est plane, et la surface supérieure de chacun desdits obstacles est compris dans le même plan, plan en outre intégrant la surface supérieure du bord latéral de la plaque. De la sorte, il se crée une multitude de points d'appui, propres à conférer aux plaques empilées la résistance mécanique nécessaire pour supporter les pressions des fluides caloporteurs qui traversent l'échangeur.

Selon une autre caractéristique de l'invention, les

deux faces d'une même plaque peuvent présenter des profils différents, afin d'obtenir de meilleures performances thermodynamiques pour chacun des fluides caloporteurs.

Ainsi, en choisissant un profil judicieux au niveau de chacune des plaques et avantageusement au niveau de chacune des faces de chacune des plaques, les plaques reposent les unes sur les autres lorsqu'elles sont en place au niveau de l'échangeur, d'une part, au niveau du bord latéral mais également au niveau de chacun des obstacles de la zone d'échange thermique.

Avantageusement, les obstacles des zones d'échange thermique ont une forme d'ellipse, de flamme, de "S", de croissant ou de goutte d'eau, et ce, dans le but d'optimiser l'échange thermique en créant au niveau de ces obstacles des turbulences, et en augmentant en outre la surface d'échange thermique. En outre, dans une variante avantageuse, la face latérale de chacun des obstacles présente elle-même des nervures afin d'augmenter encore davantage la surface d'échange thermique et partant, l'efficacité même de cet échange thermique.

Selon une autre caractéristique de l'invention, les différents obstacles se répartissent selon une maille triangulaire ou carrée.

De fait, les canaux définis par les différents obstacles au niveau de cette zone d'échange thermique comporte des variations de section afin de créer des zones d'accélération de fluide, propres également à optimiser l'efficacité de l'échange thermique. Ces zones d'accélération de fluide sont également générées en modifiant la profondeur du profil de ces différents canaux.

La manière dont l'invention peut être réalisée et les avantages qui en découlent ressortiront mieux de l'exemple de réalisation qui suit donné à titre indicatif et non limitatif à l'appui des figures annexées.

La figure 1 est une représentation schématique partiellement en coupe transversale d'un échangeur thermique conforme à l'invention.

La figure 2 est une vue du dessus d'une plaque d'échange thermique conforme à l'invention.

La figure 3 est une vue en coupe transversale de la plaque de la figure 2.

La figure 4 est une vue plus détaillée d'une partie de la figure 2.

La figure 5 est une représentation plus détaillée d'une coupe transversale de la plaque conforme à l'invention.

La figure 6 est une autre vue en coupe de même nature, réalisée en un lieu différent de celle de la figure 5.

Selon l'invention, l'échangeur représenté sur la figure 1 est constitué par l'empilement d'un certain nombre de plaques d'échange thermique (4), réalisées par usinage de plaques de graphite massif préalablement imprégné de résine. De manière connue,

cette résine est destinée à obturer les pores que comporte le graphite. Ces différentes plaques (4), taillées selon des dimensions identiques, sont agencées et serrées les unes contre les autres entre deux flasques (1) et (2) et maintenues en l'état au moyen notamment de tirants (3). Entre chaque plaque est en outre positionné un joint (13), avantageusement réalisé en feuilles souples de graphite ou de polymères fluorés tel que le PTFE (polytétrafluoroéthylène), de telle sorte à conserver l'homogénéité chimique de l'ensemble. On génère de la sorte une alternance de deux circuits indépendants de circulation des fluides, respectivement chaud et froid.

Chacune des plaques comporte au niveau de ses quatre angles des ouvertures (5, 6, 7 et 8), qui lors de la superposition desdites plaques définissent des canalisations d'amenée et de sortie des deux fluides caloporteurs.

A titre illustratif, les deux ouvertures (5) et (6) de la plaque représentée sur la figure 2 correspondent respectivement à l'amenée et à la sortie de l'un des fluides caloporteurs, alors que les ouvertures (7) et (8) sont destinées à l'amenée et à la sortie du second fluide caloporteur au niveau de l'autre face de la plaque représentée sur la figure 2.

