

(19)



(11)

EP 3 553 444 A1

(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:
16.10.2019 Bulletin 2019/42

(51) Int Cl.:
F28D 15/02 (2006.01) F28D 15/04 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **19168585.8**

(22) Date de dépôt: **11.04.2019**

(84) Etats contractants désignés:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Etats d'extension désignés:
BA ME
Etats de validation désignés:
KH MA MD TN

(30) Priorité: **11.04.2018 FR 1853172**

(71) Demandeur: **Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives**
75015 Paris (FR)

(72) Inventeurs:
• **GRUSS, Jean-Antoine**
38170 SEYSSINET (FR)
• **MARIOTTO, Mathieu**
38054 GRENOBLE CEDEX 09 (FR)

(74) Mandataire: **Brevalex**
95, rue d'Amsterdam
75378 Paris Cedex 8 (FR)

(54) **CALODUC A ARTERE A FONCTIONNEMENT AMELIORE**

(57) Caloduc à artère comportant un canal vapeur et un canal liquide s'étendant entre une première zone d'extrémité et une deuxième zone d'extrémité, et un empilement comprenant :

- deux plaques d'extrémité (18),
- n plaques ajourées (20), $n \geq 1$ comprenant une première fenêtre (24), les n premières fenêtres (24) délimitant en partie le canal vapeur et les n deuxièmes fenêtres (26) délimitant en partie le canal liquide,
- n+ 1 plaques rainurées (22), chaque plaque rainurée

(22) comportant des premières rainures (40), la plaque ajourée (20) étant interposée entre deux plaques rainurées (22), les premières rainures (40) s'étendant entre la première fenêtre (24) et la deuxième fenêtre (26),

- la première fenêtre (24) comportant des deuxièmes rainures (38) réalisées dans un bord intérieur du troisième montant (30), les deuxièmes rainures (38) étant disposées de sorte qu'elles relient deux premières rainures (40) de deux plaques rainurées (22).

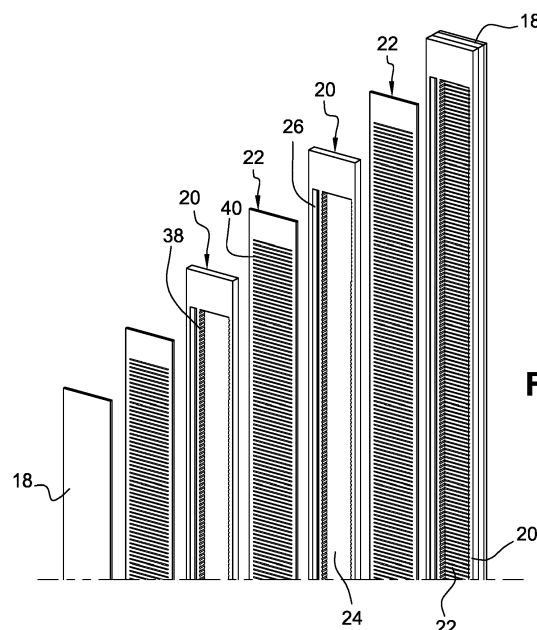


Fig. 3

EP 3 553 444 A1

Description

DOMAINE TECHNIQUE ET ÉTAT DE LA TECHNIQUE ANTÉRIEURE

[0001] La présente invention se rapporte à un caloduc à artère à fonctionnement amélioré.

[0002] L'invention appartient au domaine des dispositifs d'échange thermique, en particulier des caloducs, plus particulièrement des caloducs à artère.

[0003] Un caloduc comporte une enceinte hermétiquement close, un fluide de travail et un réseau capillaire. Lors de la fabrication, tout l'air présent dans le tube caloduc est évacué et on introduit une quantité de liquide permettant de saturer le réseau capillaire. Il y a alors établissement d'un équilibre entre la phase liquide et la phase vapeur.

[0004] Sous l'effet d'une source chaude appliquée à l'une des extrémités, désignée évaporateur, le liquide se vaporise en induisant une légère surpression qui provoque le mouvement de la vapeur vers la seconde extrémité, désignée condenseur. Au condenseur, la vapeur se condense et repasse en phase liquide. Le fluide condensé circule dans le réseau capillaire et revient vers l'évaporateur sous l'effet de forces capillaires. Le retour du fluide liquide de la zone condenseur à la zone évaporateur est obtenu par pompage capillaire.

[0005] Un caloduc à artère est un caloduc dans lequel le retour de la phase liquide de la zone condenseur à la zone évaporateur est physiquement séparé du canal dans lequel circule la vapeur de la zone évaporateur vers la zone condenseur. La circulation du liquide se fait dans une artère qui est adjacente au canal dans lequel circule la vapeur. Un exemple d'un tel caloduc est décrit dans le document US 4 422 501. Le canal est formé par un tube et l'artère est formée par un tube adjacent. Des rainures sont formées dans la face intérieure du canal de sorte à déboucher dans l'artère, qui assure l'écoulement du liquide du canal vers l'artère au niveau de la zone condenseur, et la réalimentation de la zone évaporateur du canal par le liquide. Les rainures assurent également la distribution dans la zone évaporateur pour maximiser le coefficient d'échange.

[0006] En séparant le flux liquide du flux vapeur, les interfaces liquide/vapeur dans la partie adiabatique du caloduc, le flux maximum d'entraînement des particules liquides par la vapeur est annihilé.

[0007] Un tel caloduc permet de fonctionner en l'absence de gravité, il est alors généralement utilisé dans le domaine spatial.

[0008] Les caloducs à artère peuvent connaître un désamorçage lié à l'apparition de bulle de vapeur dans l'artère liquide, empêchant la réalimentation en eau liquide du canal au niveau de la zone évaporateur. L'apparition de bulles de vapeur est due à la conduction de la chaleur de la zone évaporateur à l'artère via les parois du tube formant le canal.

[0009] En outre, un caloduc à artère comporte parfois

une platine support sur la surface extérieure du canal vapeur à l'opposé de l'artère et assurant l'apport de chaleur à la zone évaporateur et l'extraction, de chaleur à la zone condenseur.

5 [0010] On connaît également les caloducs cylindriques à rainures réentrantes utilisées principalement dans le domaine spatial dont une représentation schématique est visible sur la figure 7. La forme des rainures réentrantes est limitée par les contraintes mécaniques sur la
10 filière du procédé de fabrication par extrusion. Une vue de face et une vue arrière de cette filière sont représentées sur les figures 8A et 8B respectivement tirées du document Ömür, Cem, A. Bilge Uygur, İlhami Horuz, H. Gürgüç, İ. Ş. İ. k, Sadı k Ayan, et Murat Konar. 2018.
15 « Incorporation of manufacturing constraints into an algorithm for the determination of maximum heat transport capacity of extruded axially grooved heat pipes ». *International Journal of Thermal Sciences* 123 (January).

EXPOSÉ DE L'INVENTION

[0011] C'est par conséquent un but de la présente invention d'offrir un caloduc à artère présentant un fonctionnement amélioré, et présentant notamment un risque de désamorçage réduit.

[0012] Le but énoncé ci-dessus est atteint par caloduc à artère comportant un empilement comprenant entre
25 deux plaques d'extrémité, au moins une plaque structurée ou ajourée de sorte à délimiter un canal vapeur et un canal liquide ou artère et au moins deux plaques rainurées disposées de part et d'autre de la plaque structurée, les rainures mettant en communication le canal vapeur et l'artère. La plaque structurée comporte également des
30 rainures de sorte à relier une rainure d'une plaque rainurée à une rainure de l'autre plaque rainurée.

[0013] Grâce à l'invention, la conduction de la chaleur de la face du caloduc destinée à être chauffée vers l'artère est réduite, notamment à travers les plaques rainurées qui sont très fines et présentent des rainures. En effet, elles représentent une quantité de matériau conducteur réduite par rapport à des plaques non rainurées. Le risque de désamorçage est réduit.

[0014] De préférence, le caloduc comporte plusieurs plaques structurées, chacune entourée par deux plaques rainurées. Ainsi le canal vapeur est séparé en sous-canaux ainsi que le canal liquide. Chaque sous-canal vapeur est réalimenté en liquide par les rainures des plaques rainurées. Une réalimentation distribuée dans tout le canal vapeur et non pas uniquement sur les bords, est obtenue, la production de vapeur est améliorée. En outre les plaques rainurées assurent un drainage efficace du liquide vers le canal liquide dans la zone de condensation.

