



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
01.12.2004 Bulletin 2004/49

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

(21) Numéro de dépôt: **04007195.3**

(22) Date de dépôt: **25.03.2004**

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

(30) Priorité: **26.05.2003 FR 0306316**

(71) Demandeur: **Tréfinétaux S.A.**
F-92411 Courbevoie (FR)

(72) Inventeurs:
• **Avanan, Nicolas**
60590 Talmontiers (FR)
• **de Hollain, Guy**
78540 Vernouillet (FR)
• **Leterrible, Pascal**
27720 Dangu (FR)

(74) Mandataire: **Pietrzykowski, Anja**
Klosterstrasse 29
49074 Osnabrück (DE)

(54) **Tubes rainurés pour échangeurs thermiques à fluide monophasique, typiquement aqueux**

(57) Les tubes métalliques (1) rainurés, d'épaisseur T_f en fond de rainure, de diamètre extérieur D_e , rainurés intérieurement par N nervures hélicoïdales (2) d'angle d'apex α , de hauteur H , de largeur de base L_N et d'angle d'hélice β , deux nervures consécutives étant séparées par une rainure (3) à fond typiquement plat de largeur L_R , avec un pas P égal $L_R + L_N$, sont caractérisés en ce que :

- a) l'épaisseur T_f dudit tube est telle que T_f / D_e soit égal à $0,023 \pm 0,005$, T_f et D_e étant exprimés en mm, avec D_e allant 4 mm à 14,5 mm,
b) lesdites nervures sont de hauteur H telle que H / D_e soit égal à $0,028 \pm 0,005$, H et D_e étant exprimés

en mm,

c) le nombre N de nervures est tel que N / D_e soit égal à $2,1 \pm 0,4$, le pas P correspondant étant égal à $\pi \cdot D_i / N$, avec D_i égal à $D_e - 2 \cdot T_f$, D_e étant exprimé en mm,

d) lesdites largeurs de base L_N et L_R sont telles que L_N / L_R soit compris entre 0,20 et 0,80,

d) ledit angle d'apex α va de 10° à 50° ,

e) ledit angle d'hélice β va de 20° à 50° .

Avantages : ces tubes permettent d'obtenir simultanément un coefficient d'échange thermique élevé, une faible perte de charge, et un poids/mètre bas et sont adaptés à l'utilisation de fluides monophasiques, typiquement sous forme de solutions aqueuses.

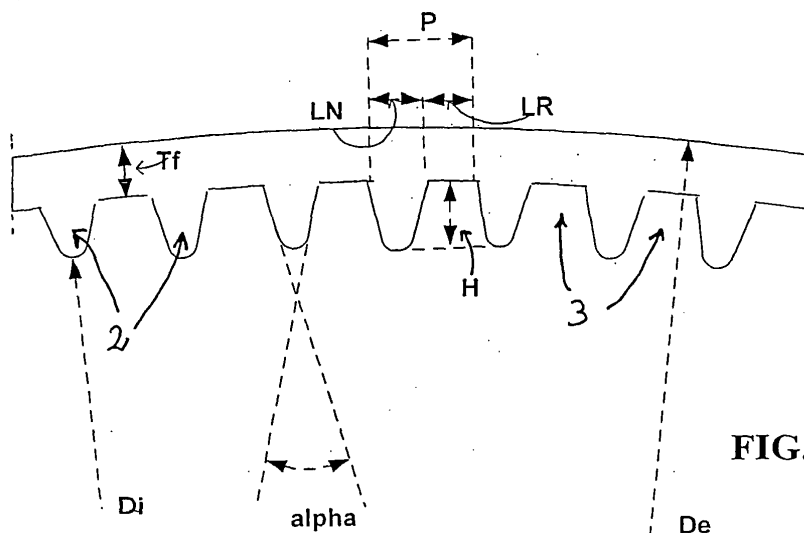


FIG. 1b

Description

DOMAINE DE L'INVENTION

5 **[0001]** L'invention concerne le domaine des tubes pour échangeurs de chaleur, et plus spécialement le domaine des tubes à échangeurs de chaleur utilisant un fluide dit "monophasique", c'est-à-dire un fluide pour lequel l'échange thermique ne comprend pas un cycle d'évaporation et de condensation, les fluides dits "diphasiques" étant ceux qui mettent en jeu les chaleurs latentes de vaporisation et de condensation.

10 ETAT DE LA TECHNIQUE

[0002] On connaît un grand nombre de documents décrivant la géométrie de tubes rainurés utilisés dans les échangeurs de chaleur.

15 **[0003]** A titre d'exemple, on peut citer la demande de brevet EP-A2-0 148 609 qui décrit des tubes à rainures triangulaires ou trapézoïdales présentant les caractéristiques suivantes :

- un rapport H/D_i compris entre 0,02 et 0,03, H désignant la profondeur des rainures (ou la hauteur des nervures), et D_i le diamètre intérieur du tube rainuré,
- un angle d'hélice β par rapport à l'axe de tube compris entre 7 et 30°,
- 20 - un rapport S/H compris entre 0,15 et 0,40, avec S désignant la section transversale de la rainure,
- un angle d'apex α des nervures compris entre 30 et 60°.

[0004] Ces caractéristiques de tubes sont adaptées à des fluides à transition de phase, les performances des tubes étant analysées de manière distincte lors de l'évaporation du fluide et lors de la condensation du fluide.

25 **[0005]** La demande japonaise n° 57-58088 décrit des tubes à rainures en V, avec H compris entre 0,02 mm et 0,2 mm, et avec un angle β compris entre 4° et 15°.

Des tubes voisins sont décrits dans la demande japonaise n°57-58094.

[0006] La demande japonaise n° 52-38663 décrit des tubes à rainures en V ou U, avec H compris entre 0,02 et 0,2 mm, un pas P compris entre 0,1 et 0,5 mm et un angle β compris entre 4 et 15°.

30 Le brevet US n° 4,044,797 décrit des tubes à rainures en V ou U voisins des tubes précédents.

[0007] Le modèle d'utilité japonais n°55-180186 décrit des tubes à rainures trapézoïdales et nervures triangulaires, avec une hauteur H de 0,15 à 0,25 mm, un pas P de 0,56 mm, un angle d'apex α (angle appelé θ dans ce document) typiquement égal à 73°, un angle β de 30°, et une épaisseur moyenne de 0,44 mm.

35 **[0008]** Les brevets US n° 4,545,428 et n°4,480,684 décrivent des tubes à rainures en V et nervures triangulaires, avec la hauteur H comprise entre 0,1 et 0,6 mm, un pas P compris entre 0,2 et 0,6 mm, un angle d'apex α compris entre 50 et 100°, un angle d'hélice β compris entre 16 et 35°.

[0009] Le brevet japonais n° 62-25959 décrit des tubes à rainures et nervures trapézoïdales, avec une profondeur de rainure H comprise entre 0,2 et 0,5 mm, un pas P compris entre 0,3 et 1,5 mm, la largeur moyenne des rainures étant au moins égale à la largeur moyenne des nervures. Dans un exemple, le pas P est de 0,70 mm et l'angle d'hélice β est de 10°.

40 **[0010]** Enfin, le brevet européen EP-B1-701 680, au nom de la demanderesse, décrit des tubes rainurés, avec rainures à fond plat et avec des nervures de hauteur H différente, d'angle d'hélice β compris entre 5 et 50°, d'angle d'apex α compris entre 30 et 60°, de manière obtenir de meilleures performances après le sertissage des tubes et montage dans les échangeurs.

45 **[0011]** D'une manière générale, les performances techniques et économiques des tubes, qui résultent du choix de la combinaison de moyens définissant les tubes (H , P , α , β , forme des rainures et nervures, etc...), sont généralement relatives à quatre types de considérations :

- d'une part, les caractéristiques relatives au transfert de chaleur (coefficient d'échange thermique), domaine dans lequel les tubes rainurés sont très supérieurs aux tubes non rainurés, de sorte qu'à échange thermique équivalent, la longueur de tube rainurée nécessaire sera moindre que celle de tube non rainuré,
- d'autre part, les caractéristiques relatives aux pertes de charge, de faibles pertes de charges permettant d'utiliser des pompes ou compresseurs de plus faible puissance, encombrement et coût,
- en outre, la faisabilité industrielle des tubes et la vitesse de production qui conditionne le prix de revient du tube chez le fabricant de tubes,
- 55 - enfin, les caractéristiques relatives aux propriétés mécaniques des tubes, typiquement en relation avec la nature des alliages utilisés ou avec l'épaisseur moyenne des tubes, épaisseur qui conditionne le poids du tube par unité de longueur, et donc influe sur son prix de revient.

PROBLEMES POSES

[0012] D'une part, comme cela résulte de l'état de la technique, il y a un grand nombre et une très grande diversité d'enseignements en ce qui concerne les tubes rainurés, sachant qu'ils visent généralement l'optimisation de l'échange thermique et la diminution de la perte de charge.

D'autre part, chacun de ces enseignements offre lui-même le plus souvent une large étendue de possibilités, les paramètres étant généralement définis par des plages de valeurs relativement larges.

