



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11)

EP 1 061 318 A1

(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:
20.12.2000 Bulletin 2000/51

(51) Int Cl.7: **F28F 1/40**

(21) Numéro de dépôt: **00420129.9**

(22) Date de dépôt: **15.06.2000**

(84) Etats contractants désignés:
**AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE**
Etats d'extension désignés:
AL LT LV MK RO SI

(30) Priorité: **16.06.1999 FR 9907865**

(71) Demandeur: **COMPAGNIE INDUSTRIELLE
D'APPLICATIONS THERMIQUES C.I.A.T.
01350 Culoz (FR)**

(72) Inventeurs:
• **Bailly, André**
01260 Vieu en Valromey (FR)

- **Jurkowski, Romuald**
01350 Culoz (FR)
- **Altazin, Marc**
73100 Brison Saint-Innocent (FR)
- **Meziani, Slimane**
01300 Belley (FR)
- **Michaud, Jean-Marie**
01350 Culoz (FR)
- **Navarro, Jean-Michel**
73310 Ruffieux (FR)

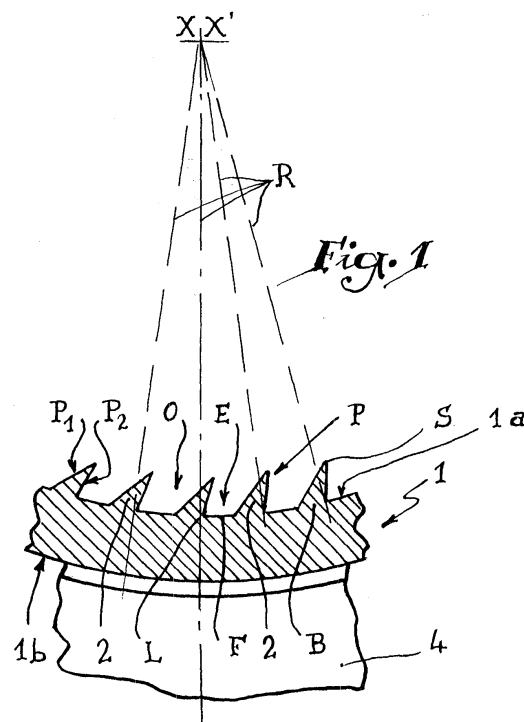
(74) Mandataire: **Myon, Gérard Jean-Pierre et al**
Cabinet Lavoix Lyon
62, rue de Bonnel
69448 Lyon Cedex 03 (FR)

(54) **Tube d'échange thermique pourvu de nervures et son procédé de fabrication, échangeur de chaleur pourvu d'un tel tube**

(57) Ce tube (1) est pourvu, sur sa surface interne (1a), de nervures (2) aptes à être mises en forme. Ces nervures (2) ont, avant leur mise en forme, un profil (P) asymétrique, le sommet (S) de ce profil étant en déport par rapport à sa base (B).

Le procédé consiste à mettre en forme les nervures (2) en rabattant le sommet (S) du profil (P) de chaque nervure (2), qui est en déport par rapport à sa base (B), en direction de la surface interne (1a) du tube (1).

L'invention permet d'augmenter le coefficient d'échange thermique d'un tube avec le fluide avec lequel il ou elle est en contact.



EP 1 061 318 A1

Description

[0001] L'invention a trait à un tube d'échange thermique, et à son procédé de fabrication, ainsi qu'à un échangeur de chaleur incorporant un tel tube.

[0002] Dans le domaine des échangeurs de chaleur, il est connu, notamment de FR-A-2 706 197, de réaliser un tube dont la surface interne est pourvue de nervures permettant d'augmenter la surface d'échange entre le tube et le fluide qu'il contient et d'améliorer ainsi le coefficient d'échange thermique avec le fluide, que celui-ci soit monophasique ou diphasique. En pratique, le coefficient d'échange thermique en phase diphasique entre un tube lisse en métal, tel qu'un tube en cuivre, et un fluide caloporteur, tel que du di-fluoro-chlorométhane, varie entre 1500 et 3000 W/m²/°C en fonction du flux thermique transféré, c'est-à-dire en fonction de la nature du fluide dans lequel baigne le tube qui peut être un liquide ou un gaz. En utilisant des nervures internes au tube, ce coefficient peut être porté jusqu'à des valeurs comprises entre environ 3 800 W/m²/°C et environ 6000 W/m²/°C selon les cas, ce qui constitue une augmentation sensible.