[0015] La réalisation d'un caloduc à artère par empilements de plaques est simplifiée par rapport à la réalisation d'un caloduc à artère de l'état de la technique comportant deux tubes parallèles, obtenu par extrusion. En
55

outre la réalisation de rainures est simplifiée.

[0016] En outre, la face destinée aux échanges thermiques est formée par un bord de l'empilement formé par les bords des plaques empilées. Ce bord est par exemple parallèle à la direction d'empilement. La face destinée aux échanges thermique peut donc être avantageusement plane ce qui peut favoriser les échanges thermiques et simplifier la mise en contact du caloduc avec une source chaude. En outre, cette face est formée directement lors de l'empilement. Il n'est donc pas requis de rajouter des faces planes, ce qui est le cas dans les caloducs à rainures de l'état de la technique dans lesquels des faces planes sont prévues sur la face extérieure des tubes, et pour lesquelles il existe une résistance thermique importante malgré le fait qu'elles sont en matériau conducteur thermique.

[0017] La présente invention a alors pour objet un caloduc à artère comportant une première face, dont une première zone d'extrémité est destinée à être échauffée et une deuxième zone d'extrémité est destinée à être refroidie, une deuxième face opposée à la première face, un canal vapeur et un canal liquide s'étendant entre la première zone d'extrémité et la deuxième zone d'extrémité, le caloduc comportant également un empilement de plaques comprenant :

- deux plaques d'extrémité,
- n plaques ajourées, $n \geq 1$, chaque plaque ajourée comprenant une première fenêtre comportant un premier montant du côté de la première face, une deuxième fenêtre comportant un deuxième montant du côté de la deuxième face et un troisième montant commun aux première et deuxième fenêtres, les n premières fenêtres délimitant en partie le canal vapeur et les n deuxièmes fenêtres délimitant en partie le canal liquide,
- n+ 1 plaques rainurées, chaque plaque rainurée comportant des premières rainures, la plaque ajourée étant interposée entre deux plaques rainurées, les premières rainures étant orientées par rapport à la plaque ajourée, de sorte que les premières rainures s'étendent entre la première fenêtre et la deuxième fenêtre, les premières rainures traversant l'épaisseur des plaques rainurées,
- la première fenêtre comportant des deuxièmes rainures réalisées dans un bord intérieur du troisième montant, les deuxièmes rainures étant disposées de sorte qu'elles relient une première rainure d'une plaque rainurée et une première rainure d'une autre plaque rainurée.

[0018] La première fenêtre peut comporter des troisièmes rainures réalisées dans un bord intérieur du premier montant, les troisièmes rainures étant disposées de sorte qu'elles relient une première rainure d'une plaque rainurée, et une première rainure d'une autre plaque rainurée formant avec une deuxième rainure, une rainure fermée bordant l'intérieur de la première fenêtre.

[0019] Avantageusement, l'épaisseur des n +1 plaques rainurées est comprise entre 0,5 mm et 1 mm et l'épaisseur des n plaques ajourées est comprise entre 0,5 mm et 5 mm.

5 **[0020]** Dans un exemple de réalisation, ou plusieurs plaques ajourées est ou sont formées par un ensemble de plaques ajourées fines assemblées les unes aux autres.

10 **[0021]** Les premières, deuxièmes et troisièmes rainures ont avantageusement une largeur comprise entre 0,2 mm et 0,5 mm.

[0022] Les n + 1 plaques rainurées peuvent comporter des rainures réparties uniformément de la première zone d'extrémité vers la deuxième zone d'extrémité.

15 **[0023]** Le caloduc peut comporter au moins deux plaques ajourées et trois plaques rainurées et le canal vapeur et le canal liquide sont divisés en sous canaux vapeur et en sous canaux liquide respectivement par des plaques rainurées, lesdits sous-canaux vapeur étant en communication entre eux par les premières rainures et les sous-canaux liquide étant en communication fluide-
20 que entre eux par les premières rainures.

[0024] La présente invention a également pour objet un procédé de fabrication d'un caloduc à artère comportant, à partir de plaques de dimensions extérieures
25 données :

Réalisation des plaques ajourées,
Réalisation des plaques rainurées,
30 Réalisation des plaques de fermeture,
Empilement desdites plaques de sorte qu'une plaque ajourée soit entourée de deux plaques rainurées, et que chaque plaque d'extrémité soit en contact direct avec une plaque rainurée,
35 Solidarisation desdites plaques de sorte à délimiter une enceinte étanche,
Remplissage partiel du caloduc avec un fluide sous forme liquide.

40 **[0025]** La réalisation chaque plaque ajourée peut comporter l'assemblage de plusieurs plaques fines.

[0026] Par exemple, les plaques comportent à coeur un alliage d'aluminium et sur ses faces extérieures un alliage d'aluminium eutectique à point de fusion inférieur à celui de l'alliage d'aluminium à coeur et la solidarisation est obtenue par brasure eutectique.

BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

50 **[0027]** La présente invention sera mieux comprise sur la base de la description qui va suivre et des dessins en annexe sur lesquels:

- la figure 1 est une vue en perspective d'un caloduc à artère selon un exemple de réalisation,
- la figure 2A est une vue en coupe selon un plan A-A orthogonal à l'axe du caloduc,
- la figure 2B est une vue en coupe selon un plan B-

B incliné par rapport au plan A-A,

- la figure 3 est une vue éclatée du caloduc de la figure 1,

- la figure 4 est une vue d'une plaque de l'empilement de la figure 3,

- la figure 5 est une vue d'une autre plaque de l'empilement de la figure 3,

- la figure 6 est une vue en coupe transversale d'un caloduc à artère de l'état de la technique,

- la figure 7 est une vue en coupe transversale d'un caloduc à rainures réentrantes de l'état de la technique,

- les figures 8A et 8B sont des vues avant et arrière de la filière utilisée pour réaliser les rainures réentrantes lors de la réalisation par extrusion du caloduc de la figure 7,

- la figure 9 est un graphique représentant les variations de limite capillaire L_c en Watt en fonction de l'inclinaison du caloduc de la figure 1 et du caloduc de la figure 6 utilisant l'eau comme fluide de travail, ceci à une température de 60°.

- la figure 10 est un graphique représentant les variations de la limite capillaire L_c en Watt en fonction de la température du caloduc dans le cas du caloduc de la figure 1 et du caloduc de la figure 6 utilisant de l'eau comme fluide de travail, ceci à une inclinaison de 0° par rapport à l'horizontale,

- La figure 11 est un graphique représentant les variations de la limite capillaire L_c en Watt en fonction de la température du caloduc dans le cas du caloduc de la figure 1 et du caloduc de la figure 7 utilisant de l'ammoniac comme fluide de travail, ceci à une inclinaison de 0° par rapport à l'horizontal.

EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS

[0028] Sur la figure 1, on peut voir une vue en perspective d'un caloduc selon un exemple de réalisation.

[0029] Dans l'exemple représenté, le caloduc à une forme parallélépipédique rectangle, cette forme n'est pas limitative, comme cela sera décrit dans la suite de la description.

[0030] Le caloduc s'étend le long d'un axe longitudinal X. Les axes Y et Z sont orthogonaux entre eux et à l'axe X. La direction Y correspond à l'épaisseur du caloduc et la direction Z correspond à la hauteur du caloduc.

[0031] Il comporte une première face 2 à travers laquelle les échanges thermiques vont avoir lieu, et une deuxième face 4 opposée à la première face 2. Les première et deuxième faces sont reliées par des parois latérales 6 et des parois d'extrémité 8.

[0032] La première face 2 comporte à une première extrémité longitudinale 2.1 une surface destinée à être en contact thermique avec une source de chaleur et désignée surface chaude, et à une deuxième extrémité longitudinale 2.2, une surface destinée à être en contact thermique avec une source froide, et désignée surface

froide.

[0033] L'apport de chaleur à la surface chaude est symbolisé par les flèches F.