Enfin, ces enseignements concernent, quand cela est spécifié, les échanges avec fluides diphasiques, c'est à dire ceux qui utilisent un fluide qui s'évapore dans une partie du circuit du fluide dans l'échangeur, et qui se condense dans une autre partie du circuit, un même tube rainuré n'étant pas également performant en évaporation et en condensation. En définitive, l'homme du métier a déjà beaucoup de difficultés pour tirer la quintessence de l'état de la technique, parmi un si grand nombre de données, parfois contradictoires.

L'homme du métier sait par contre qu'un tube typique du commerce, à nervures triangulaires comme représenté à la figure 1, présente typiquement les caractéristiques suivantes : diamètre extérieur $De = 12$ mm, hauteur de nervure $H = 0,25$ mm, épaisseur de paroi du tube $T_f = 0,35$ mm, nombre de nervures $N = 65$, angle d'hélice $\beta = 18^\circ$, angle d'apex $\alpha = 55^\circ$.

[0013] La présente invention concerne les tubes ou échangeurs dans le domaine des fluides monophasiques et pour applications réversibles, c'est à dire des tubes ou échangeurs qui peuvent être utilisés avec de l'eau ou de l'eau glycolée comme fluides frigopORTEURS ou caloporteurs, c'est-à-dire, soit typiquement pour refroidir de l'air dans les échangeurs de climatiseurs, soit typiquement pour réchauffer de l'air dans lesdits échangeurs.

[0014] La demanderesse a donc recherché et mis au point des tubes et échangeurs à la fois économiques, avec un poids par mètre relativement peu élevé, des performances d'échange thermique élevées, et une faible perte de charge, pour les applications ou domaines qui utilisent des fluides monophasiques.

DESCRIPTION DE L'INVENTION

[0015] Selon l'invention, les tubes métalliques rainurés, d'épaisseur T_f en fond de rainure, de diamètre extérieur De , typiquement destinés à la fabrication d'échangeurs de chaleur utilisant un fluide frigopORTEUR ou caloporteur de type monophasique, rainurés intérieurement par N nervures hélicoïdales d'angle d'apex α , de hauteur H , de largeur de base L_N et d'angle d'hélice β , deux nervures consécutives étant séparées par une rainure à fond typiquement plat de largeur L_R , avec un pas P égal $L_R + L_N$, sont caractérisés en ce que :

a) l'épaisseur T_f dudit tube est telle que T_f / De soit égal à $0,023 \pm 0,005$, T_f et De étant exprimés en mm, avec De allant 4 mm à 14,5 mm,

b) lesdites nervures sont de hauteur H telle que H/De soit égal à $0,028 \pm 0,005$, H et De étant exprimés en mm,

c) le nombre N de nervures est tel que N/De soit égal à $2,1 \pm 0,4$, le pas P correspondant étant égal à $\pi \cdot Di/N$, avec Di égal à $De - 2 \cdot T_f$, et De étant exprimé en mm,

d) lesdites largeurs de base L_N et L_R sont telles que L_N / L_R soit compris entre 0,20 et 0,80,

d) ledit angle d'apex α va de 10° à 50° ,

e) ledit angle d'hélice β va de 20° à 50° ,

de manière à être apte à utiliser comme fluide frigopORTEUR ou caloporteur un fluide typiquement monophasique comprenant typiquement de l'eau ou de l'eau glycolée, de manière à obtenir simultanément un coefficient d'échange thermique élevé en chauffage et en refroidissement et une faible perte de charge, et de manière à avoir un poids/mètre bas.

[0016] En effet, étudiant les systèmes échangeurs thermiques à fluide monophasique, par opposition aux systèmes avec fluide biphasique dans lesquels la partie du système en relation avec la source chaude est le siège d'une évaporation, tandis que la partie du système en relation avec la source froide est le siège d'une condensation, la demanderesse a pu observer que les tubes rainurés qui présentaient des performances élevées avec un fluide biphasique n'étaient pas adaptés aux fluides monophasiques.

La demanderesse a réussi à obtenir des tubes à la fois adaptés aux fluides monophasiques, de faible perte de charge et de faible poids au mètre, grâce à la combinaison de moyens a) à e) qui précèdent.

En particulier, contrairement à l'enseignement de l'état de la technique, ces tubes présentent simultanément un petit nombre de nervures et une épaisseur relativement faible.

DESCRIPTION DES FIGURES

[0017] Les différents paramètres utilisés pour définir les tubes selon l'invention sont représentés sur les figures 1a et 1c pour en illustrer la signification.

La figure 1a représente une vue partielle d'un tube rainuré (1), en coupe partielle selon l'axe du tube, de manière à illustrer l'angle d'hélice β .

La figure 1b représente une vue partielle d'un tube rainuré (1), en coupe partielle perpendiculairement à l'axe du tube, de manière à illustrer le cas d'un tube comprenant une succession de nervures (2) de hauteur H, nervures de forme sensiblement triangulaire, de largeur L_N à la base et d'angle d'apex α , séparées par des rainures (3) de forme sensiblement trapézoïdale et de largeur L_R , L_R étant la distance entre deux rainures nervures. Ce tube a une épaisseur T_f , un diamètre extérieur D_e , un diamètre intérieur D_i et un pas P égal $L_R + L_N$.

La figure 1c est une vue partielle d'un tube rainuré dans lequel les nervures forment une alternance de nervures trapézoïdales de hauteur $H1$ et de hauteur $H2 < H1$.

La figure 2a, analogue aux figures 1b ou 1c, représente une nervure (2) du tube selon l'essai A.

La figure 2b, analogue à la figure 2a, représente une nervure (2) du tube selon l'essai C.

La figure 2c, analogue à la figure 2a, représente une nervure (2) du tube selon l'essai F.

La figure 3a, analogue à la figure 2a, représente une nervure (2) du tube selon l'essai A' voisin de A.

La figure 3b, analogue à la figure 2a, représente une nervure (2) du tube selon l'essai B.

La figure 3c, analogue à la figure 2b, en est une variante.

La figure 4a est une vue d'une portion de surface interne d'un tube rainuré selon l'invention doté d'une contre-rainure axiale (30), avec, au-dessous, sa représentation schématique.

La figure 4b est une vue schématique en perspective de la batterie (4) de tubes (1) avec ailettes (5) ayant servi aux tests.

Les figures 5a et 5b sont des graphiques donnant le coefficient d'échange Hi (en $W/m^2.K$) en ordonnée en fonction de la perte de charge dP en Pa/m en abscisse quand le fluide frigoporteur est une solution aqueuse de formate de K, respectivement à $+5^\circ C$ (figure 4a) et à $-5^\circ C$ (figure 4b).

Les figures 6a et 6b sont analogues aux figures 4a et 4b, mais dans le cas où le fluide frigoporteur est une solution aqueuse de propylène glycol.

La figure 7 est un graphique donnant le coefficient d'échange Hi (en $W/m^2.K$) en ordonnée en fonction du nombre de Reynolds en abscisse quand le fluide frigoporteur est une solution aqueuse de propylène glycol.

DESCRIPTION DETAILLEE DE L'INVENTION

[0018] Selon l'invention, ledit angle d'hélice β peut aller de préférence de 25° à 35° . En effet, c'est le domaine qui permet d'obtenir un coefficient d'échange Hi élevé et qui permet d'être fabriqué par rainurage d'un tube, le coefficient d'échange Hi diminuant sensiblement pour les valeurs plus faibles de l'angle d'hélice β et la vitesse de fabrication diminuant pour les valeurs plus élevées de d'hélice β .

[0019] Selon l'invention, ledit angle d'apex α peut être typiquement inférieur à 45° et peut être compris de préférence entre 15 et 30° .

En effet, pour des valeurs plus élevées de l'angle d'apex α , le coefficient d'échange Hi tend à diminuer, et pour des valeurs plus faibles, il y a des difficultés de fabrication, notamment à cause de l'usure des outils ou mandrins de mise en forme, et en outre les angles aigus tendent à être détruits lors de la formation d'une batterie avec ailette, lors de l'expansion des tubes.

[0020] Il a été trouvé avantageux en ce qui concerne notamment le coefficient d'échange Hi , que le rapport S/H , S étant la surface comprise entre deux rainures consécutives, soit compris entre $0,8$ mm et $1,5$ mm, S et H étant exprimés respectivement en mm^2 et en mm.

[0021] De préférence, le rapport H/D_e peut être égal à $0,028 \pm 0,3$. En effet, comme évoqué précédemment, il est avantageux d'avoir des nervures de hauteur assez élevée pour avoir un coefficient d'échange Hi élevé, et cependant de hauteur pas trop élevée pour que ces nervures soient à la fois faciles à fabriquer et relativement peu sensibles à l'expansion du tube lors de la fabrication d'une batterie de tubes avec ailettes.

[0022] Comme cela apparaît notamment en en considérant les essais réalisés, le rapport P/H peut aller de $3,5$ à 7 , mais les meilleurs résultats sont obtenus quand ce rapport va de préférence de 4 à 6 (voir l'essai A par exemple), et en particulier pour des valeurs de H relativement élevées au moins égales à $0,30$ mm.