[0003] Cependant, pour certaines applications au moins, il conviendrait d'augmenter encore la valeur de ce coefficient afin d'améliorer le rendement d'un échangeur de chaleur incorporant de tels tubes. Or, le coefficient d'échange thermique en phase diphasique peut être décomposé sous la forme suivante

$$h = (h_{\text{conv}}^n + h_{\text{nb}}^n)^{1/n} \quad (1)$$

où

- h_{conv} est le coefficient d'échange thermique par convection ;
- h_{nb} est le coefficient d'échange thermique par ébullition et
- n est un nombre compris entre 1 et 3.

[0004] On a pu montrer expérimentalement que le coefficient d'échange thermique par ébullition est environ le double du coefficient d'échange thermique par convection dans les mêmes conditions. Ainsi, pour augmenter la valeur du coefficient d'échange thermique global d'un tube avec un fluide, il importe essentiellement d'augmenter la valeur du coefficient d'échange thermique par ébullition.

[0005] L'invention vise à augmenter la valeur du coefficient d'échange thermique d'un tube, pour sa partie interne sans pour autant augmenter de façon gênante le coefficient de frottement du fluide sur la surface interne du tube ou de la plaque, afin de limiter les pertes de charge induites.

[0006] Dans cet esprit, l'invention concerne un tube d'échange thermique pourvu, sur sa surface interne, de

nervures aptes à être mises en forme, caractérisé en ce que ces nervures ont, avant leur mise en forme, un profil asymétrique, le sommet du profil de ces nervures étant en déport par rapport à la base de ce profil.

[0007] Grâce à l'invention, les espaces définis entre deux nervures adjacentes du tube ou de la plaque apparaissent, sur un côté, comme une cavité rentrante, c'est-à-dire avec une cloison inclinée vers l'intérieur, ce qui permet d'augmenter sensiblement le coefficient d'échange thermique.

[0008] En effet, les valeurs numériques pour un tube en cuivre, baigné par de l'air et muni d'ailettes ou baigné par de l'eau et dépourvu d'ailettes, et un fluide caloporteur du type difluoro-chlorométhane sont les suivantes :

• Pour un flux faible, notamment inférieur à 10 kW/m²,

- $h_{\text{conv}} = \pm 2\,500 \text{ W/m}^2/\text{°C}$
- $h_{\text{nb}} = \pm 10\,000 \text{ W/m}^2/\text{°C}$.

[0009] En utilisant l'équation (1) précédente avec n égal à 2, on obtient :

$$h = \pm (2\,500^2 + 10\,000^2)^{1/2} = \pm 10\,300 \text{ W/m}^2/\text{°C}.$$

• Pour un flux important, notamment supérieur à 20 kW/m²,

- $h_{\text{conv}} = 6\,000 \text{ W/m}^2/\text{°C}$
- $h_{\text{nb}} : 14\,000 \text{ W/m}^2/\text{°C}$

[0010] En utilisant l'équation (1) précédente avec n égal à 2, on obtient :

$$h = \pm (6\,000^2 + 14\,000^2)^{1/2} = 15\,000 \text{ W/m}^2/\text{°C}$$

[0011] Ces valeurs sont près de deux fois supérieures aux valeurs mentionnées ci-dessus.

[0012] La mise en forme des nervures, qui peut être obtenue lors du sertissage d'ailettes externes du tube, est facilitée par le fait que le sommet de leur profil est, avant cette mise en forme, en déport par rapport à sa base car l'effort à exercer est un effort de pliage ou d'accentuation de leur inclinaison, cet effort étant sensiblement moindre qu'un effort d'écrasement pur qui devrait être exercé si le sommet était situé au niveau de la base du profil.

[0013] L'invention permet d'adapter, lors de la mise en forme des nervures, la géométrie de la surface interne du tube, donc son coefficient d'échange thermique, à la nature du ou des fluides avec lesquels il sera utilisé. Le fait que le sommet du profil est en déport par rapport à sa base avant cette mise en forme permet de contrôler efficacement la géométrie finale obtenue en modulant l'effort exercé, par exemple grâce à des olives de dimen-

sions présélectionnées, lors du sertissage d'ailettes externes au tube.

[0014] Par "cavité rentrante", on entend une cavité dont les bords sont refermés au niveau de leur ouverture par rapport à leur fond. Une telle cavité a tendance à "emprisonner" le fluide qu'elle contient, ce qui favorise la création de bulles de vapeur et l'augmentation des échanges thermiques.