De fait et de manière connue, les deux fluides caloporteurs respectivement le fluide chaud et le fluide froid n'entrent jamais en contact. Ainsi que cela a déjà été décrit, deux plaques consécutives sont jointées entre elles, au moyen d'un joint (13), s'étendant dans une gorge (12) ménagée au niveau de la périphérie de chacune des plaques. En outre, au niveau de chacune des faces d'une plaque, les deux ouvertures correspondant au circuit de l'autre face sont également jointées au moyen d'un joint (15), reçu dans une gorge (14), située sur la périphérie des dites ouvertures. Comme pour le joint (13), ce joint (15) est avantageusement réalisé en feuilles souples de graphite ou de polymères fluorés (tel que par exemple en PTFE).

Selon une caractéristique essentielle de l'invention, au moins l'une des deux faces desdites plaques est usinée dans la masse, et ce par tout moyen connu et notamment, au moyen de machines à commande numérique gérant l'action de fraises de forme, afin de définir des canaux et des obstacles au sein de cette plaque, destinés respectivement à guider et à induire l'échange thermique entre le fluide chaud et la plaque d'une part, et entre la plaque ainsi réchauffée et le fluide froid d'autre part.

De fait et ainsi que l'on peut l'observer sur la figure 2, chacune des faces est divisée en trois zones, respectivement deux zones de distribution portant la référence générale A et une zone d'échange thermique portant la référence générale B.

Les zones de distribution A sont constituées par une pluralité de canaux (9) s'étendant sensiblement radialement à partir de l'ouverture respectivement (5)

et (6) et ce sur un secteur seulement de disque. Plus spécifiquement, ces canaux ont pour but d'assurer le transfert du fluide depuis l'ouverture d'amenée (5) sur toute la largeur de la plaque, puis de la largeur de la plaque à l'ouverture de sortie (6).

En outre, afin d'aboutir à une isorépartition du fluide au niveau de la zone d'échange thermique **B**, les canaux (9) présentent des profils différents selon leur longueur et donc selon leur orientation par rapport aux ouvertures respectives (5,6). Ainsi, la section des canaux les plus courts est inférieure à celle des canaux de longueur plus importante, afin justement d'équilibrer la répartition du fluide au niveau de la totalité de la largeur de la plaque. De plus, afin de réduire la perte de charge, et partant d'améliorer la distribution, le profil de chacun des canaux (9) varie progressivement des ouvertures (5,6) vers la zone d'échange thermique **B**.

La zone d'échange thermique **B** de chacune des plaques est constituée d'une pluralité de canaux (10), également usinés dans la masse, et comporte une pluralité d'obstacles (11), avantageusement de forme allongée et répartis selon une maille carrée ou triangulaire.

Ces obstacles (11) présentent une forme d'ellipse, de flamme, de "S", de croissant voire de goutte d'eau, et sont destinés d'une part, à augmenter la surface d'échange thermique, mais également à créer des zones de turbulence pour favoriser l'échange thermique entre le fluide et la plaque. De plus, de par la présence des obstacles (11), il se crée des zones de section plus réduite, afin de générer des accélérations locales du fluide qui permettent d'intensifier l'échange thermique, mais également d'augmenter la surface d'échange et en outre, de renforcer la résistance mécanique de la plaque.

Selon une caractéristique de l'invention, les obstacles (11) présentent une surface supérieure plane, susceptible ainsi de créer des points d'appui avec les obstacles matérialisés sur la plaque positionnée en vis à vis, en complémentarité avec la surface d'appui constituée par les bords des plaques. On peut observer sur les figures 5 et 6 cette coopération des plaques entre elles, créant deux réseaux indépendants de circulation des deux fluides, et s'appuyant l'une sur l'autre par le biais desdits obstacles et de leur bord extérieur.