[0023] Selon l'invention, lesdites nervures peuvent être de section triangulaire, trapézoïdale ou quadrilatère, à angles au sommet éventuellement arrondis.

[0024] Comme illustré sur la figure 2a, lesdites nervures peuvent avoir un profil de type "trapèze" avec une base et un sommet, ledit sommet comprenant une partie centrale sensiblement plate, et éventuellement en pente par rapport à ladite base, comme illustré sur la figure 2c.

Notamment lorsque le profil des nervures forme un trapèze, le sommet de ladite nervure formant un petit côté du trapèze peut présenter des bords arrondis, comme c'est le souvent le cas lorsque le profil des nervures forme un triangle.

[0025] Ainsi, ledit sommet arrondi et/ou lesdits bords arrondis peuvent présenter des rayons de courbure inférieurs

à 100 μm , le raccordement des nervures audits fonds typiquement plats présentant des rayons de courbure inférieurs à 100 μm , allant de préférence de 20 à 50 μm .

[0026] Ledit sommet arrondi ou lesdits bords arrondis peuvent présenter un rayon de courbure de préférence inférieur à 80 μm , ledit rayon de courbure pouvant aller typiquement de 40 μm à 80 μm .

[0027] Selon une modalité préférée de l'invention, et comme illustré par exemple sur les figures 2a, 3a ou 3b, lesdites nervures peuvent être symétriques et se raccorder audits fonds typiquement plats avec des angles de raccordement droit et gauche θ_1 et θ_2 tels que $\theta_1 - \theta_2$ soit typiquement égal à 0 ou au plus égal à 10° , de manière à former des nervures symétriques ou quasi-symétriques.

Cependant, comme illustré sur les figures 2b et 2c, lesdites nervures peuvent se raccorder audits fonds typiquement plats avec des angles de raccordement droit et gauche θ_1 et θ_2 tels que $\theta_1 - \theta_2$ soit au moins égal à 10° , de manière à former des nervures asymétriques ou inclinées.

Comme illustré sur la figure 3c, lesdites nervures peuvent former une succession alternée de nervures présentant des angles de raccordement droit et gauche θ_1 et θ_2 pour l'une, et θ_2 et θ_1 pour l'autre.

[0028] Comme illustré sur la figure 3b, lesdites nervures peuvent présenter une base de forme triangulaire sur une hauteur h_B et un sommet de forme trapézoïdale sur une hauteur h_S , avec H égal à $h_B + h_S$, et h_B / h_S allant typiquement de 1 à 2.

Comme illustré sur la figure 1c, lesdites nervures peuvent former une succession de nervures de hauteur $H_1 = H$ et de hauteur $H_2 = a.H_1$, avec a compris entre 0,1 et 0,9, la nervure de hauteur H_1 étant la nervure principale, et la nervure de hauteur H_2 étant la nervure secondaire. Typiquement, ladite succession peut être une alternance de nervures de hauteur H_1 et de nervures de hauteur H_2 séparées par une rainure à fond plat. Voir essai E avec $H_1 = 0,25 \text{ mm}$ et $H_2 = 0,22 \text{ mm}$.

Comme illustré sur les figures 3a et 3b, lesdits tubes peuvent comprendre des nervures secondaires de hauteur $H' < 0,5.H$ et localisées typiquement à mi-distance entre deux nervures de hauteur H ou de hauteur H_1 et H_2 .

[0029] Selon l'invention, et comme illustré sur la figure 4a, lesdits tubes peuvent comprendre en outre un rainurage axial créant dans lesdites nervures des encoches à profil typiquement triangulaire à sommet arrondi, ledit sommet présentant un angle γ allant de 25° à 65° , ladite partie inférieure ou sommet est à une distance h du fond desdites rainures allant de 0 à 0,2 mm.

[0030] Les tubes rainurés selon l'invention peuvent être en Cu et alliages de Cu, Al et alliages d'Al, Fe et alliages de Fe.

Ces tubes, typiquement non cannelés, peuvent être obtenus typiquement par rainurage de tubes, ou éventuellement, par rainurage à plat d'une bande métallique puis formation d'un tube soudé.

Ces tubes peuvent être de section transversale typiquement ronde, ovale ou rectangulaire. Ils peuvent être de section ovale ou rectangulaire, en particulier dans le cas de tubes soudés.

[0031] Un autre objet de l'invention est constitué par les échangeurs de chaleur utilisant des tubes selon l'invention.

Comme illustré sur la figure 4b, ces échangeurs peuvent comprendre des ailettes d'échange thermique en contact avec lesdits tubes sur une fraction desdits tubes, dans lesquels la distance maximale entre lesdites ailettes et lesdits tubes, sur la fraction qui n'est pas en contact, est inférieure à 0,01 mm, et de préférence inférieure à 0,005 mm.

[0032] Un autre objet de l'invention est constitué par l'utilisation de tubes selon l'invention, et par l'utilisation d'échangeurs selon l'invention, tubes et échangeurs dans lesquels le fluide frigoporteur ou caloporteur est utilisé comme fluide monophasique typiquement choisi parmi : l'eau, les solutions aqueuses glycolées typiquement à 30% de glycol, les solutions de formate et/ou d'actétate de K, les sorbets, les liquides organiques, le CO_2 liquide.

Selon l'invention, le fluide frigoporteur ou caloporteur peut être utilisé comme fluide monophasique typiquement choisi avec des caractéristiques de viscosité dynamique comprise entre 0,5 et 30 m.Pa et de nombre de Prandtl compris entre 5 et 160.

EXEMPLES DE REALISATION

A) Fabrication des tubes

[0033] On a fabriqué des tubes de cuivre rainurés selon l'invention de 12,0 mm de diamètre extérieur D_e , tubes référencés A, B, C, D et G, ainsi que des tubes témoins référencés E, F et G, le tube référencé L correspondant à un tube témoin lisse.

Par ailleurs d'autres essais ont été effectués d'autres diamètres D_e , essais qui ont montré que le rainurage selon l'invention permettait de choisir une épaisseur T_f à fond de rainure telle que T_f/D_e soit égal à $0,023 \pm 0,005$, ce qui conduit à une épaisseur T_f sensiblement inférieure à l'épaisseur standard et donc à un gain de poids significatif, le tube en conservant des performances mécaniques d'usage satisfaisantes.

EP 1 482 269 A2

Réf.	H mm	Angle α°	Angle β°	N	Type*	Tf mm	L_N/L_R	P/H	P mm	S/H
A	0,337	29	24	22	T1	0,30	0,28	4,84	1,63	1,36
B	0,280	33	25	20	T1-2	0,30	0,29	6,89	1,93	1,47
C	0,227	70	30	40	T2	0,30	0,77	4	0,91	0,61
D	0,304	41	25	29	T1	0,32	0,51	4,12	1,25	0,85
E	0,25 0,22	40	18	70	T2	0,35	1,15	2,56	0,64	0,35
F	0,23	53	28	65	T1	0,35	1,8	2,39	0,55	0,26
G	0,280	70	10	22	T1	0,30	0,28	5,80	1,62	1,36
L	-	-	-	-		0,40	-	-		-

* Type de nervure : T1 en forme de trapèze, T2 en forme de triangle, T1-2 en forme mixte

A noter que les tubes C et G présentent des rainures dissymétriques alors que les rainures des tubes A, B, D, E et F sont symétriques.

B) Résultats obtenus :

[0034] Les tubes ont été testés avec deux types de fluides monophasiques : d'une part une solution aqueuse de monopropylène glycol à 30% en volume, et d'autre part une solution de formate de K pouvant aller jusqu'à -30°C, cette dernière présentant une température de congélation de -55°C, contre -40°C pour la solution de monopropylène glycol. Les tests ont été réalisés à +5°C et à -5°C.

On a mesuré la viscosité dynamique (m.Pa.s) des solutions utilisées à ces deux températures :

T	Monopropylène glycol (m.Pa.s)	Solution de formate de K
- 5°C	20	4,5
+5°C	10	2,5

Par ailleurs, on a mesuré le nombre de Prandtl pour le monopropylène glycol : soit 142 à - 5°C, et 80 à +5°C. Pour la solution de formate de K, le nombre de Prandtl est de 20 à +5°C

B1) Poids au mètre

[0035] Les tubes A, B, C, D et G présentent un poids au mètre de 125 g/m, alors que les tubes témoins E et F, qui correspondent à des tubes rainurés de l'état de la technique, ont un poids au mètre de 140 g/m, le tube L présentant un poids au mètre de 130 g/m.

En conclusion, avec les tubes selon l'invention, le gain en poids est de 10 % par rapport aux tubes rainurés de l'état de la technique et de 4% par rapport au tube lisse utilisé généralement dans cette application.

B2) Essais avec une solution aqueuse de monopropylène glycol à 30% en volume 1) Essais à - 5°C :

[0036] Dans le cas des tubes A, C et L, on a mesuré le coefficient d'échange Hi (W/m².K) en fonction de Re , le nombre de Reynolds, pour un régime laminaire, ce qui correspond au domaine $2000 < Re < 3200$. Le tableau qui suit donne la valeur de Hi pour trois valeurs de Re : 2400, 2600 et 2800.