[0034] Le caloduc comporte une zone de vaporisation ZV située dans le caloduc au droit de la surface chaude, une zone de condensation ZC située dans le caloduc au droit de la surface froide. La zone de vaporisation ZV et la zone de condensation ZC sont reliées par une zone adiabatique ZA

[0035] L'intérieur d'un caloduc à artère, comme celui de l'invention, est divisé en un canal CV dans lequel circule la vapeur de la zone de vaporisation à la zone de condensation, et un canal CL ou artère dans lequel circule le liquide de la deuxième extrémité à la première extrémité.

[0036] Sur les figures 2A et 2B, on peut voir une vue en coupe du caloduc. Le canal vapeur CV est divisé en sous-canaux 14, désignés sous-canaux vapeur, et le canal liquide CL est divisé en sous-canaux 16, désignés sous-canaux liquide.

[0037] Les sous-canaux vapeur 14 et les sous-canaux liquides 16 s'étendent entre la première extrémité et la deuxième extrémité. Comme cela sera expliqué ci-dessous, les sous-canaux vapeur sont en communication fluidique entre eux et les sous-canaux liquides sont en communication fluidique entre eux. En outre, les sous-canaux liquides sont en communication fluidique avec les sous-canaux vapeur. Le corps du caloduc est obtenu en empilant et en solidarissant des plaques de structure différente pour délimiter les canaux vapeur et liquide et établir les communications entre les canaux liquide et vapeur.

[0038] Dans l'exemple représenté, l'empilement d'axe Y comporte des plaques de trois types :

- des plaques d'extrémité 18 formant les parois latérales du caloduc et destinées à fermer de manière étanche les canaux,
- des plaques ajourées 20 structurées de sorte à délimiter la partie vapeur et la partie liquide,
- des plaques rainurées 22 délimitant les canaux et assurant la communication entre la partie vapeur et la partie liquide.

[0039] Dans l'exemple représenté, toutes les plaques 18, 20 et 22 ont les mêmes dimensions extérieures.

[0040] Les plaques d'extrémité 18 sont pleines. Au moins l'une d'entre elles comporte un ou deux orifices (non représentés) pour permettre de remplir le caloduc en fluide. Ce ou ces orifices sont ensuite obturés de manière étanche.

[0041] Les figures 3, 4 et 5 représentent les structures des plaques composant l'empilement formant le caloduc.

[0042] Les plaques ajourées, une plaque ajourée 20 est représentée seule sur la figure 4, comportent une première fenêtre 24 de plus grande taille et une deuxième fenêtre 26 de plus petite taille séparées par un montant intérieur 30. La première fenêtre 24 comporte un montant

extérieur 32 destiné à former une partie de la première surface. La deuxième fenêtre comporte un montant extérieur 34 destiné à former une partie de la deuxième surface. Le montant intérieur est parallèle aux deux montants extérieurs 32, 34.

[0043] La face du montant intérieur 30 du côté de la première fenêtre est également munie de rainures 38 s'étendant entre les deux faces de la plaque ajourée 20 et débouchant dans les deux faces. De manière avantageuse, la face intérieure 32.1 du montant extérieur 32 est munie de rainures 36 s'étendant entre les deux faces de la plaque ajourée 20 et débouchant dans les deux faces.

[0044] Dans un exemple avantageux, la plaque ajourée 20 comporte plusieurs plaques identiques plus fines ajourées assemblées ensemble, ce qui permet de simplifier la fabrication, par exemple lorsque la plaque ajourée a une épaisseur supérieure à 1 mm.

[0045] Les plaques rainurées 22, dont une est représentée seule sur la figure 5, comporte des rainures 40 s'étendant dans la direction Z et de dimension le long de l'axe Z suffisante pour être à la fois dans les canaux vapeur et dans les canaux liquide. Les rainures ne débouchent pas au niveau des extrémités de la plaque 22 dans la direction Z. les rainures sont traversantes dans la direction Y, i.e. elles traversent l'épaisseur de la plaque.

[0046] Les rainures 40 permettent d'une part une communication entre les sous-canaux vapeur entre eux à travers les rainures 40, et d'autre part la communication entre les sous-canaux liquide et les sous-canaux vapeur le long des rainures 40 selon la direction Z.

[0047] L'empilement comporte deux plaques rainurées 22' en contact avec les plaque de fermeture 18, les rainures 40' présente un fond fermé, ces rainures ne servent qu'à la circulation entre les sous-canaux liquide et les sous-canaux vapeur. L'empilement comporte des plaques rainures 22 intercalaires disposées dans la largeur des canaux vapeur et liquide dans la direction Y.

[0048] En outre l'espacement entre les rainures 40 le long de la direction X est identique à celui des rainures 36 et 38 de sorte qu'une fois les plaques empilées, chaque rainure 40 est dans le même plan qu'une rainure 36 et une rainure 38 formant alors une rainure continue bordant l'intérieur d'un canal vapeur. Il y a donc autant de rainures 40 que de rainures 36 et 38. Les profondeurs des rainures 36, 38 et 40 sont avantageusement égales.

[0049] L'empilement alterne les plaques ajourées 20, d'un seul tenant ou comportant une pluralité de plaques fines ajourées, et les plaques rainurées 22. Ainsi chaque plaque ajourée, d'un seul tenant ou comportant une pluralité de plaques fines ajourées, est entourée de deux plaques rainurées 22.

[0050] Sur la figure 2A, on peut voir la structure intérieure du caloduc obtenue par l'empilement des plaques. Chaque plaque ajourée, d'un seul tenant ou comportant une pluralité de plaques fines ajourées, délimite avec deux plaques rainurées, un sous-canal vapeur et un sous-canal liquide séparé par le montant intérieur. L'em-

pilement des montants intérieurs 30 forme une paroi de séparation entre le canal liquide et le canal vapeur.

[0051] Les rainures 40 permettent au liquide de passer entre le canal vapeur et le canal liquide et entre les sous-canaux liquides entre eux et entre les sous-canaux vapeurs entre eux. Sur la figure 2B, on peut voir la rainure traversant la paroi transversale séparant le canal liquide du canal vapeur.

[0052] Les plaques ajourées, d'un seul tenant ou comportant une pluralité de plaques fines ajourées, sont plus épaisses que les plaques rainurées, elles assurent la rigidité du caloduc. Les plaques rainurées sont réalisées avantageusement les plus fines possible de sorte à réduire la quantité de matériau conducteur thermique entre la surface chaude et les canaux liquide, et réduire les risques d'apparition des bulles de vapeur dans les canaux liquides.

[0053] Par exemple, les rainures ont une largeur de 0,2 mm et une profondeur de 0,2 mm égale à l'épaisseur des plaques rainurées. La distance entre les rainures est de 0,8 mm.

[0054] La largeur des rainures est par exemple comprise entre 0,2 mm et 1 mm, et la profondeur des rainures est par exemple comprise entre 0,2 mm et à 1 mm. L'épaisseur des plaques ajourées d'un seul tenant est par exemple comprise entre 0,5 mm et 5 mm. Dans le cas des plaques ajourées comportant un ensemble de plaques plus fines, par exemple lorsque les plaques ajourées ont une épaisseur supérieure à 1 mm, les plaques plus fines ont par exemple une épaisseur comprise entre 0,5 mm et 1 mm. L'épaisseur des plaques rainurées est égale à la profondeur des rainures, elle est donc par exemple comprise entre 0,2 et 1 mm.

[0055] La distance entre les rainures est par exemple comprise entre 0, 5 mm et 10 mm.

[0056] L'intervalle entre rainures est compris par exemple entre 0,5 mm à 10 mm

Les plaques sont solidarisées entre elles de manière étanche, par exemple par soudure diffusion, collage...la technique d'assemblage dépendant des matériaux des plaques.

[0057] L'empilement comporte au moins deux plaques rainurées 22 et une plaque ajourée 20, et de préférence au plus dix plaques rainurées 22 et neuf plaques ajourées 20, d'un seul tenant ou comportant une pluralité de plaques fines ajourées.