De fait et comme déjà dit, la résistance mécanique de l'ensemble est accrue, permettant ainsi à l'échangeur de supporter des pressions de travail élevées.

Selon une autre caractéristique de l'invention, les zones d'accélération du liquide sont également constituées par des variations locales de la profondeur d'usinage des canaux (10).

Les obstacles (11) présentent une surface latérale uniforme ou au contraire, usinés de telle sorte à présenter des micro-canaux, destinés une nouvelle

fois à augmenter la surface d'échange thermique, et partant l'efficacité de l'échange thermique.

On a représenté sur la figure 3 une coupe transversale de la plaque sur laquelle on observe les plateaux créés par les obstacles (11) ainsi que les canaux (10). On observe ainsi que les plateaux desdits obstacles sont situés dans le même plan que la face supérieure du bord latéral de la plaque.

Compte-tenu de la variation possible de l'épaisseur de la plaque, de la profondeur et de la largeur du profil d'usinage, et de la forme et de la disposition des obstacles, il est ainsi possible de créer des plaques adaptées aux différents types de transfert thermique, et notamment au transfert monophasique ou diphasique.

En outre, on peut faire varier le profil au sein d'une même face d'une plaque en fonction de la modification ou au contraire de la conservation de la phase souhaitée. Ce profil évolutif permet donc d'adapter dans un souci d'efficacité optimum chaque échangeur au type de transfert thermique qu'il est supposé assurer.

Selon une caractéristique avantageuse de l'invention, par ailleurs matérialisée au sein de la figure 5, les points d'appui constitués par les obstacles de deux plaques adjacentes sont décalées selon une structure en nid d'abeilles, de façon à opposer une épaisseur moyenne régulière plus importante entre deux canaux adjacents recevant le même type de fluide, c'est à dire fluide froid ou fluide chaud. On renforce de la sorte la résistance mécanique des plaques. En revanche, dans cette forme de réalisation, deux canaux adjacents dans lesquels circulent deux fluides différents présentent une structure décalée.

En revanche, dans la figure 6, on a représenté une zone à section de passage minimum c'est à dire une zone d'accélération du fluide, destinée, comme déjà précisé, à intensifier l'échange thermique.

Les plaques ainsi réalisées confèrent à l'échangeur en résultant des performances thermodynamiques très nettement accrues par rapport aux échangeurs à plaques connus à ce jour.

L'utilisation de graphite intervient pour une grande partie dans cette augmentation de rendement, mais également l'adoption d'un profil particulier, permettant de par la création de turbulences, de par l'augmentation de certains échanges thermiques et de par la création de zones d'accélération du fluide, et enfin de par le choix judicieux du profil des obstacles, d'optimiser les échanges thermiques, sans pour autant pénaliser la circulation du fluide dans les canaux.

Revendications

1/Echangeur de chaleur à plaques à circulation parallèle et à contre courant des fluides caloporteurs,

constitué par l'empilement d'un nombre déterminé de plaques nervurées (4) de même dimension, serrées les unes contre les autres entre deux flasques (1,2), lesdites plaques présentant dans leurs angles des ouvertures (5,6,7,8) définissant au sein de l'empilement des canalisations respectivement d'amenée et de sortie pour les fluides caloporteurs, **caractérisé** en ce que les plaques sont réalisées en graphite massif usiné, préalablement imprégné d'un matériau imperméabilisant, et notamment d'une résine.

2/ Echangeur à plaques selon la revendication 1, **caractérisé** en ce que l'une au moins des deux faces de chacune des plaques (4) présente un profil comportant deux zones de distribution **A**, constituées d'une pluralité de canaux (9) s'étendant sensiblement radialement sur un secteur à partir de deux (5,6) des ouvertures de la plaque, et une zone d'échange thermique **B**, mettant en communication les deux zones de distribution **A**, et comportant une pluralité d'obstacles (11) à la progression du fluide circulant entre deux plaques adjacentes, définissant d'une part une multitude de canaux (10) en communication avec les canaux (9) des zones de distribution **A**, et d'autre part des points d'appui de la plaque sur la plaque immédiatement adjacente.