[0015] Selon des variantes de réalisation avantageuses de l'invention, on peut prévoir que :

- les faces latérales du profil avant mise en forme sont sensiblement rectilignes ;
- les faces latérales du profil avant mise en forme sont globalement courbes, les rayons de courbure de deux faces d'une nervure étant différents ;
- les faces latérales du profil avant mise en forme sont globalement courbes, les centres de courbure de deux faces d'une nervure étant décalés.

[0016] Quel que soit le mode de réalisation considéré, on peut prévoir que le déport du sommet est modifiable par écrasement des nervures.

[0017] Selon une autre approche, l'invention peut être définie comme concernant un tube d'échange thermique pourvu de nervures internes aptes à être mises en forme, caractérisé en ce que ces nervures ont, avant mise en forme des nervures, un profil tel que tous les espaces définis entre les nervures ont une ouverture vers le centre du tube décalée angulairement par rapport au fond de ces espaces.

[0018] Grâce à l'invention, les espaces entre nervures sont autant de cavités rentrantes, sur un côté au moins, ce qui favorise d'autant les échanges thermiques et permet d'atteindre les valeurs de coefficient d'échange thermique précitées.

[0019] Selon un aspect avantageux de l'invention, la largeur de l'ouverture des espaces entre nervures est inférieure à celle de leur fond. Ceci augmente l'effet de "cavité rentrante" obtenu.

[0020] L'invention concerne également un échangeur de chaleur comprenant un tube tel que précédemment décrit dont le rendement thermique est sensiblement meilleur que celui de l'art antérieur.

[0021] L'invention concerne enfin un procédé de fabrication d'un tube du type précité et, plus spécifiquement, un procédé qui consiste à mettre en forme les nervures en déplaçant, par une pression radiale, le sommet du profil de chaque nervure, qui est en déport par rapport à sa base, en direction d'une surface interne du tube. Ce procédé permet de créer, entre les nervures, des espaces dont un côté se rapproche de la géométrie d'une cavité rentrante, alors que l'intensité de l'effort exercé peut être contrôlée avec précision.

[0022] Avantageusement cet écrasement est réalisé lors du sertissage d'ailettes sur la face externe du tube. La combinaison des deux opérations permet d'obtenir la fonction supplémentaire recherchée sans augmenta-

tion sensible du prix de revient du tube.

[0023] L'invention sera mieux comprise et d'autres avantages de celle-ci apparaîtront plus clairement à la lumière de la description qui va suivre de deux modes de réalisation d'un tube d'échange thermique conforme à son principe, donnée uniquement à titre d'exemple et faite en référence aux dessins annexés dans lesquels :

- la figure 1 est une coupe transversale partielle d'un tube d'échange thermique conforme à l'invention, lors d'un premier stade de fabrication avant mise en forme finale de ses nervures internes ;
- la figure 2 est une coupe analogue à la figure 1 lors d'un second stade de fabrication après mise en forme des nervures ;
- la figure 3 est une coupe longitudinale du tube des figures 1 et 2 lors de l'étape de fabrication de la figure 2, on y a indiqué en I-I et II-II respectivement les plans de coupe des figures 1 et 2 ;
- la figure 4 est une vue analogue à la figure 1, pour un tube conforme à un second mode de réalisation de l'invention ;
- la figure 5 est une vue à plus grande échelle d'un profil de nervure visible à la figure 4 et
- la figure 6 est une vue analogue à la figure 2 pour le tube du second mode de réalisation représenté à la figure 4.

[0024] Le tube 1 représenté à la figure 1 est à profil globalement cylindrique, centré sur un axe XX'. On note 1a la surface interne du tube et 1b sa surface externe. Sur sa surface interne 1a, le tube 1 est pourvu de nervures 2 dont le profil P, c'est-à-dire la section perpendiculaire à l'axe XX', est sensiblement triangulaire, ses faces latérales P₁ et P₂ étant rectilignes avant sertissage.

[0025] On note S le sommet du profil P, ce sommet étant la trace d'une arête interne des nervures 2 qui peut être rectiligne ou hélicoïdale en fonction de la géométrie choisie pour les nervures.

[0026] On note R le rayon reliant l'axe XX' au bord latéral L de la base B de chaque nervure 2 le plus proche du sommet S. Dans la configuration de la figure 1, c'est-à-dire avant mise en forme finale des nervures 2, le sommet S de chaque nervure est en déport par rapport à la base B du profil P, c'est-à-dire est situé à l'opposé de la base B de ce profil par rapport au rayon R correspondant.