Re	Hi tube A= HiA	Hi tube C= HiC	Hi tube L= HiL	HiA/HiL	HiC/HiL
2400	3250	2300	2125	1,53	1,08
2600	3500	2550	2325	1,50	1,10
2800	3750	2750	2500	1,50	1,10

[0037] Dans le cas des tubes A, C, E, F, G et L, on a mesuré le coefficient d'échange Hi en fonction de la perte de

EP 1 482 269 A2

charge dP (Pa/m). Le tableau qui suit donne les valeurs de H_i pour une perte de charge de 14 KPa/m et 16 KPa/m :

DP KPa/m	HiA	HiC	HiG	HiF	HiE	HiL
14	3209	2777	2640	2300	2300	2300
16	3664	3300	3050	2936	2709	2709

[0038] Le tableau qui suit donne les rapports des coefficients d'échange, le tube lisse L étant pris comme référence :

DP KPa/m	HiA/HiL	HiC/HiL	HiG/HiL	HiF/HiL	HiE/HiL	HiL/HiL
14	1,395	1,21	1,15	1	1	1
16	1,35	1,22	1,13	1,08		1

Ainsi, pour une perte de charge de 14KPa/m, le tube A présente, par rapport au tube lisse L, et également par rapport aux tubes rainurés F et E de l'état de la technique, un gain de 39%, ce qui est considérable.

[0039] Pour les tubes de l'invention référencés A et G, il a été étudié l'influence de l'angle d'hélice, les autres paramètres de rainures étant égaux par ailleurs.

Le tableau qui suit donne les coefficients d'échange et le rapport de ceux-ci pour des pertes de charge identiques de 14 KPa/m et 18KPa/m.

DP KPa/m	HiA	HiG	HiA/HiG
14	3239	2630	1,23
18	3674	3090	1,19

2) Essais à + 5°C :

[0040] Les essais à +5°C ont été effectués sur les tubes A, B, C, E, F et L. On a mesuré le coefficient d'échange H_i en fonction de la perte de charge dP (Pa/m). Le tableau qui suit donne les valeurs de H_i pour une perte de charge de 4 KPa/m. de 8 KPa/m et 12 KPa/m :

Dp KPa/m	HiA	HiB	HiC	HiE	HiF	HiL
4	2545	2273	1591	1591	1591	1591
8	4000	3545	2455	2273	2273	2273
12	4545	4409	3409	3045	2909	2773

[0041] Le tableau qui suit donne les rapports des coefficients d'échange, le tube lisse L étant pris comme référence :

Dp KPa/m	HiA/HiL	HiB/HiL	HiC/HiL	HiE/HiL	HiF/HiL	HiL/HiL
4	1,60	1,43	1	1	1	1
8	1,76	1,47	1,08	1	1	1
12	1,64	1,59	1,23	1,10	1,05	1

B3) Essais avec une solution aqueuse de formate de potassium

1) Essais à -5°C

[0042] Dans le cas des tubes A, B, C, E, F, et L, on a mesuré le coefficient d'échange H_i en fonction de la perte de charge dP (Pa/m). Le tableau qui suit donne les valeurs de H_i pour une perte de charge de 4, 8 et 12 KPa/m :

Dp KPa/m	HiA	HiB	HiC	HiE	HiF	HiL
4	2423	1769	1769	1769	1769	1769

EP 1 482 269 A2

(suite)

Dp KPa/m	HiA	HiB	HiC	HiE	HiF	HiL
8	3615	2615	3000	2615	2615	2615
12	4231	3539	4000	3269	3385	3077

[0043] Le tableau qui suit donne les rapports des coefficients d'échange, le tube lisse L étant pris comme référence :

Dp KPa/m	HiA/HiL	HiB/HiL	HiC/HiL	HiE/HiL	HiF/HiL	HiL/HiL
4	1,37	1	1	1	1	1
8	1,38	1	1,15	1	1	1
12	1,38	1,15	1,30	1,06	1,10	1

2) Essais à +5°C

[0044] Dans le cas des tubes A, B, C, E, F, et L, on a mesuré le coefficient d'échange Hi en fonction de la perte de charge dP (Pa/m). Le tableau qui suit donne les valeurs de Hi pour une perte de charge de 4, 8 et 12 KPa/m :

Dp KPa/m	HiA	HiB	HiC	HiE	HiF	HiL
4	3256	2325	2791	2325	2325	2325
8	4000	3674	4280	3442	3674	3116
12	4744	4465	5000	4465	4465	3581

[0045] Le tableau qui suit donne les rapports des coefficients d'échange, le tube lisse L étant pris comme référence :

Dp KPa/m	HiA/HiL	HiB/HiL	HiC/HiL	HiE/HiL	HiF/HiL	HiL/HiL
4	1,40	1	1,2	1	1	1
8	1,28	1,18	1,37	1,10	1,18	1
12	1,32	1,25	1,40	1,25	1,25	1

C) Conclusions

[0046] Dans tous les cas de fluides monophasiques étudiés et à toutes les températures étudiées, le tube A est extrêmement performant et avantageux.

Cependant, dans des cas particuliers, les tubes B et C peuvent être avantageux. Ainsi, le tube B peut l'être dans le cas d'un échange thermique à +5°C avec une solution aqueuse de monopropylèneglycol comme fluide circulant dans l'échangeur. De même, le tube C peut être avantageux dans le cas d'un échange thermique à +5°C avec une solution aqueuse de formate de K comme fluide circulant dans l'échangeur.

AVANTAGES DE L'INVENTION

[0047] L'invention présente de grands avantages.

[0048] En effet, elle permet d'une part d'avoir des tubes échangeurs d'une grande efficacité en ce qui concerne l'échange thermique grâce à un coefficient d'échange Hi très élevé.

D'autre part, elle permet d'avoir des tubes de faible poids au mètre, à la fois parce que l'invention permet d'avoir des tubes à la fois de petit diamètre et de faible épaisseur à fond de rainure, tubes très performants notamment en ce qui concerne le coefficient d'échange thermique et qui sont aptes à remplacer des tubes de plus grand diamètre et avec une plus grande épaisseur à fond de rainure. De plus, le nombre relativement faible de nervures contribue également à alléger les tubes.

Enfin, les tubes selon l'invention sont particulièrement adaptés à tous les circuits d'échange thermique à fluide monophasique, notamment ceux qui utilisent des solutions aqueuses, ce qui est très avantageux en pratique.

LISTE DES REPERES DES FIGURES

[0049]

5

Tube rainuré	1
Nervure	2
Rainure	3
Rainure axiale	30
Batterie	4
Ailette	5
Axe du tube	6

10

15

Revendications

20

1. Tubes métalliques (1) rainurés, d'épaisseur T_f en fond de rainure, de diamètre extérieur D_e , typiquement destinés à la fabrication d'échangeurs de chaleur utilisant un fluide frigoporteur ou caloporteur de type monophasique, rainurés intérieurement par N nervures hélicoïdales (2) d'angle d'apex α , de hauteur H, de largeur de base L_N et d'angle d'hélice β , deux nervures consécutives étant séparées par une rainure (3) à fond typiquement plat de largeur L_R , avec un pas P égal $L_R + L_N$, **caractérisés en ce que** :

25

- a) l'épaisseur T_f dudit tube est telle que T_f/D_e soit égal à $0,023 \pm 0,005$, T_f et D_e étant exprimés en mm, avec D_e allant 4 mm à 14,5 mm,
b) lesdites nervures sont de hauteur H telle que H/D_e soit égal à $0,028 \pm 0,005$, H et D_e étant exprimés en mm,
c) le nombre N de nervures est tel que N/D_e soit égal à $2,1 \pm 0,4$, le pas P correspondant étant égal à $\pi \cdot D_i / N$, avec D_i égal à $D_e - 2 \cdot T_f$, et D_e étant exprimé en mm,
d) lesdites largeurs de base L_N et L_R sont telles que L_N / L_R soit compris entre 0,20 et 0,80,
e) ledit angle d'apex α va de 10° à 50° ,
e) ledit angle d'hélice β va de 20° à 50° ,

30

de manière à être apte à utiliser comme fluide frigoporteur ou caloporteur un fluide typiquement monophasique comprenant typiquement de l'eau ou de l'eau glycolée, de manière à obtenir simultanément un coefficient d'échange thermique élevé en chauffage et en refroidissement et une faible perte de charge, et de manière à avoir un poids/mètre bas.