3/ Echangeur à plaques selon la revendication 2, **caractérisé** en ce que la surface supérieure de chacun des obstacles (11) des zones d'échange thermique **B** est plane, et la surface supérieure de chacun desdits obstacles est compris dans le même plan, plan en outre intégrant la surface supérieure du bord latéral de la plaque.

4/ Echangeur à plaques selon l'une des revendications 2 et 3, **caractérisé** en ce que les obstacles (11) de la zone d'échange thermique **B** ont une forme d'ellipse, de flammes, de "S", de croissant ou de goutte d'eau.

5/ Echangeur à plaques selon l'une des revendications 2 à 4, **caractérisé** en ce que les obstacles (11) se répartissent selon une maille triangulaire ou carrée.

6/ Echangeur à plaques selon l'une des revendications 2 à 5, **caractérisé** en ce que les canaux (10) de la zone d'échange thermique **B** des plaques présentent des variations locales de section, de telle sorte à générer des zones d'accélération de fluide, propres à optimiser l'efficacité de l'échange thermique.

7/ Echangeur à plaques selon la revendication 6, **caractérisé** en ce que les variations locales de la section des canaux (10) sont obtenues par la disposition des obstacles (11), et/ou par la variation de leur profondeur.

8/ Echangeur à plaques selon l'une des revendications 2 à 7, **caractérisé** en ce que les canaux de circulation d'un type de fluide caloporteur, générés par l'empilement des plaques se superposent exactement sur toute la hauteur de l'empilement, de telle sorte que les obstacles (11) qui les délimitent se

superposent également, les canaux de circulation d'un fluide donné étant décalés en hauteur par rapport aux canaux de circulation de l'autre fluide.