[0027] Ainsi, lorsqu'une olive 3 est disposée à l'intérieur du tube pour expandre celui-ci de façon à sertir des ailettes 4, comme représenté aux figures 2 et 3, les nervures 2 sont déformées ou "écrasées" d'une manière telle que le sommet S de chaque nervure est rabattu vers la surface la du tube 1, du côté du bord L de chaque nervure, en débordement de la base B correspondante.

[0028] On note E l'espace défini entre deux nervures contiguës. Sur la gauche de chaque espace E aux figures 1 et 2, la forme de la nervure 2 qui le jouxte est telle que l'espace E ressemble à une cavité rentrante dans

laquelle le contact thermique entre le fluide qui circule dans le tube et la paroi 1 interne 1a du tube est optimisé, en particulier lors de l'ébullition dans le cas d'une utilisation avec un fluide diphasique.

[0029] On note d_1 la largeur du fond F de chaque espace E. On note d_2 la largeur de l'ouverture O de chaque espace E en direction de l'axe XX'. L'ouverture O de chaque espace E est décalée angulairement autour de l'axe XX' par rapport au fond F à cause de l'inclinaison et de l'écrasement des nervures 2.

[0030] Compte tenu de la géométrie des nervures 2, la largeur d_2 est inférieure à la largeur d_1 , ce qui accentue le fait que les espaces E apparaissent comme les cavités rentrantes pour le fluide qu'elles contiennent lors de l'utilisation du tube 1.

[0031] Le fait que tous les espaces E sont des cavités rentrantes permet d'augmenter le coefficient d'échange thermique du tube avec le fluide qui le traverse sans générer d'augmentation sensible de la turbulence d'écoulement, ce qui serait le cas si certains espaces E avaient d'autres géométries, par exemple ouvertes.

[0032] En pratique, on a pu déterminer que la turbulence d'écoulement dans un tube conforme à l'invention résulte principalement des dégagements intensifs de bulles de vapeur à partir des espaces E. Le brassage mécanique dû à la rugosité de la surface 1a n'intervient pas ou intervient très peu dans la génération de cette turbulence. Ce brassage peut donc être limité, ce qui limite en conséquence les pertes de charge.

[0033] Dans le second mode de réalisation de l'invention représenté aux figures 4 à 6, les éléments analogues à ceux du mode de réalisation des figures 1 à 3 portent des références identiques. Ce mode de réalisation diffère du précédent essentiellement en ce que les faces latérales P_1 et P_2 du profil P avant sertissage sont globalement courbes, les rayons de courbure R_1 et R_2 de ces deux faces étant différents et les centres de courbure C_1 et C_2 étant décalés, comme il apparaît plus clairement à la figure 5. Comme précédemment, le sertissage des ailettes 4 au moyen de l'olive 3 permet de rabattre le sommet S du profil P des nervures 2 vers la surface interne 1a du tube 1, de telle sorte que les espaces E entre les nervures, dans lesquels a lieu un échange thermique intense entre le fluide et le tube en cours d'utilisation, apparaissent comme des cavités rentrantes.

[0034] L'invention est applicable à tous les types de tubes, qu'ils soient formés "à plat", c'est-à-dire conformés, roulés puis soudés, ou rainurés intérieurement de façon classique. Un tube réalisé grâce à l'invention peut comporter ou non des ailettes de refroidissement extérieures et peut être utilisé avec un fluide diphasique ou monophasique.

Exemples

[0035] Des résultats particulièrement intéressants peuvent être obtenus avec un tube dont le diamètre ex-

térieur varie entre environ 5 mm et environ 20 mm et comportant de nombreuses nervures de hauteur comprise entre 0,15 et 1,5 mm et distantes d'environ 1 mm, c'est-à-dire dont la distance d_2 est égale à environ 1 mm. Si un tel tube est utilisé avec de l'eau, il comporte un nombre de nervures relativement faible, compris entre 10 et 20, dont la hauteur est, de préférence, égale à environ 1 mm. Dans ce cas, le coefficient d'échange thermique obtenu peut être de l'ordre de 10 000 W/m²/°C. Le profil P est triangulaire, comme représenté aux figures 1 et 2.

[0036] Pour une utilisation avec un fluide caloporteur, par exemple un réfrigérant tel que du di-fluoro-méthane, on utilise un tube dont la hauteur des nervures reste inférieure à 0,5 mm alors que leur nombre est important car la tension de surface du di-fluoro-méthane est plus faible que celle de l'eau. Comme précédemment, le coefficient d'échange thermique obtenu peut être de l'ordre de 10 000 W/m²/°C. Dans ce cas, le profil P est courbe, comme représenté aux figures 4 à 6.