35

2. Tubes selon la revendication 1 dans lesquels ledit angle d'hélice β va de préférence de 25° à 35° .
3. Tubes selon une quelconque des revendications 1 à 2 dans lequel ledit angle d'apex α est typiquement inférieur à 45° et est compris de préférence entre 15° et 30° .
4. Tubes selon une quelconque des revendications 1 à 3 dans lequel le rapport S/H , S étant la surface comprise entre deux rainures consécutives, est compris entre 0,8 et 1,5, S et H étant exprimés respectivement en mm^2 et en mm.
5. Tubes selon une quelconque des revendications 1 à 4 dans lequel H/D_e est égal à $0,028 \pm 0,003$.
6. Tubes selon une quelconque des revendications 1 à 5 dans lequel P/H va de 3,5 à 7, et préférence de 4 à 6.
7. Tubes selon une quelconque des revendications 1 à 6 dans lesquels lesdites nervures sont de section triangulaire, trapézoïdale ou quadrilatère, à angles au sommet éventuellement arrondis.
8. Tubes selon la revendication 7 dans lequel lesdites nervures ont un profil de type "trapèze" avec une base et un sommet, ledit sommet comprenant une partie centrale sensiblement plate, et éventuellement en pente par rapport à ladite base, ledit sommet de ladite nervure formant un petit côté du trapèze présentant typiquement des bords arrondis.
9. Tubes selon une quelconque des revendications 7 à 8 dans lequel ledit sommet arrondi et/ou lesdits bords arrondis

40

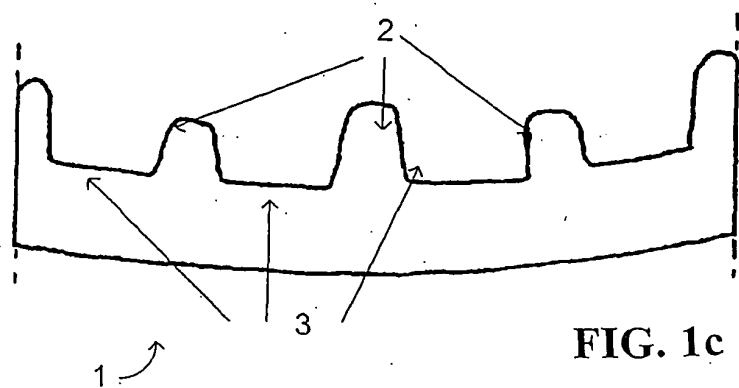
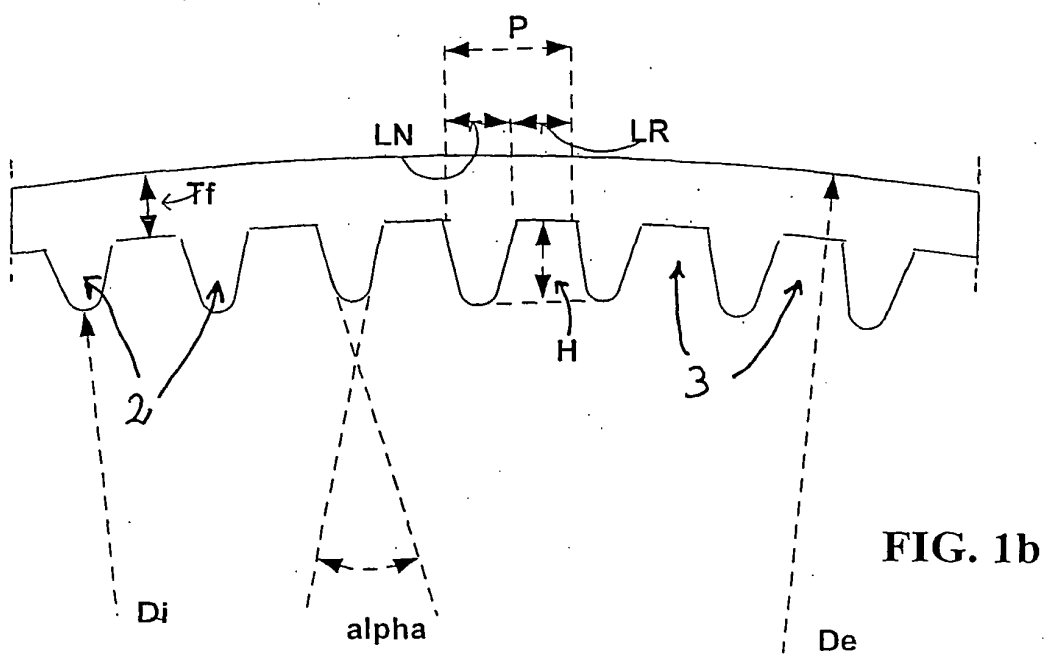
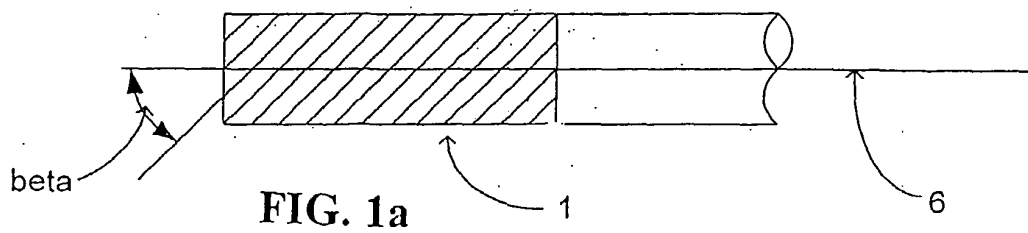
45

50

55

présentent des rayons de courbure inférieurs à 100 μm , le raccordement des nervures audits fonds typiquement plats présentant des rayons de courbure inférieurs à 100 μm , allant de préférence de 20 à 50 μm .

- 5 10. Tubes selon une quelconque des revendications 1 à 9 dans lesquels lesdites nervures sont symétriques et se raccordent audits fonds typiquement plats avec des angles de raccordement droit et gauche θ_1 et θ_2 tels que $\theta_1 - \theta_2$ soit typiquement égal à 0 ou au plus égal à 10° , de manière à former des nervures symétriques ou quasi-symétriques.
- 10 11. Tubes selon une quelconque des revendications 1 à 10 dans lesquels lesdites nervures se raccordent audits fonds typiquement plats avec des angles de raccordement droit et gauche θ_1 et θ_2 tels que $\theta_1 - \theta_2$ soit au moins égal à 10° , de manière à former des nervures asymétriques ou inclinées.
- 15 12. Tubes selon une quelconque des revendications 1 à 6 dans lesquels lesdites nervures présentent une base de forme triangulaire sur une hauteur h_B et un sommet de forme trapézoïdale sur une hauteur h_S , avec H égal à $h_B + h_S$, et h_B / h_S allant typiquement de 1 à 2.
- 20 13. Tubes selon une quelconque des revendications 1 à 12 dans lesquels lesdites nervures forment une succession de nervures de hauteur $H_1 = H$ et de hauteur $H_2 = a.H_1$, avec a compris entre 0,1 et 0,9, la nervure de hauteur H_1 étant la nervure principale, et la nervure de hauteur H_2 étant la nervure secondaire, ces deux nervures étant séparées par une rainure à fond plat.
- 25 14. Tubes selon une quelconque des revendications 1 à 13 qui comprennent en outre un rainurage axial créant dans lesdites nervures des encoches à profil typiquement triangulaire à sommet arrondi, ledit sommet présentant un angle γ allant de 25° à 65° , ladite partie inférieure ou sommet est à une distance h du fond desdites rainures allant de 0 à 0,2 mm.
- 30 15. Tubes selon une quelconque des revendications 1 à 14 en Cu et alliages de Cu, Al et alliages d'Al, Fe et alliages de Fe.
- 35 16. Tubes selon une quelconque des revendications 1 à 15, typiquement non cannelés, obtenus typiquement par rainurage de tubes, ou éventuellement, par rainurage à plat d'une bande métallique puis formation d'un tube soudé.
17. Tubes selon une quelconque des revendications 1 à 16 de section transversale typiquement ronde, ovale ou rectangulaire.
- 40 18. Echangeurs de chaleur utilisant des tubes selon une quelconque des revendications 1 à 17.
19. Utilisation de tubes selon une quelconque des revendications 1 à 17 et d'échangeurs selon la revendication 18, dans lesquels le fluide frigoporteur ou caloporteur est utilisé comme fluide monophasique typiquement choisi parmi : l'eau, les solutions aqueuses glycolées typiquement à 30% de glycol, les solutions de formate et/ou d'acétate de K, les sorbets, les liquides organiques, le CO_2 liquide.
- 45 20. Utilisation de tubes selon une quelconque des revendications 1 à 17 et d'échangeurs selon la revendication 18, pour échangeurs de chaleur dans lesquels le fluide frigoporteur ou caloporteur est utilisé comme fluide monophasique typiquement choisi avec des caractéristiques de viscosité dynamique comprise entre 0,5 et 30 mPa et de nombre de Prandtl compris entre 5 et 160.