[0058] Les fluides de remplissage mis en oeuvre dans le caloduc et destinés à se vaporiser et à se condenser, utilisables, sont des fluides utilisés de manière connue dans les caloducs. Le fluide est choisi en fonction de la gamme de température de fonctionnement et de stockage du dispositif. En outre, peuvent être pris en compte d'autres critères tels que la pression, l'inflammabilité, la toxicité du fluide. Le fluide est également choisi de sorte qu'il soit compatible avec les matériaux des plaques et le mode d'assemblage.

[0059] A titre d'exemple, dans le cas d'un caloduc réalisé en alliage d'aluminium assemblé par brasure eutec-

tique, l'ammoniac, l'acétone, le méthanol, le n-heptane, le R134a et autres fluides frigorigènes fluorés peuvent être utilisés.

[0060] Le fonctionnement du caloduc va maintenant être décrit.

[0061] La zone vaporisateur ZV est échauffée par la source chaude à travers la surface chaude, le fluide situé dans les sous-canaux vapeurs est vaporisé, et se déplace en direction de la zone de condensation ZC à travers la zone adiabatique dans les sous-canaux vapeur. La vapeur qui arrive à la zone de condensation est refroidie à travers la surface 2.2, la vapeur se condense et le liquide se dépose sur les parois des sous-canaux vapeur, sur les faces intérieures des montants 30 et 32 et sur les plaques rainurées 22 et 22'. Le liquide s'écoule alors vers les sous-canaux liquides dans les rainures 40. Les rainures 36 et 38 aident au drainage du liquide dans la zone de condensation vers les canaux liquide. Les plaques rainurées intercalaires assurent une collecte du liquide au centre du canal vapeur, les plaques 22' assurent une collecte du liquide sur les parois latérales du canal vapeur, et les rainures 40, 40' drainent le liquide vers le canal liquide.

[0062] Le liquide situé dans les sous-canaux liquide au niveau de la deuxième extrémité du caloduc circule vers la première extrémité du caloduc dans les sous-canaux liquide. Le liquide se trouve alors dans les sous-canaux liquides au droit de la zone de vaporisation. Le liquide réalimente alors la zone de vaporisation en migrant par capillarité des sous-canaux liquides aux sous-canaux vapeurs dans les rainures 40, puis circule dans les rainures 36 et est à nouveau vaporisé. Les rainures 40 des plaques rainurées intercalaires assurent une réalimentation en liquide de la zone de vaporisation au centre du canal et les rainures 40' assurent une circulation du liquide sur les parois latérales du canal vapeur. Les rainures 38 participent à la distribution du liquide qui s'évapore sur toute la largeur du canal vapeur. Les rainures 36 assurent la distribution du liquide non encore évaporé à proximité de la source chaude sur la largeur du canal vapeur. Les rainures 36 et 38 augmentent les surfaces d'évaporation.

[0063] Selon une variante, les plaques 22' sont omises aux extrémités, néanmoins l'équilibre thermique des cellules des bords peut être affecté.

[0064] La réalimentation en liquide de la zone de vaporisation et la collecte du liquide dans la zone de condensation sont améliorées, optimisant le fonctionnement du caloduc à artère.

[0065] La communication entre les sous-canaux vapeurs permet en outre un équilibrage des pressions. La communication entre les sous-canaux liquides permet une répartition uniforme du liquide dans toute la largeur du canal liquide.

[0066] En outre, la distance entre la paroi chauffée 2 et l'artère permet d'éviter de trop chauffer l'artère et l'apparition de bulles de vapeur dans celle ci

Du fait de la structure du caloduc, les plaques rainurées

peuvent être réalisées très fines et sont en outre munies d'un grand nombre de rainures, la quantité de matériau pour conduire la chaleur de la première face vers les sous-canaux liquides est donc réduite, ce qui réduit les risques d'échauffements du liquide dans les sous-canaux liquides et l'apparition de bulles de vapeur, qui conduirait au désamorçage du caloduc. Le caloduc présente alors un fonctionnement amélioré par rapport à ceux de l'état de la technique. Le nombre et l'espacement des rainures sont choisis de sorte à assurer l'intégrité de la plaque rainurée et limiter les pertes de charge.

[0067] Les rainures favorisent le pompage capillaire de la zone liquide vers la zone vapeur. Ainsi le risque de non alimentation en liquide de la zone de vaporisation est réduit. Plus le pompage du canal liquide vers le canal vapeur est favorisé, plus le retour du liquide dans les sous-canaux liquides est favorisé.

[0068] De manière préférée, les rainures sont présentes sur toute la plaque rainurée entre la zone de vaporisation et la zone de condensation, limitant le transfert de chaleur entre la face 2 et la face 4.

[0069] Dans l'exemple représenté, le canal vapeur et le canal liquide sont divisées en plusieurs sous-canaux par des plaques rainurées intercalaires, un caloduc dans lequel le canal vapeur et le seul canal liquide ne sont pas divisés en sous-canaux, i.e. comportant une plaque ajourée entourée de deux plaques rainurées et deux plaques d'extrémité ne sort pas du cadre de la présente invention.

[0070] En outre, les rainures 40 peuvent être inclinées par rapport à la direction Z, En outre, les rainures peuvent ne pas être parallèles entre elles.

[0071] Le caloduc selon l'invention peut être réalisé en différents matériaux tels que, par exemple un alliage d'aluminium, en cuivre, en acier inoxydable.

[0072] La technique d'assemblage des tôles dépend du matériau.

[0073] Par exemple, dans le cas de plaques en alliage d'aluminium, on peut utiliser la brasure sous vide avec tôles cladées, la brasure au bain de sel, la brasure sous gaz inerte, le soudage par ultrasons, le collage...

[0074] Dans le cas de plaque en cuivre, en acier inoxydable ou en superalliage, on peut utiliser la soudure diffusion, la brasure diffusion, le collage...

[0075] A titre d'exemple, l'assemblage de plaques en alliage d'aluminium est obtenu par brasure eutectique. On utilise de manière connue des plaques en alliage d'aluminium dont une ou les deux faces est ou sont revêtue(s) d'un alliage aluminium à plus bas point de fusion.

[0076] Par exemple, on utilise une tôle en alliage de la série AA3xxxx à cœur, avec un revêtement avec un alliage eutectique de la série AA4xxxx comprenant du silicium à plus bas point de fusion.

[0077] Le revêtement se fait typiquement par une technique de roll-bond.

[0078] L'épaisseur totale des plaques est typiquement de 0,05 mm à 5 mm, avec un revêtement typiquement de 5% à 10% de l'épaisseur totale.

[0079] En pressant à chaud deux plaques d'aluminium

ainsi revêtues à une température supérieure à la température de fusion de l'eutectique, mais inférieure à la température de l'alliage à coeur, l'alliage eutectique en surface fond et forme un alliage de brasure d'assemblage étanche entre les deux plaques.

[0080] Nous allons maintenant comparer les performances de caloducs selon l'invention et de caloducs à pompage capillaire de l'état de la technique.

[0081] Un premier caloduc à pompage capillaire de l'état de la technique avec rainures rectangulaires comporte des rainures longitudinales 610, tel que représenté sur la figure 6. Celui-ci est réalisé par extrusion.

[0082] Chaque caloduc présente une longueur de l'évaporateur de 50 mm, une longueur de la zone adiabatique de 100 mm, une longueur du condenseur de 110 mm

Chaque caloduc est réalisé en cuivre. La température moyenne du caloduc est de 60°C, qui est approximativement la température vapeur dans la zone adiabatique de caloduc.

[0083] Le caloduc à pompage capillaire à rainures rectangulaires de la figure 6 de l'état de la technique présente les caractéristiques suivantes :

Diamètre intérieur Di : 10 mm,
Diamètre extérieur De : 12 mm,
Largeur de rainure Le: 0,2 mm,
Profondeur de rainure Pe : 0,2 mm,
Nombre de rainures : 44.

[0084] Le caloduc à artère selon l'invention présente les caractéristiques suivantes (figure 2A) :

Dimension extérieure Le: 12 mm,
Hauteur extérieure He: 12 mm,
Largeur du canal vapeur Lv : 10 mm,
Hauteur du canal vapeur Hv : 7,5 mm,
Largeur du canal liquide Ll: 10 mm,
Hauteur du canal liquide Hl : 1,5 mm,
Largeur de rainures Lr : 0,2 mm,
Profondeur des rainures Pr: 0,5 mm.