[0037] Un échangeur de chaleur comportant des tubes tels que précédemment décrits est plus efficace que ceux de l'art antérieur car son coefficient d'échange thermique global est supérieur.

Revendications

1. Tube (1) d'échange thermique pourvu, sur sa surface interne (1a), de nervures aptes à être mises en forme, caractérisé en ce que toutes lesdites nervures (2) ont, avant mise en forme, un profil (P) asymétrique, le sommet (S) dudit profil desdites nervures étant en déport par rapport à la base (B) dudit profil.
2. Tube selon la revendication 1, caractérisé en ce que les faces latérales (P_1 , P_2) dudit profil (P) avant mise en forme sont sensiblement rectilignes.
3. Tube selon la revendication 1, caractérisé en ce que les faces latérales (P_1 , P_2) dudit profil (P) avant mise en forme sont globalement courbes, les rayons de courbure (R_1 , R_2) des deux faces (2) d'une nervure étant différents.
4. Tube selon la revendication 1, caractérisé en ce que les faces latérales (P_1 , P_2) dudit profil (P) avant mise en forme sont globalement courbes, les centres de courbure (C_1 , C_2) de deux faces d'une nervure (2) étant décalés.
5. Tube selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que le déport dudit sommet (S) est modifiable par écrasement desdites nervures (2).
6. Tube (1) d'échange thermique pourvu de nervures internes aptes à être mises en forme, caractérisé

en ce que lesdites nervures (2) ont, avant mise en forme des nervures, un profil (P) tel que tous les espaces (E) définis entre lesdites nervures ont une ouverture (O) vers le centre (XX') du tube décalée angulairement par rapport au fond (F) desdits espaces. 5

7. Tube selon la revendication 6, caractérisé en ce que la largeur (d_2) de ladite ouverture (O) est inférieure à la largeur (d_1) dudit fond (F) desdits espaces (E). 10

8. Echangeur de chaleur, caractérisé en ce qu'il comprend au moins un tube (1) selon l'une des revendications précédentes. 15

9. Procédé de fabrication d'un tube (1) d'échange thermique pourvu de nervures aptes à être mises en forme, caractérisé en ce qu'il consiste à mettre en forme lesdites nervures (2) en déplaçant, au moyen d'une pression radiale, le sommet (S) du profil (P) de chaque nervure, qui est en déport par rapport à sa base (B), en direction d'une surface interne (1a) dudit tube. 20

10. Procédé selon la revendication 9, caractérisé en ce que ledit écrasement est réalisé lors du sertissage d'aillettes (4) sur la face externe (1b) dudit tube (1). 25