5

10

15

20

25

30

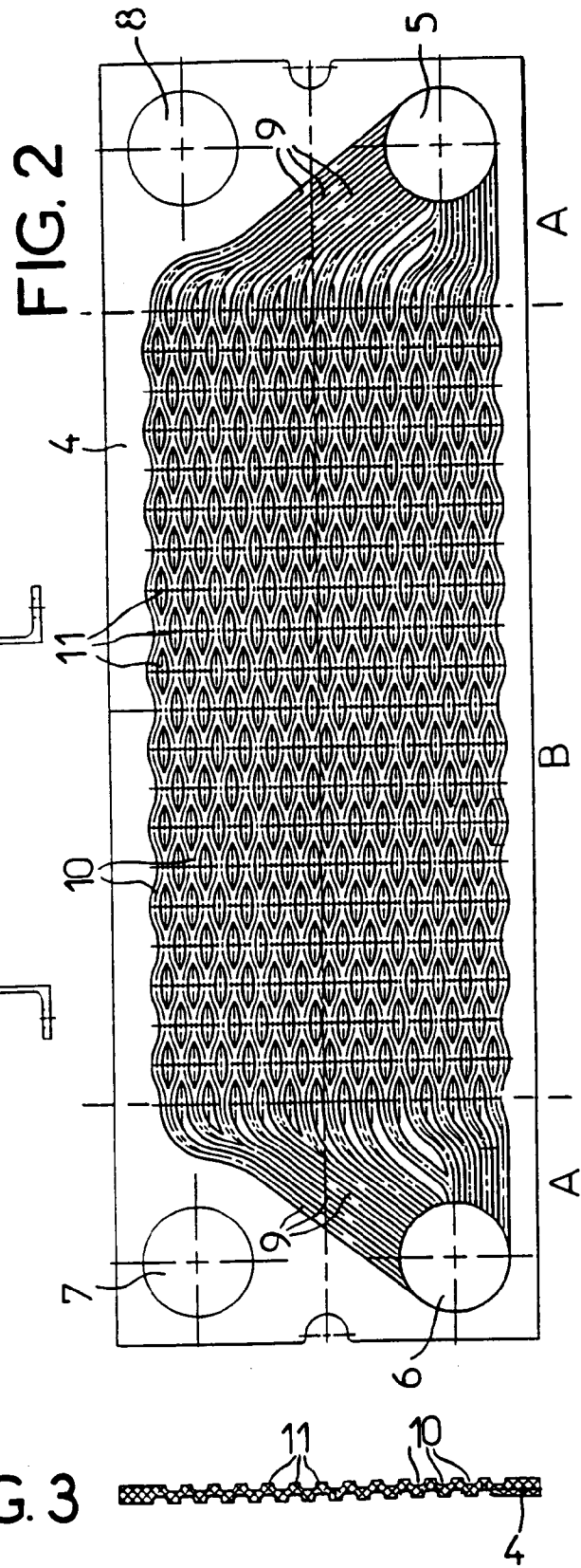
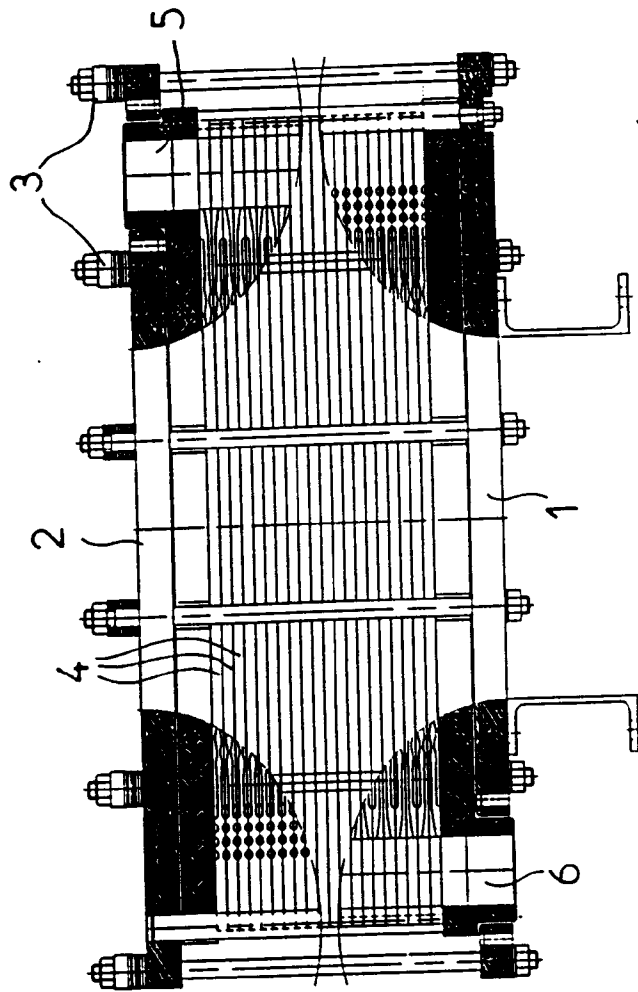
35