[0085] Sur la figure 9, on peut voir la variation de la limite capillaire Lc en Watt en fonction de l'angle d'inclinaison α du caloduc en °, i.e. l'inclinaison de l'axe X par rapport à la direction horizontale. La courbe I correspond à l'invention et la courbe II au caloduc selon l'invention. Les valeurs d'inclinaison négatives correspondent à des positions du caloduc dans lesquelles l'évaporateur est au-dessus du condenseur. Le fluide est de l'eau.

[0086] On constate que le caloduc selon l'invention est sensiblement plus performant que le caloduc à rainures rectangulaires de l'état de la technique, quelle que soit l'inclinaison du caloduc.

[0087] Sur la figure 10, on peut voir la variation de la limite capillaire Lc en Watt en fonction de la température moyenne adiabatique du caloduc. La courbe I' correspond à l'invention et la courbe II' au caloduc selon l'in-

vention. Le fluide est de l'eau. Le caloduc est à l'horizontal.

[0088] On constate que le caloduc selon l'invention est sensiblement plus performant que le caloduc de l'état de la technique, quelle que soit la température du caloduc.

[0089] Sur la figure 7, on peut voir un deuxième caloduc à pompage capillaire cylindrique de l'état de la technique, à rainures réentrantes longitudinales, tel que représenté. Celui-ci est réalisé par extrusion.

[0090] Chaque caloduc présente une longueur de l'évaporateur de 200 mm, une longueur de la zone adiabatique de 600 mm, une longueur du condenseur de 200 mm

[0091] Chaque caloduc est réalisé en alliage d'aluminium. La température moyenne du caloduc est de 60°C.

[0092] Le caloduc cylindrique à pompage capillaire à rainures réentrantes de la figure 7 de l'état de la technique présente les caractéristiques suivantes :

Diamètre intérieur Di : 8,5 mm,
Diamètre extérieur De : 13,2 mm,
Largeur de rainure Le: 0,5 mm,
Diamètre des canaux réentrants : 1,1 mm,
Nombre de rainures : 21.

[0093] Le caloduc plat à artère selon l'invention présente les caractéristiques suivantes (figure 2A) :

Dimension extérieure Le: 13,2 mm,
Hauteur extérieure He: 13,2 mm,
Largeur du canal vapeur Lv : 10,2 mm,
Hauteur du canal vapeur Hv : 3,6 mm
Largeur du canal liquide Ll: 10,2 mm,
Hauteur du canal liquide Hl : 2,5 mm,
Largeur de rainures Lr : 0,5 mm,
Profondeur des rainures Pr: 0,5 mm.

[0094] Sur la figure 11, on peut voir la variation de la limite capillaire Lc en Watt en fonction de la température moyenne adiabatique du caloduc. La courbe I' correspond à l'invention et la courbe II' au caloduc selon l'invention. Le fluide est de l'ammoniac.

[0095] On constate que le caloduc selon l'invention est sensiblement plus performant que le caloduc de l'état de la technique, quelle que soit la température du caloduc.

[0096] Il sera compris que les différents exemples et variantes de réalisation ne sont pas exclusives les uns des autres et peuvent être combinées tout ou en partie.

[0097] Un exemple de procédé de réalisation va maintenant être décrit.

[0098] Des plaques en un matériau données sont découpées suivant la forme extérieure souhaitée pour le caloduc.

[0099] Lors d'une étape suivante, les fenêtres sont réalisées dans toutes les plaques ajourée 20, d'un seul tenant ou comportant une pluralité de plaques fines ajourées. Les fenêtres sont réalisées par exemple par poinçonnage, découpe laser, par découpe au jet d'eau ou

par gravure chimique traversante...

[0100] Les rainures sont réalisées dans les plaques 22, par exemple par usinage mécanique ou gravure chimique.

[0101] Les plaques sont ensuite empilées en alternant les plaques ajourées 20, d'un seul tenant ou comportant une pluralité de plaques fines ajourées, et les plaques rainurées 22, de sorte à délimiter les sous-canaux vapeur et les sous-canaux liquide. Des plaques rainurées 22 sont disposées aux extrémités de sorte que les canaux d'extrémité comportent également des rainures sur leurs deux faces, et ensuite des plaques de fermetures sont disposées sur les plaques rainurées 22 pour fermer latéralement les canaux. Les plaques sont assemblées, la technique d'assemblage étant choisie en fonction du ou des matériaux des plaques, par exemple soudage, brasage, collage...l'assemblage des plaques est étanche.

[0102] Le caloduc est ensuite rempli. Un orifice de remplissage a été ménagé dans une des plaques de fermeture lors de la fabrication des plaques. Le fluide est choisi en fonction des conditions de fonctionnement du caloduc (température de fonctionnement...) et de la compatibilité avec le ou les matériaux du caloduc.

[0103] La réalisation d'un caloduc selon l'invention est simplifiée par rapport à celle de caloducs à artère de l'état de la technique.

[0104] En outre la forme parallélépipédique du caloduc, ou au moins muni de faces planes peut faciliter son intégration. De plus elle lui confère une souplesse et un degré de liberté dans sa réalisation.

Revendications

1. Caloduc à artère comportant une première face (2) dont une première zone d'extrémité est destinée à être chauffée et une deuxième zone d'extrémité est destinée à être refroidie, une deuxième face (4) opposée à la première face, un canal vapeur (CV) et un canal liquide (CL) s'étendant entre la première zone d'extrémité et la deuxième zone d'extrémité, dans lequel le caloduc comporte également un empilement de plaques comprenant :

- deux plaques d'extrémité (18),
- n plaques ajourées (20), $n \geq 1$, chaque plaque ajourée comprenant une première fenêtre (24) comportant un premier montant (32) du côté de la première face (2), une deuxième fenêtre (26) comportant un deuxième montant (34) du côté de la deuxième face (4) et un troisième montant (30) commun aux première (24) et deuxième (26) fenêtres, les n premières fenêtres (24) délimitant en partie le canal vapeur (CV) et les n deuxièmes fenêtres (26) délimitant en partie le canal liquide (CL),
- n+ 1 plaques rainurées (22), chaque plaque

rainurée (22) comportant des premières rainures (40), la plaque ajourée (20) étant interposée entre deux plaques rainurées (22), les premières rainures (40) étant orientées par rapport à la plaque ajourée (20), de sorte que les premières rainures (40) s'étendent entre la première fenêtre (24) et la deuxième fenêtre (26), les premières rainures (40) traversant l'épaisseur des plaques rainurées (22),

- la première fenêtre (24) comportant des deuxièmes rainures (38) réalisées dans un bord intérieur du troisième montant (30), les deuxièmes rainures (38) étant disposées de sorte qu'elles relient une première rainure (40) d'une plaque rainurée (22) et une première rainure (40) d'une autre plaque rainurée (22).

2. Caloduc à artère selon la revendication 1, dans lequel la première fenêtre (24) comporte des troisièmes rainures (36) réalisées dans un bord intérieur du premier montant (32), les troisièmes rainures (36) étant disposées de sorte qu'elles relient une première rainure (40) d'une plaque rainurée (22) et une première rainure (40) d'une autre plaque rainurée (22) formant avec une deuxième rainure (38), une rainure fermée bordant l'intérieur de la première fenêtre (24).

3. Caloduc à artère selon la revendication 1 ou 2, dans lequel l'épaisseur des n + 1 plaques rainurées (22) est comprise entre 0,5 mm et 1 mm et l'épaisseur des n plaques ajourées (20) est comprise entre 0,5 mm et 5 mm.

4. Caloduc à artère selon la revendication 1, 2 ou 3, dans lequel un ou plusieurs plaques ajourées est ou sont formées par un ensemble de plaques ajourées fines assemblées les unes aux autres.

5. Caloduc à artère selon l'une des revendications 1 à 4, dans lequel les premières (40), deuxièmes (38) et troisièmes (36) rainures ont une largeur comprise entre 0,2 mm et 0,5 mm.

6. Caloduc à artère selon l'une des revendications 1 à 5, dans lequel les n + 1 plaques rainurées (22) comportent des rainures (40) réparties uniformément de la première zone d'extrémité vers la deuxième zone d'extrémité.