30

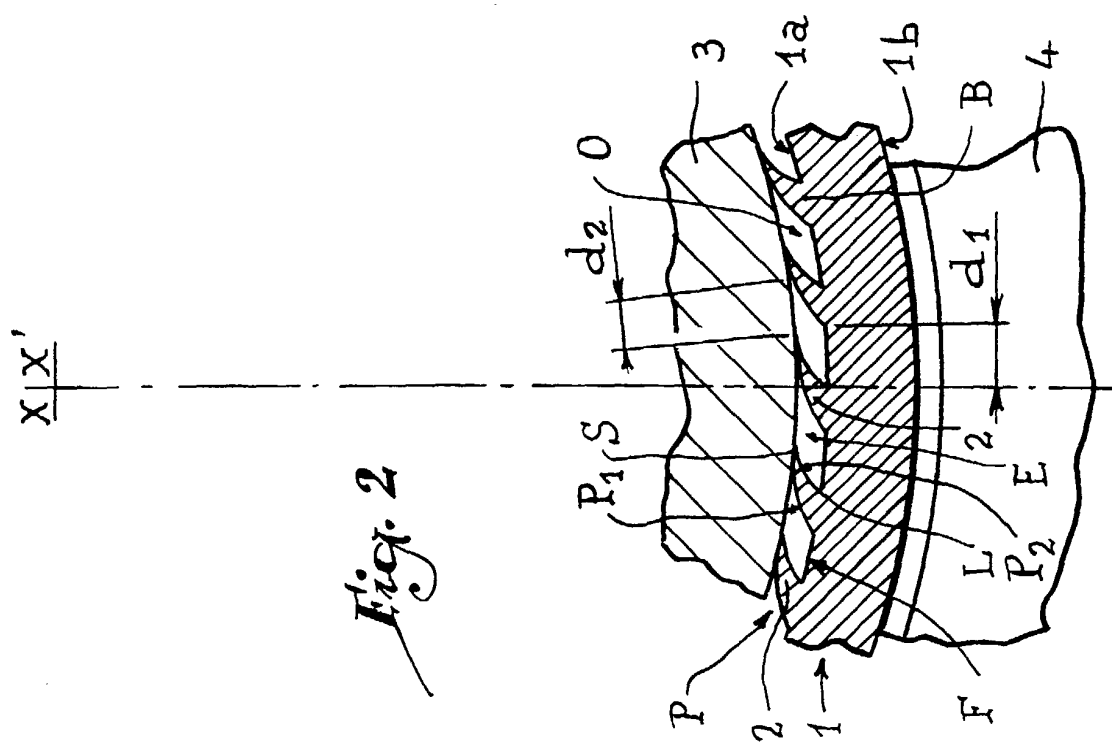
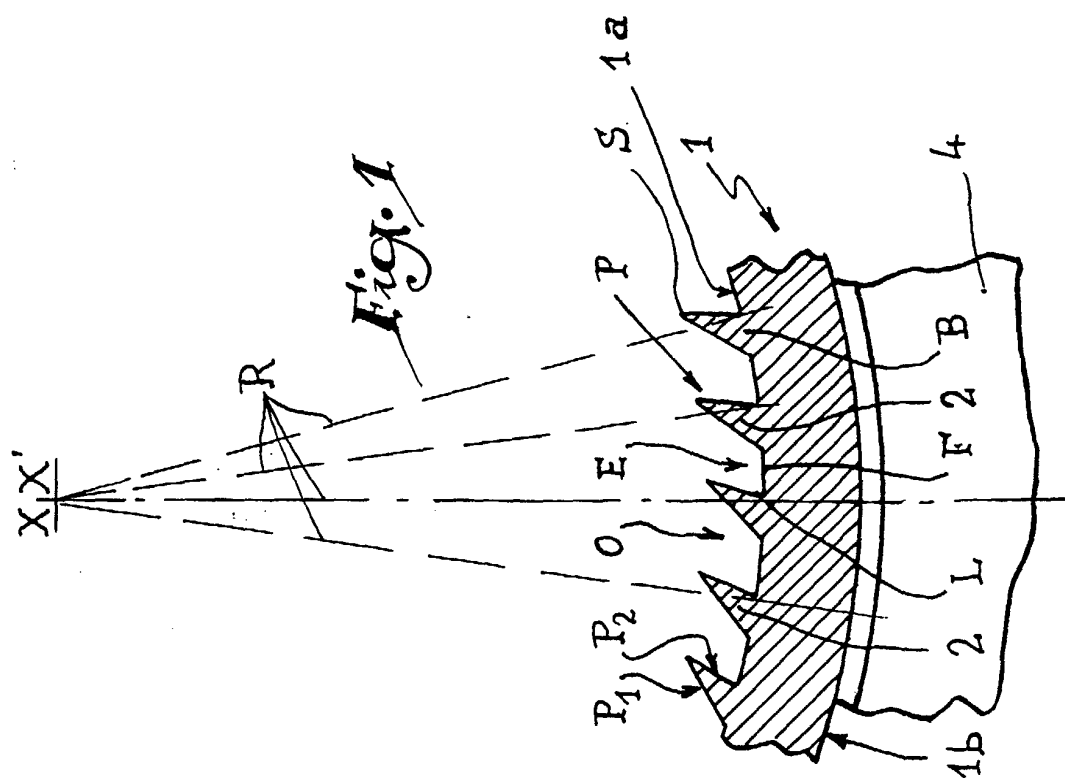
35