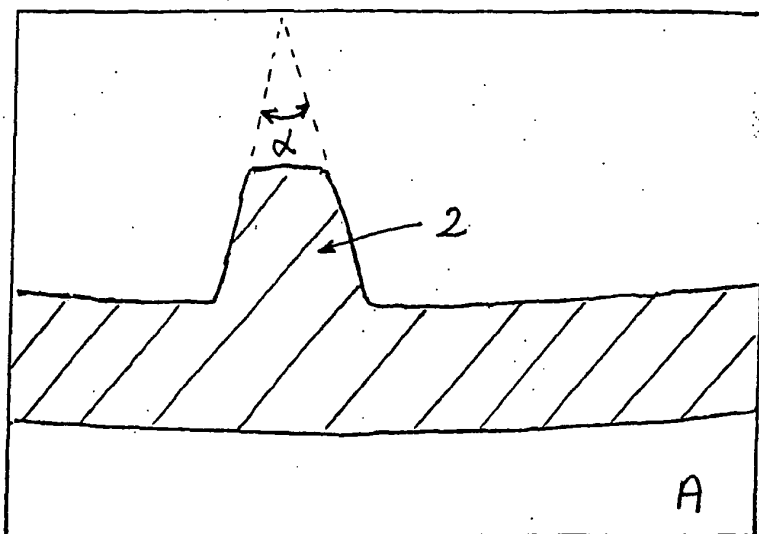


FIG. 2a

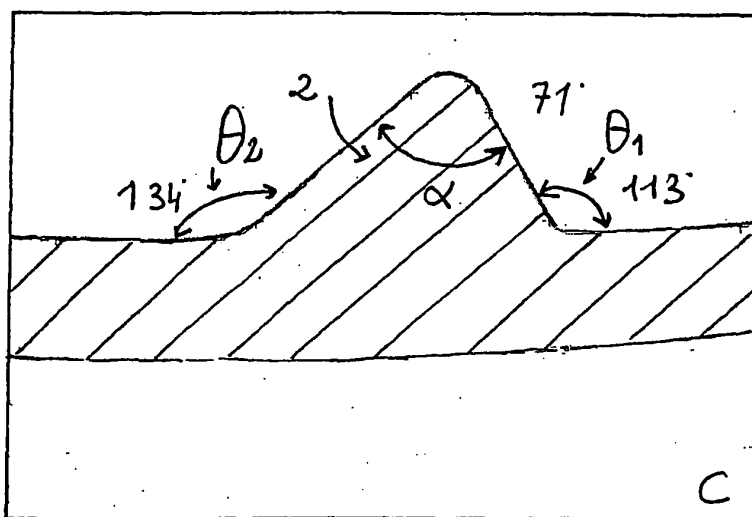


FIG. 2b

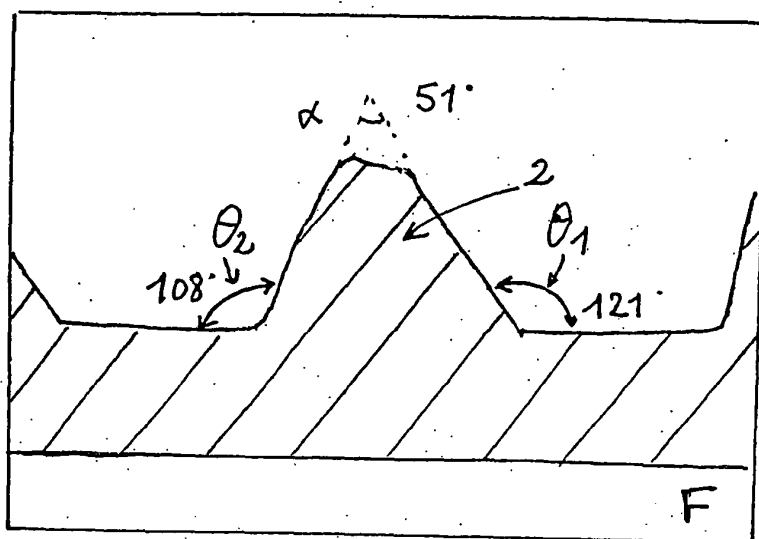


FIG. 2c

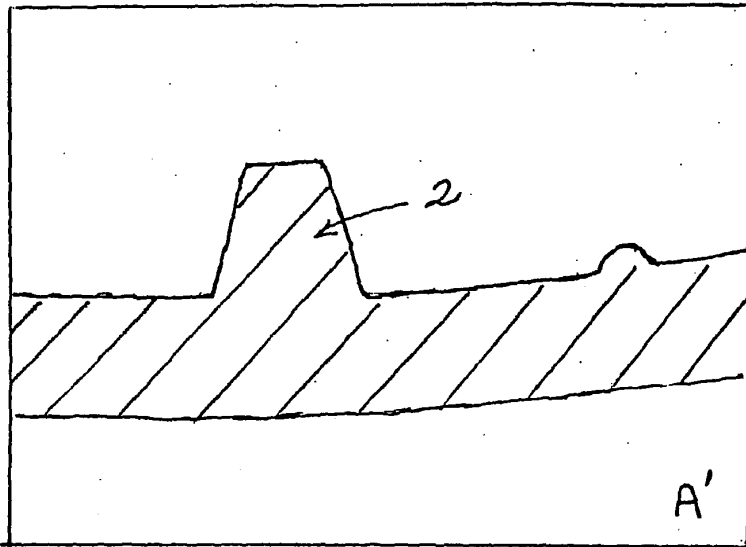


FIG. 3a

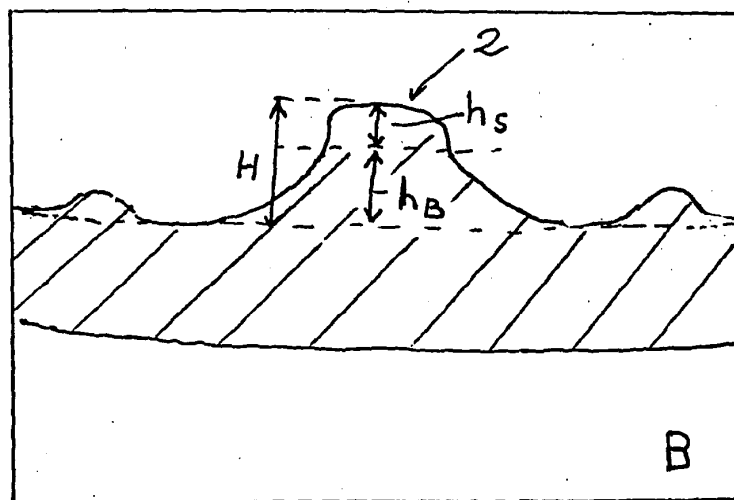


FIG. 3b

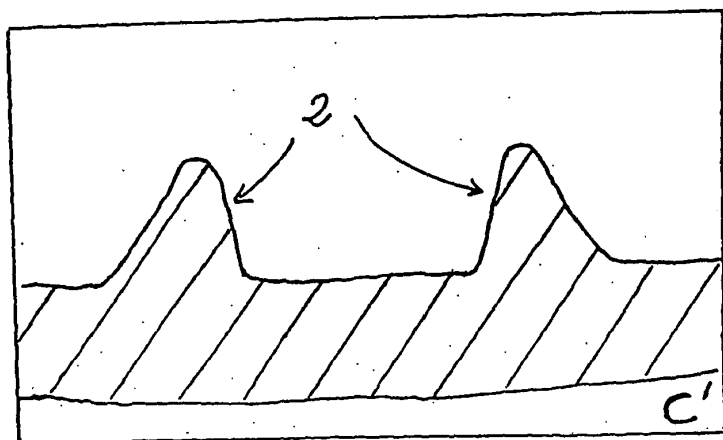


FIG. 3c

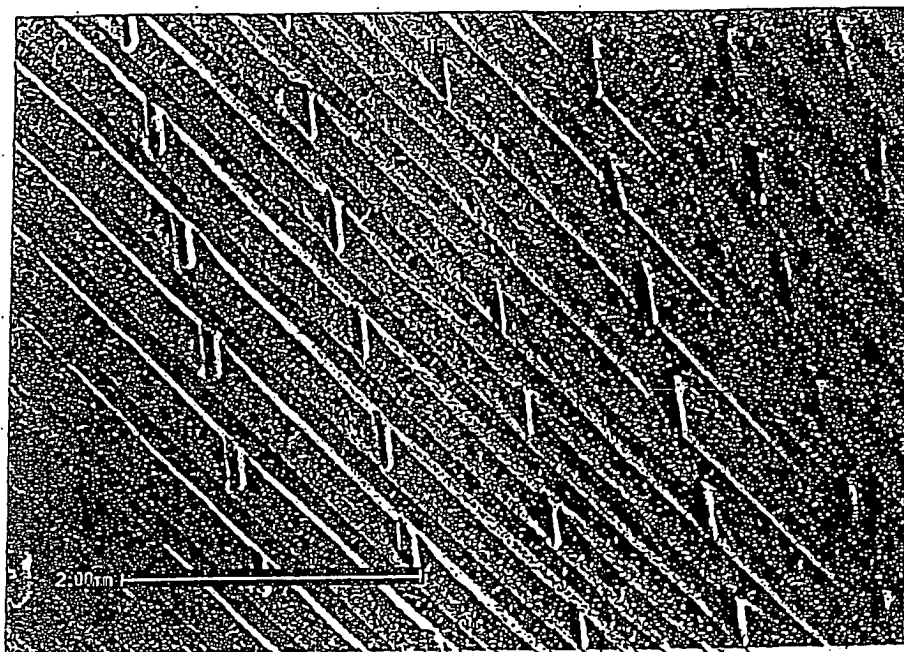


FIG. 4a

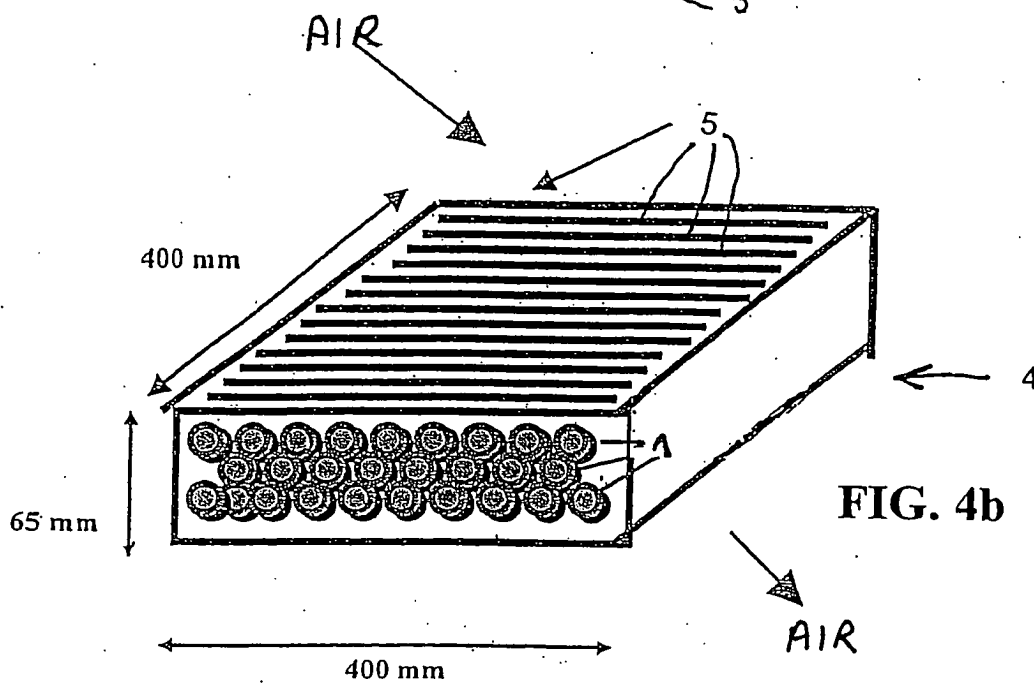
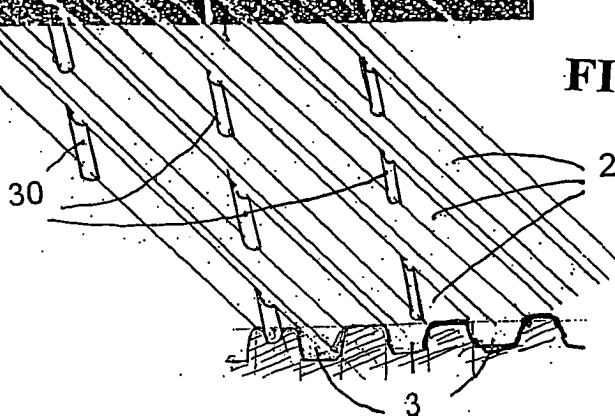