7. Caloduc à artère selon l'une des revendications 1 à 6, dans lequel $n \geq 2$ et dans lequel le canal vapeur (CV) et le canal liquide (CL) sont divisés en sous canaux vapeur (14) et en sous canaux liquide (16) respectivement par des plaques rainurées, lesdits sous-canaux vapeur (14) étant en communication entre eux par les premières rainures (22) et les sous-canaux liquide (16) étant en communication fluidique entre eux par les premières rainures (22).

8. Procédé de fabrication d'un caloduc à artère selon l'une des revendications 1 à 7, ledit procédé comportant, à partir de plaques de dimensions extérieures données :

5

- réalisation des plaques ajourées,
- réalisation des plaques rainurées,
- réalisation des plaques de fermeture,
- empilement desdites plaques de sorte qu'une plaque ajourée soit entourée de deux plaques rainurées, et que chaque plaque d'extrémité soit en contact direct avec une plaque rainurée,
- solidarisation desdites plaques de sorte à délimiter une enceinte étanche,
- remplissage partiel du caloduc avec un fluide sous forme liquide.

10

15

9. Procédé de fabrication selon la revendication 8, dans lequel la réalisation chaque plaque ajourée comporte l'assemblage de plusieurs plaques fines.

20

10. Procédé de fabrication selon la revendication 8 ou 9, dans lequel les plaques comportent à coeur un alliage d'aluminium et sur ses faces extérieures un alliage d'aluminium eutectique à point de fusion inférieur à celui de l'alliage d'aluminium à coeur et dans lequel la solidarisation est obtenue par brasure eutectique.