40

45

50

55



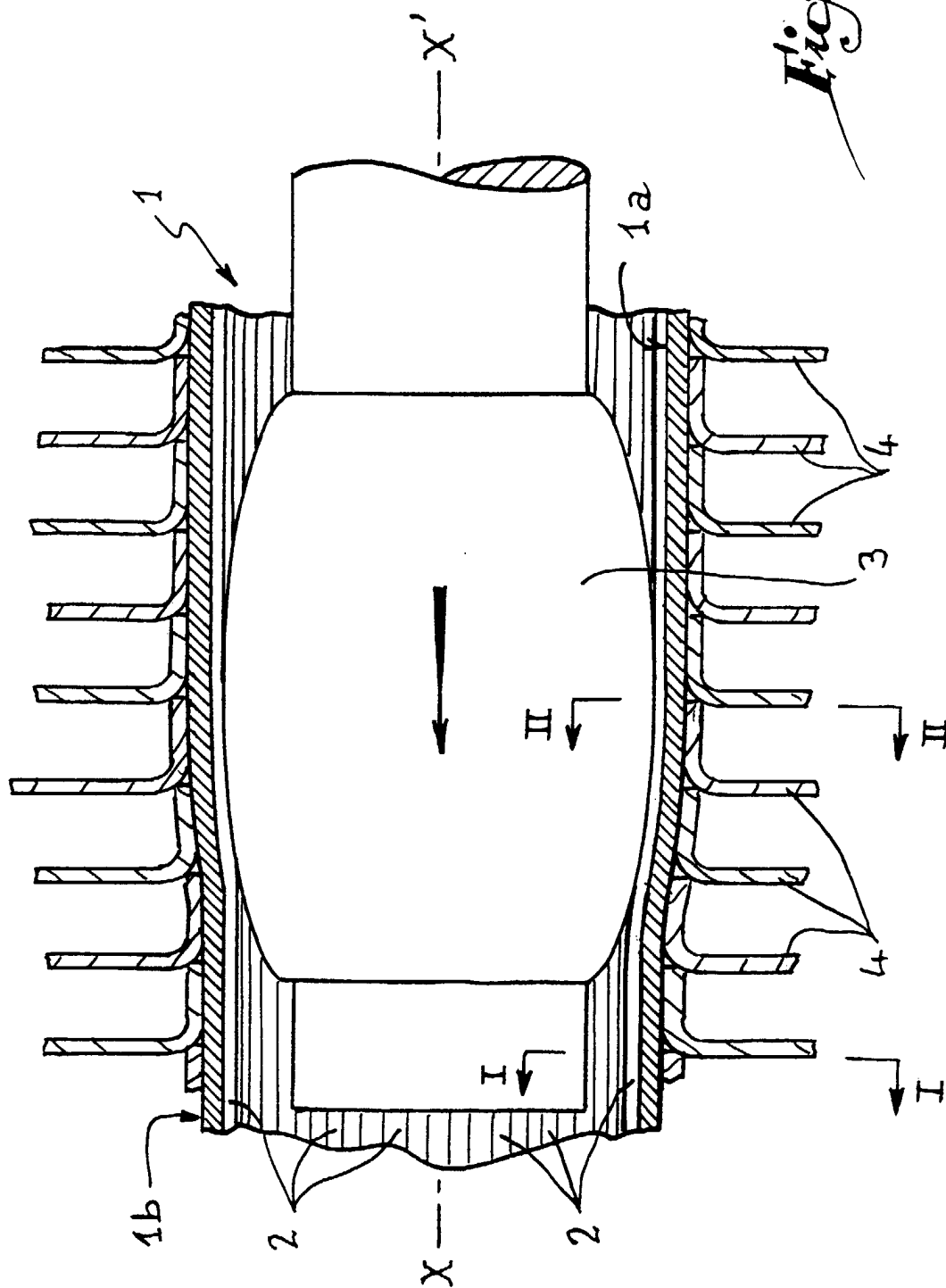


Fig. 3

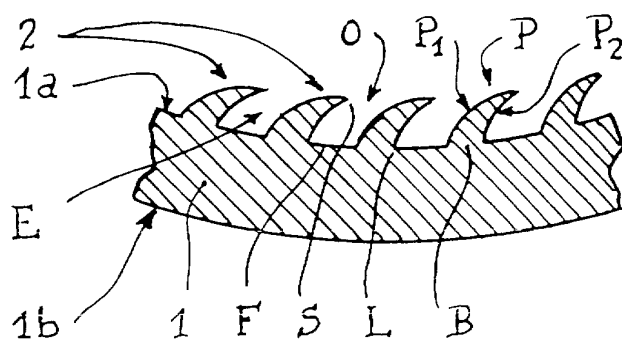


Fig. 4

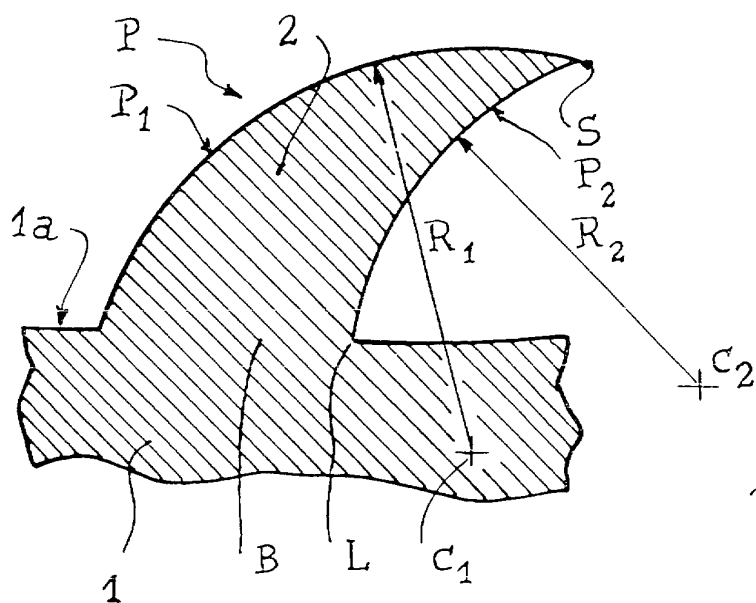


Fig. 5

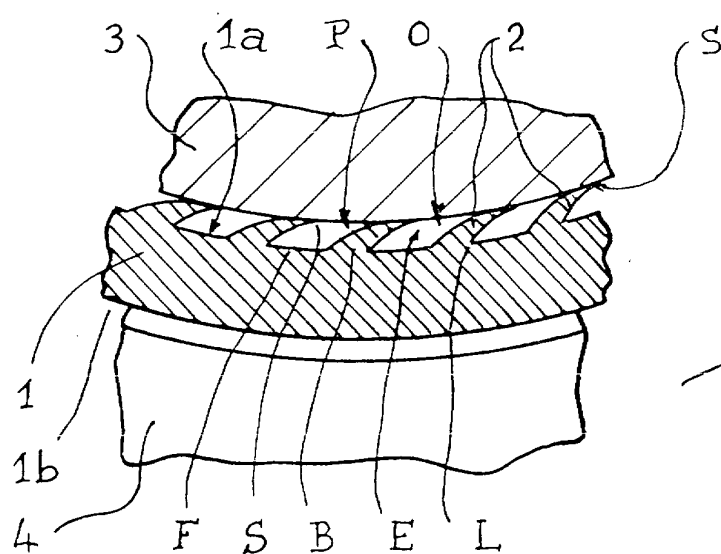


Fig. 6



Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande
EP 00 42 0129

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.7)
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 014, no. 305 (M-0992), 29 juin 1990 (1990-06-29) -& JP 02 097896 A (MATSUSHITA REFRIG CO LTD), 10 avril 1990 (1990-04-10) * abrégé; figures *	1-10	F28F1/40
A	WO 96 12151 A (UNIV MANCHESTER ;LAUNDER BRIAN EDWARD (GB); CRAFT TIMOTHY JOHN (GB) 25 avril 1996 (1996-04-25) * abrégé; figures 1-3 *	1,6	
A	FR 2 193 188 A (UNIVERSAL OIL PROD CO) 15 février 1974 (1974-02-15) * revendication 1; figures *	1,2,5,9	
A	US 5 415 225 A (RANDLETT MYRON R ET AL) 16 mai 1995 (1995-05-16) * colonne 4, ligne 64 - colonne 5, ligne 23; figures 1-4 *	1,5,9	
D,A	FR 2 706 197 A (TREFIMETAUX) 16 décembre 1994 (1994-12-16) * abrégé; revendication 1; figures *	1-10	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.Cl.7) F28F
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 20 septembre 2000	Examineur Mootz, F
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	

EPO FORM 1503 03.82 (P4/C02)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.**

EP 00 42 0129

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne vise ci-dessus.

Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

20-09-2000

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
JP 02097896 A	10-04-1990	AUCUN	
WO 9612151 A	25-04-1996	AU 3658795 A	06-05-1996
FR 2193188 A	15-02-1974	AUCUN	
US 5415225 A	16-05-1995	US 6067712 A	30-05-2000
FR 2706197 A	16-12-1994	AU 677850 B	08-05-1997
		AU 6932194 A	03-01-1995
		BR 9406753 A	27-02-1996
		CA 2164515 A	22-12-1994
		CN 1125000 A	19-06-1996
		DE 69401434 D	20-02-1997
		DE 69401434 T	28-05-1997
		EP 0701680 A	20-03-1996
		ES 2096473 T	01-03-1997
		WO 9429661 A	22-12-1994
		GR 3022274 T	30-04-1997
		IL 109752 A	30-10-1998
		US 5692560 A	02-12-1997

EPO FORM P0450

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82