FIG. 4b

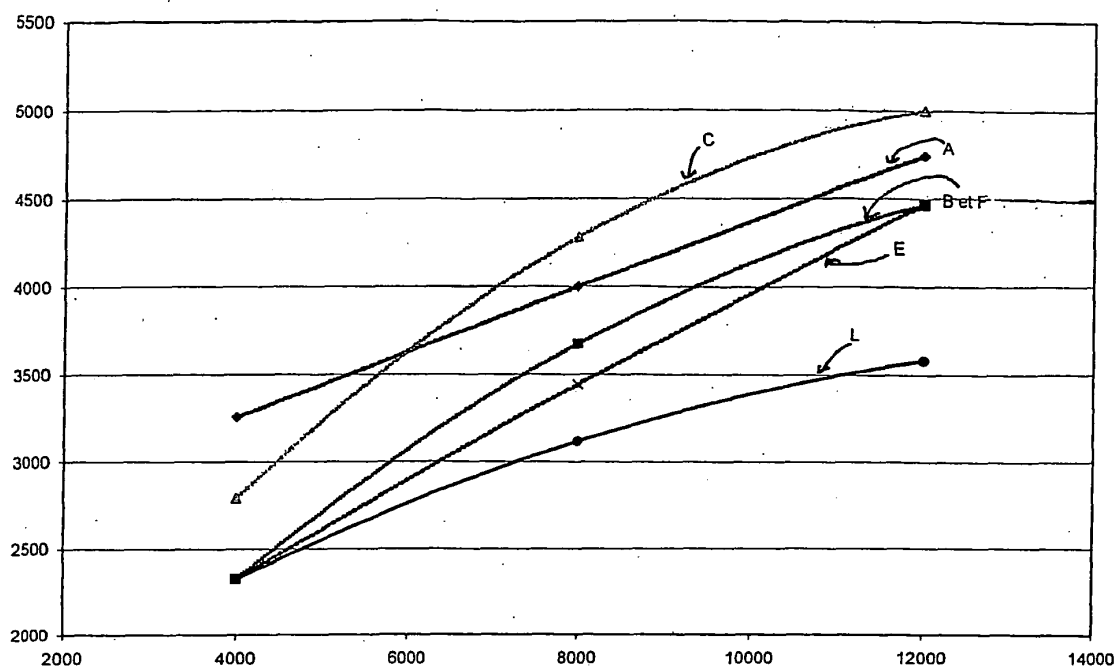


FIG. 5a

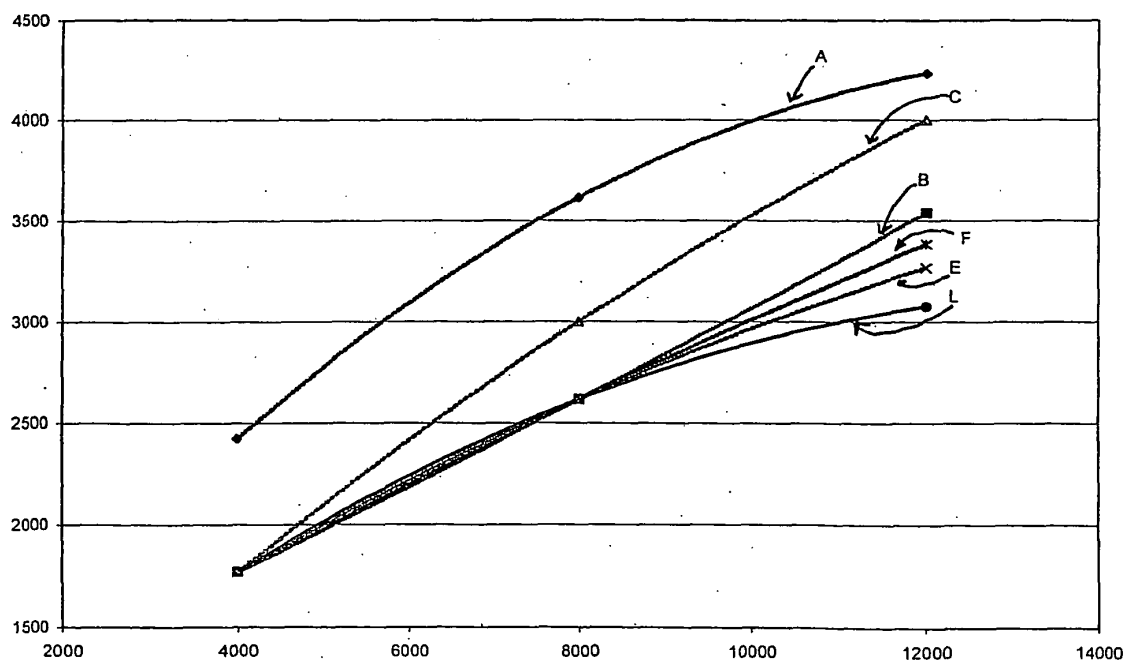


FIG. 5b

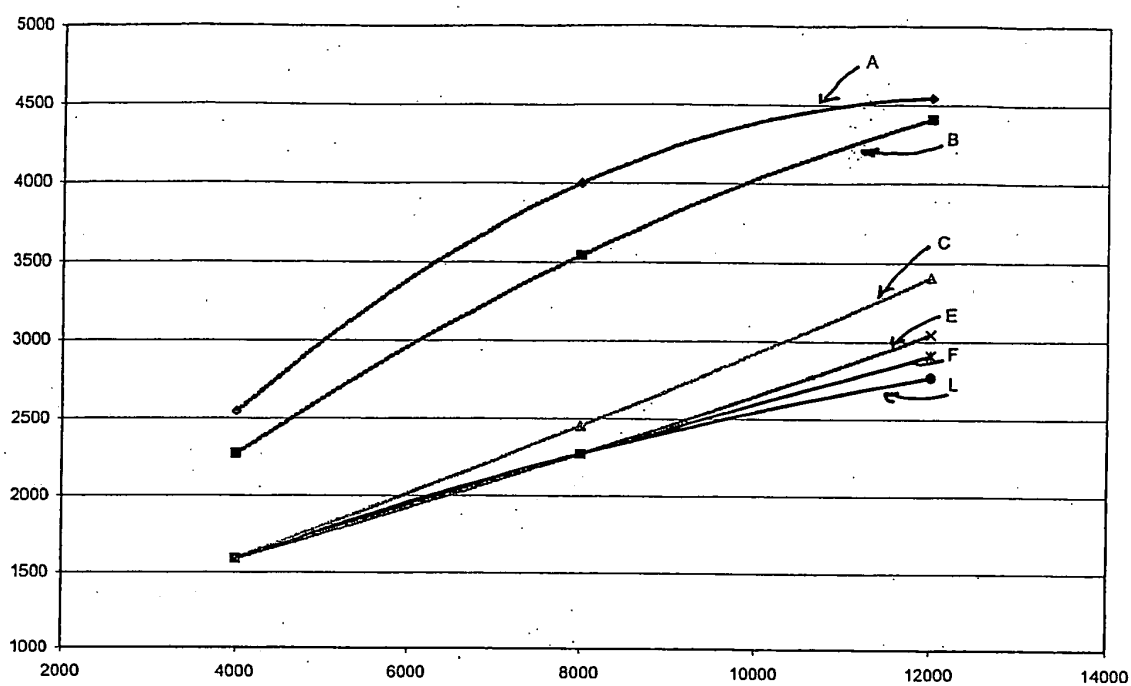