25

30

35

40

45

50

55

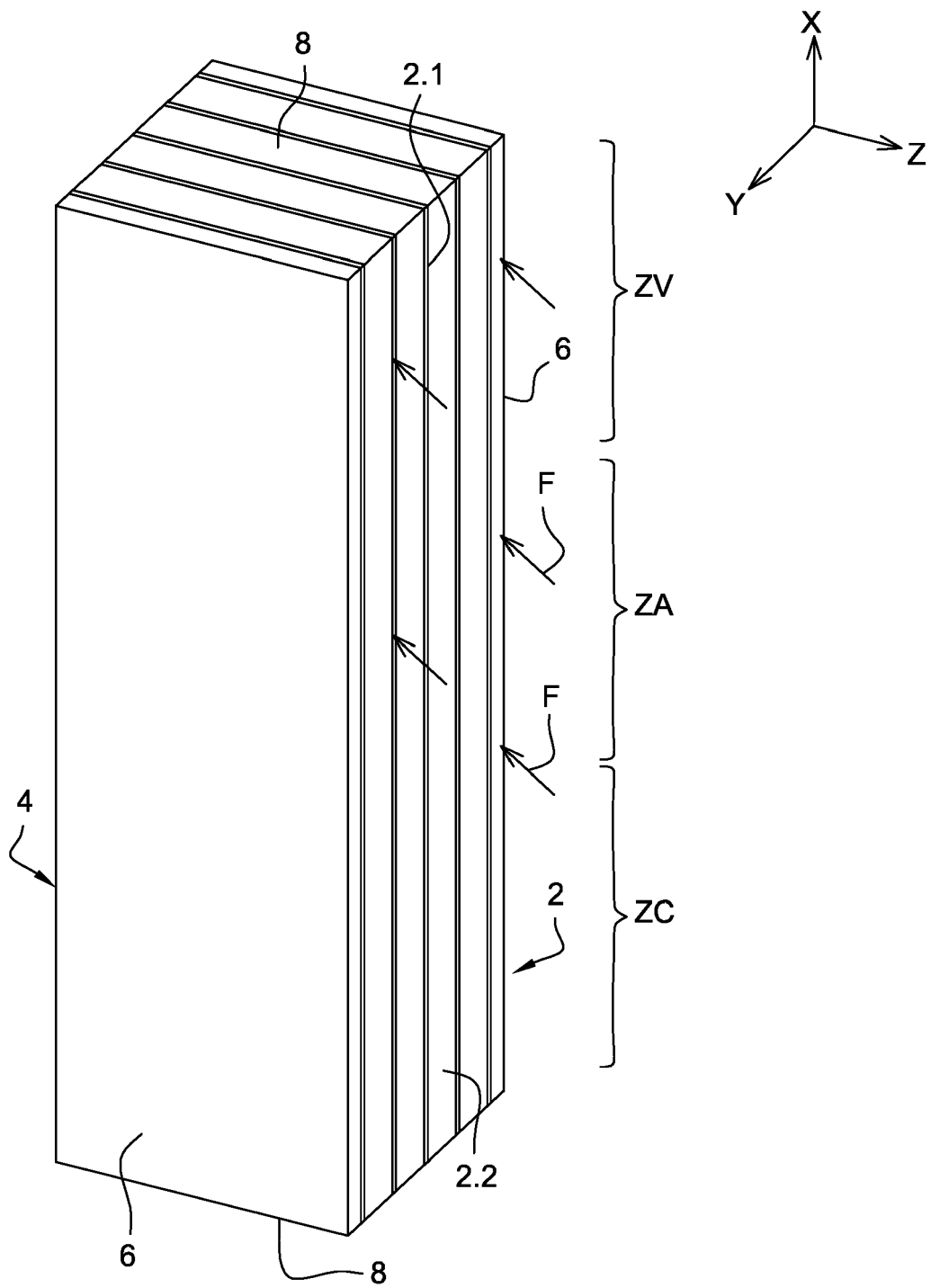


Fig. 1

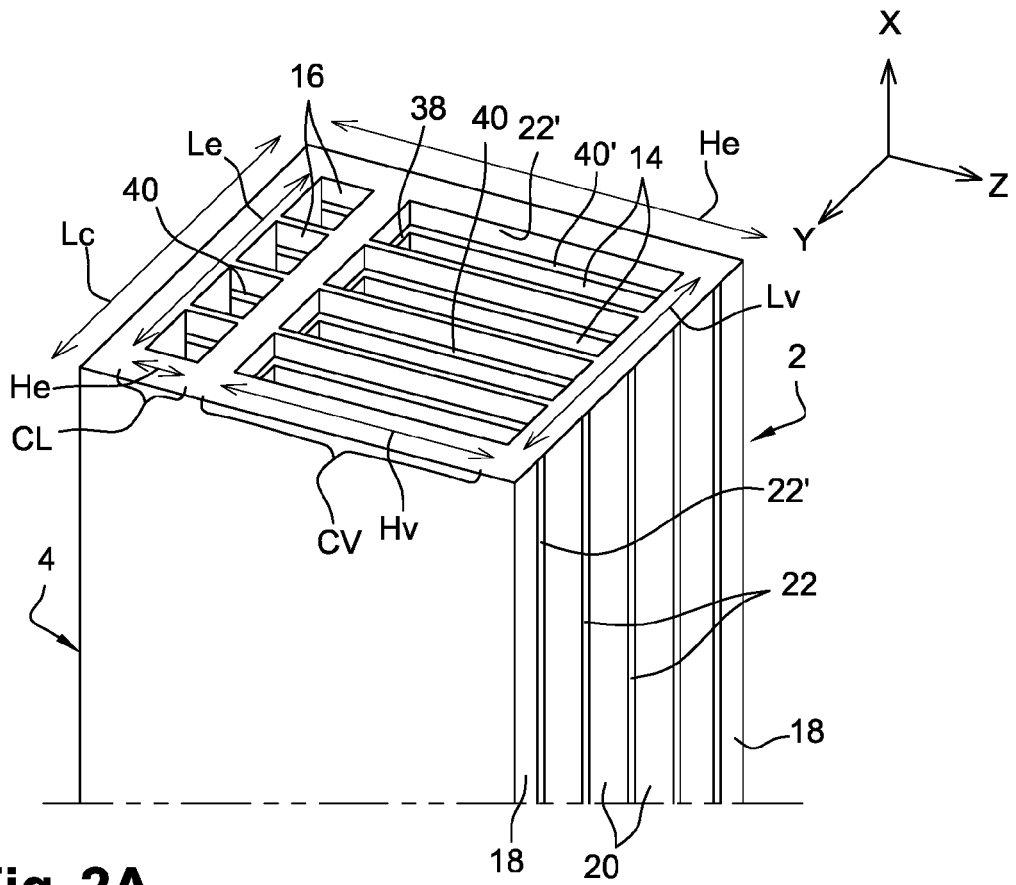


Fig. 2A

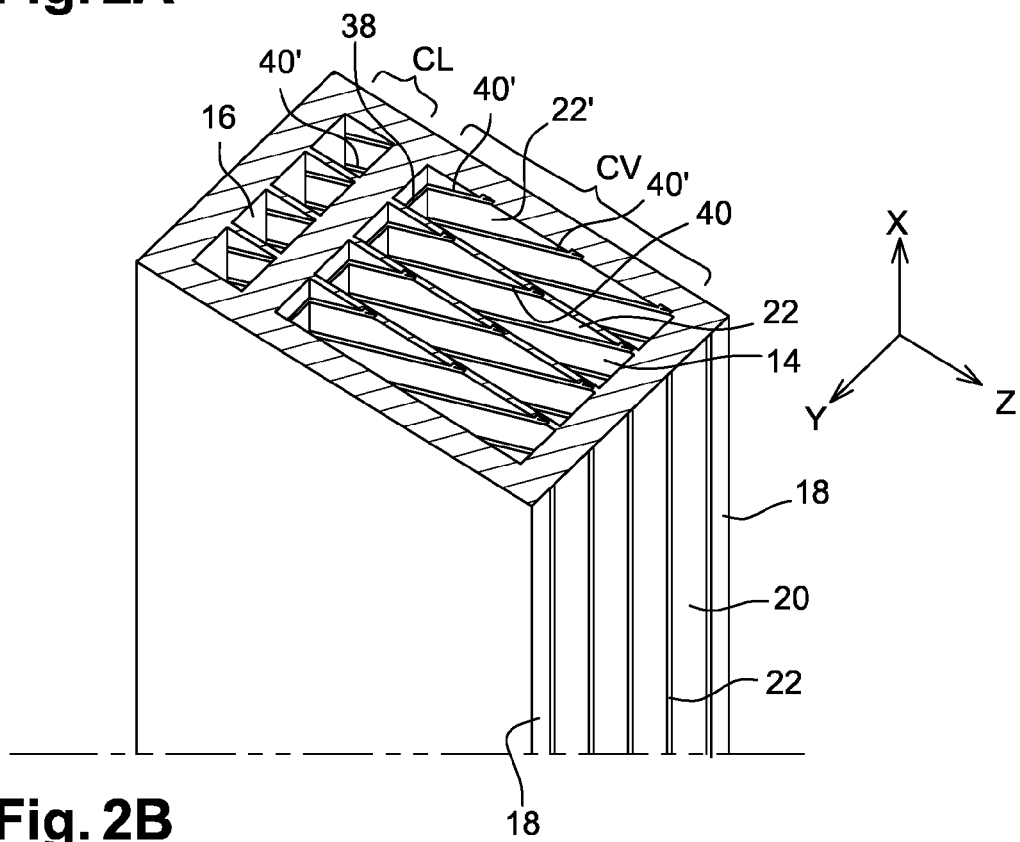


Fig. 2B

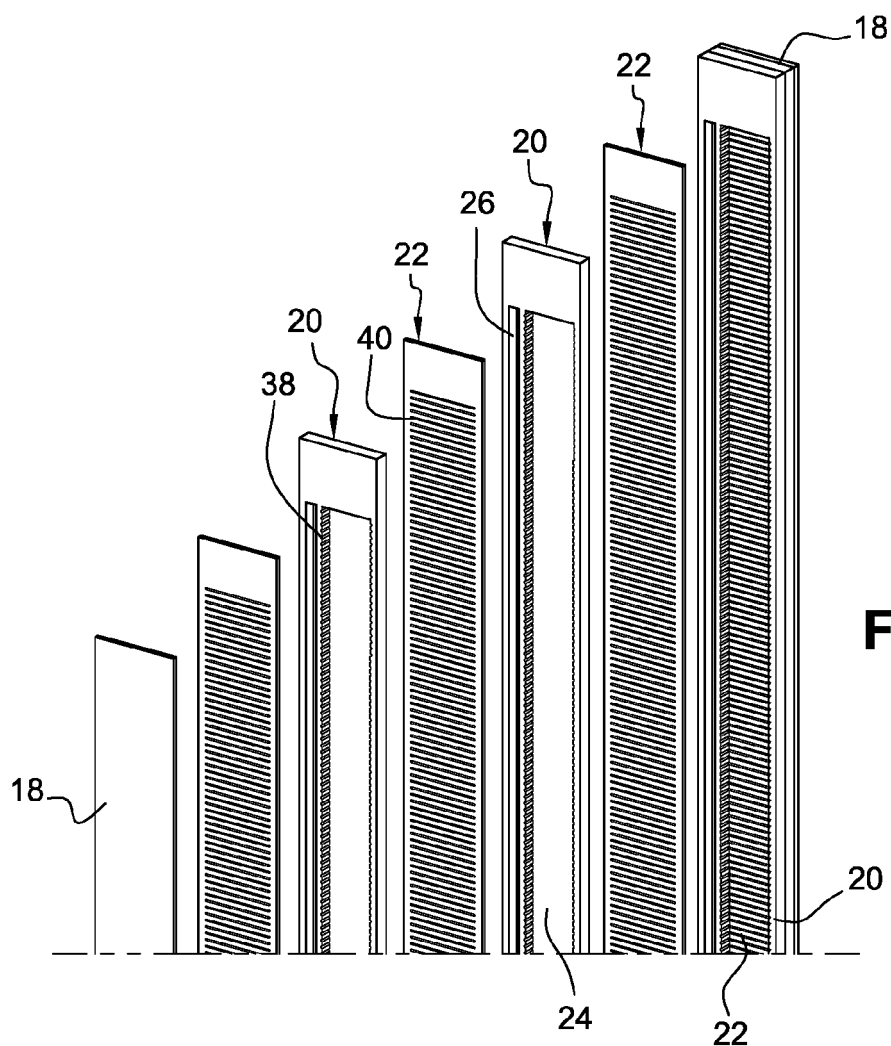


Fig. 3

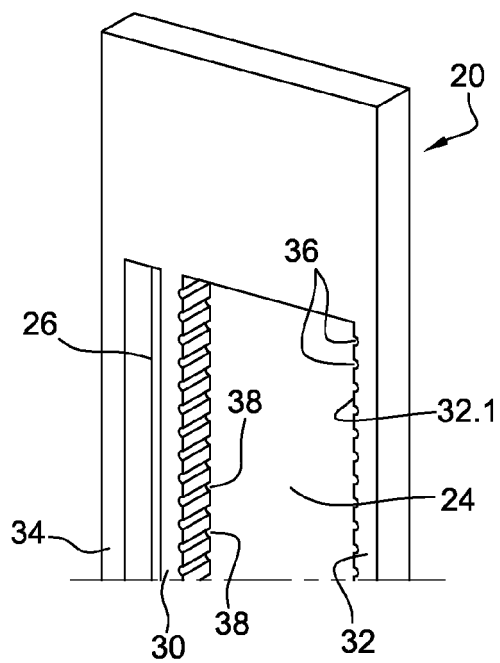


Fig. 4

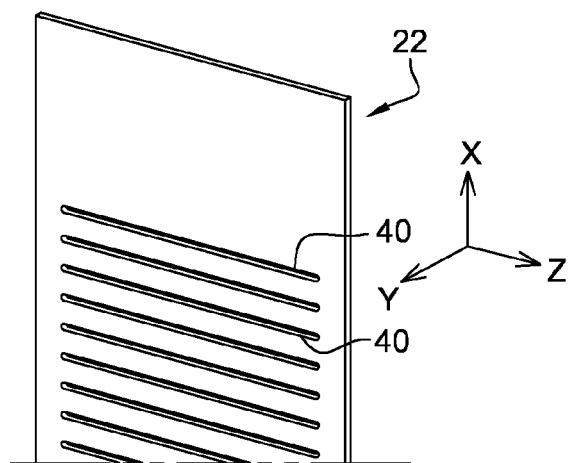