40

45

50

55



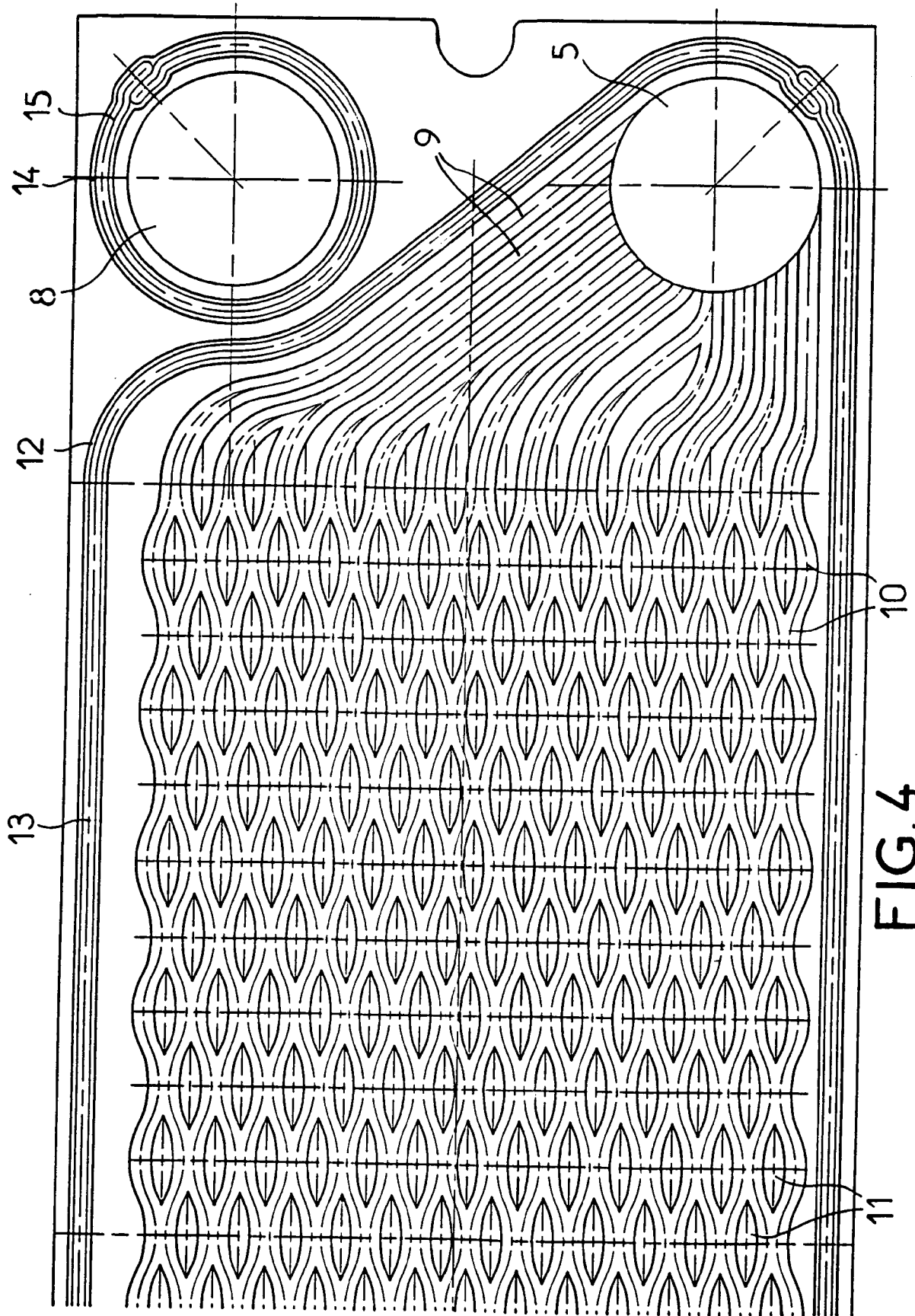


FIG. 4

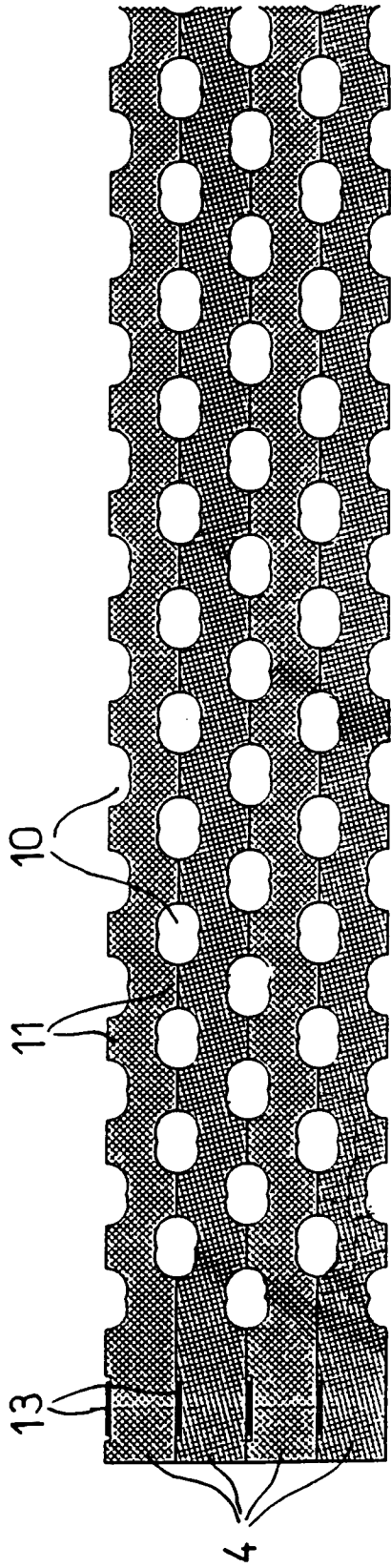


FIG. 5

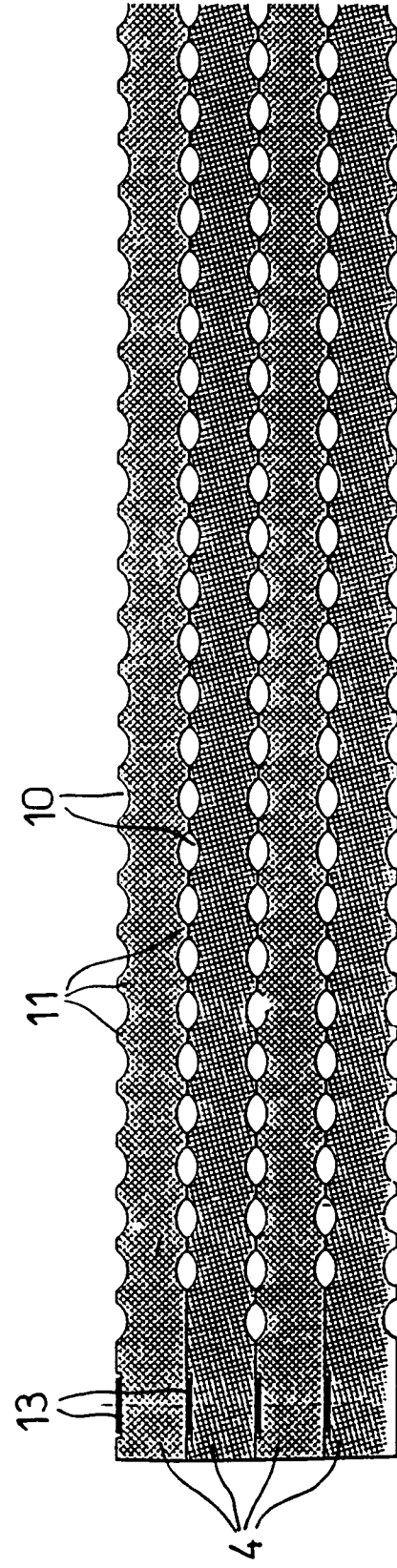


FIG. 6



Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numero de la demande
EP 94 42 0143

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.5)
X	EP-A-0 468 904 (LE CARBONE LORRAINE) * le document en entier *	1-3	F28F21/02 F28F3/08
X	EP-A-0 203 213 (SIGRI GMBH) * le document en entier *	1	
A	EP-A-0 206 935 (INSTITUT FRANÇAIS DU PÉTROLE) * le document en entier *	1	
A	DE-A-15 01 653 (STEINMÜLLER GMBH) * le document en entier *	4,5	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.Cl.5)
			F28F
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 29 Juin 1994	Examineur Smets, E
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES		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	
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			

EPO FORM 1503 03.82 (P04 C02)