FIG. 6a

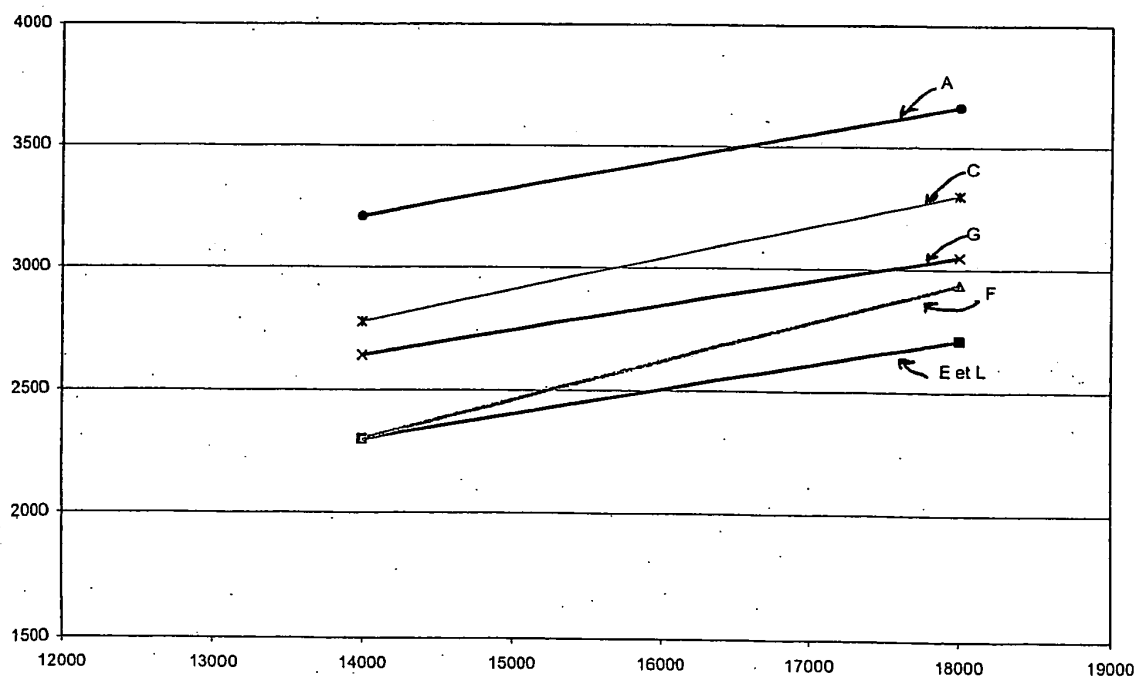


FIG. 6b

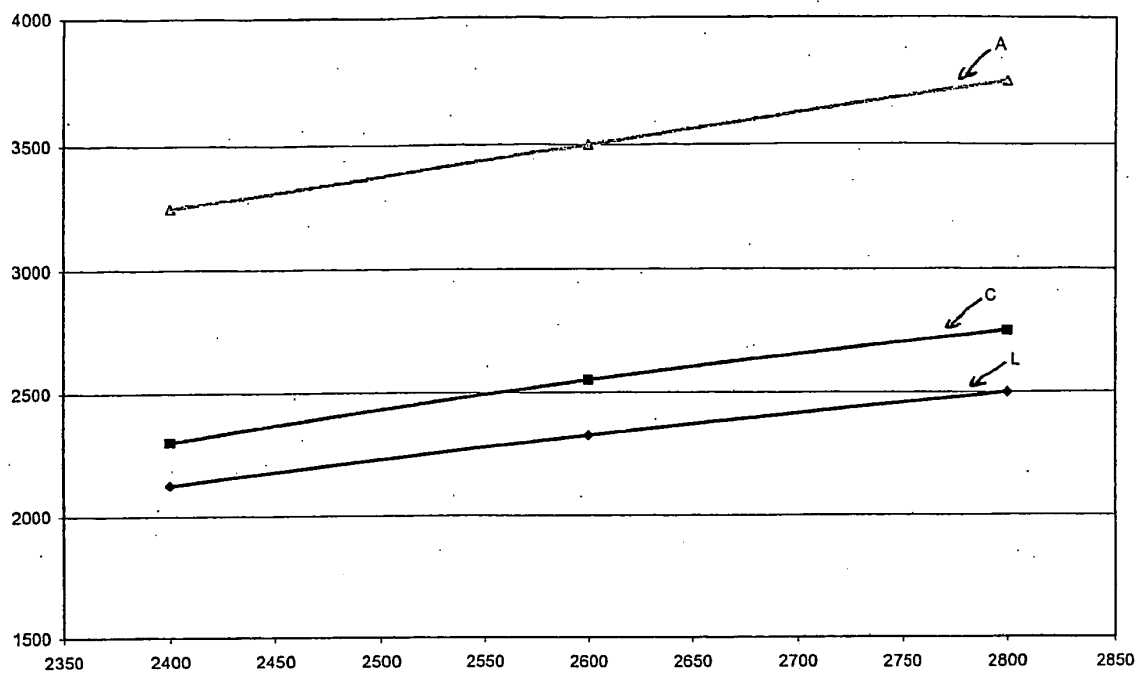


FIG. 7a

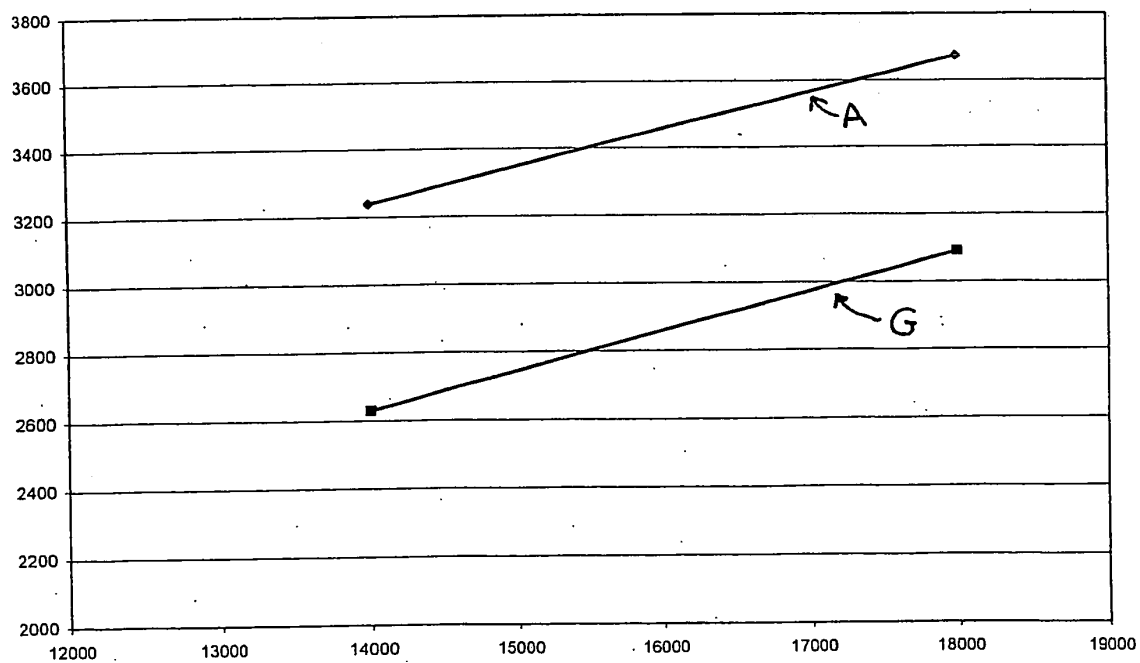


FIG. 7b