Fig. 5

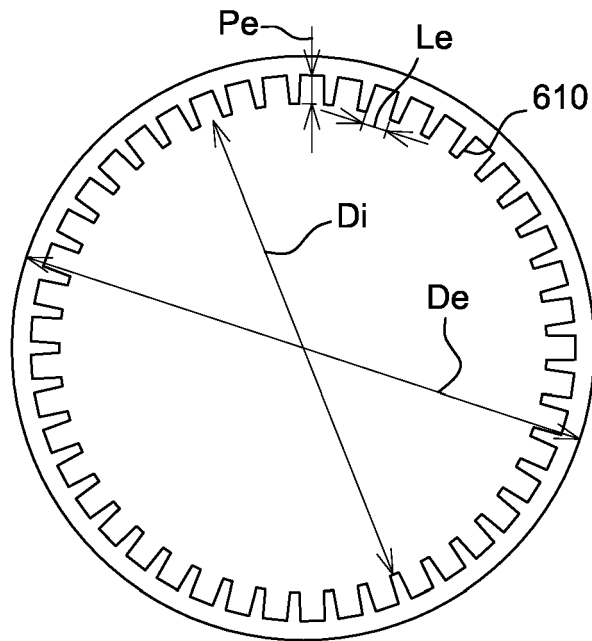


Fig. 6

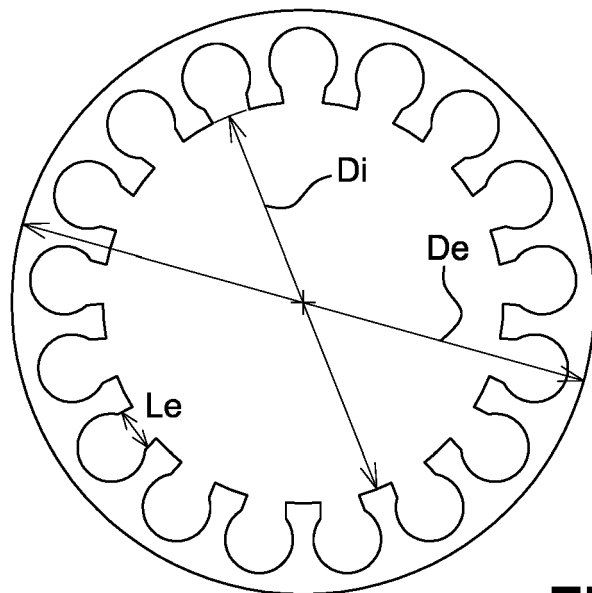


Fig. 7

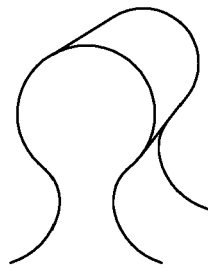


Fig. 8A

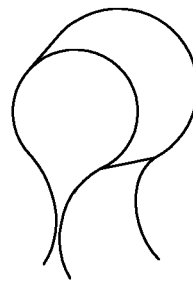


Fig. 8B

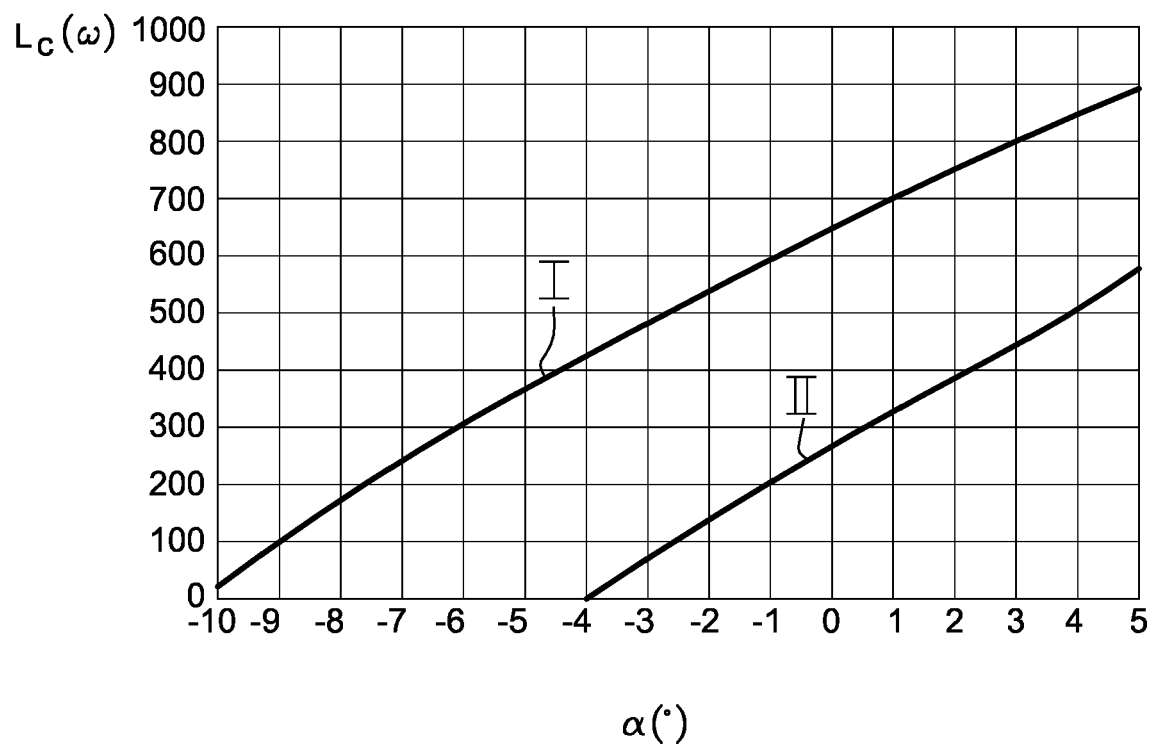
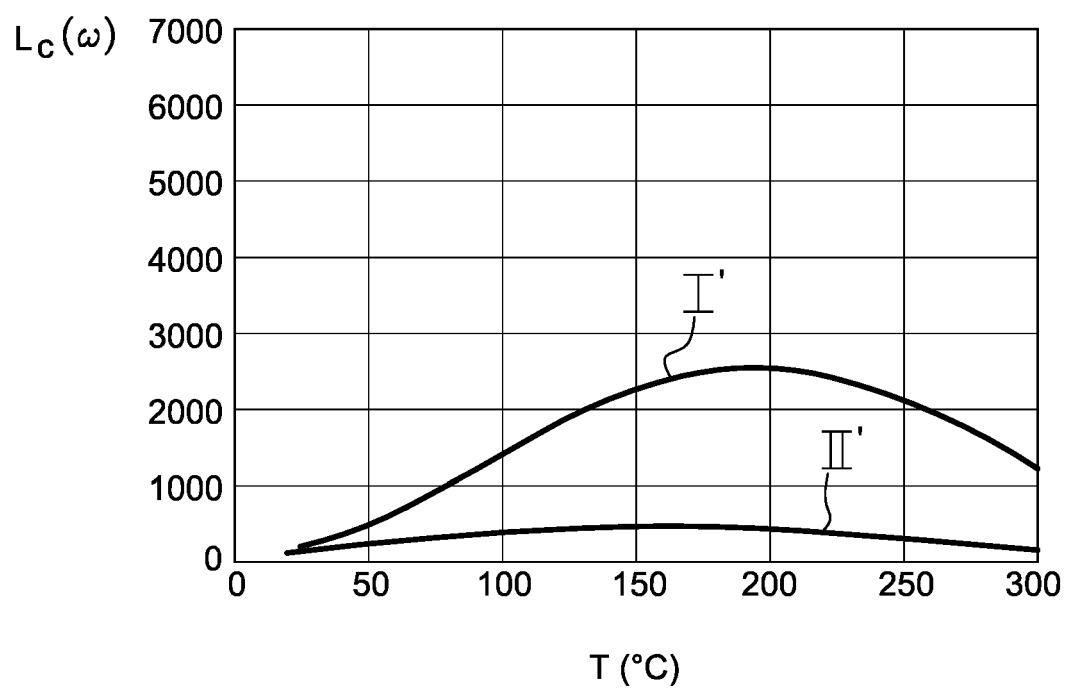
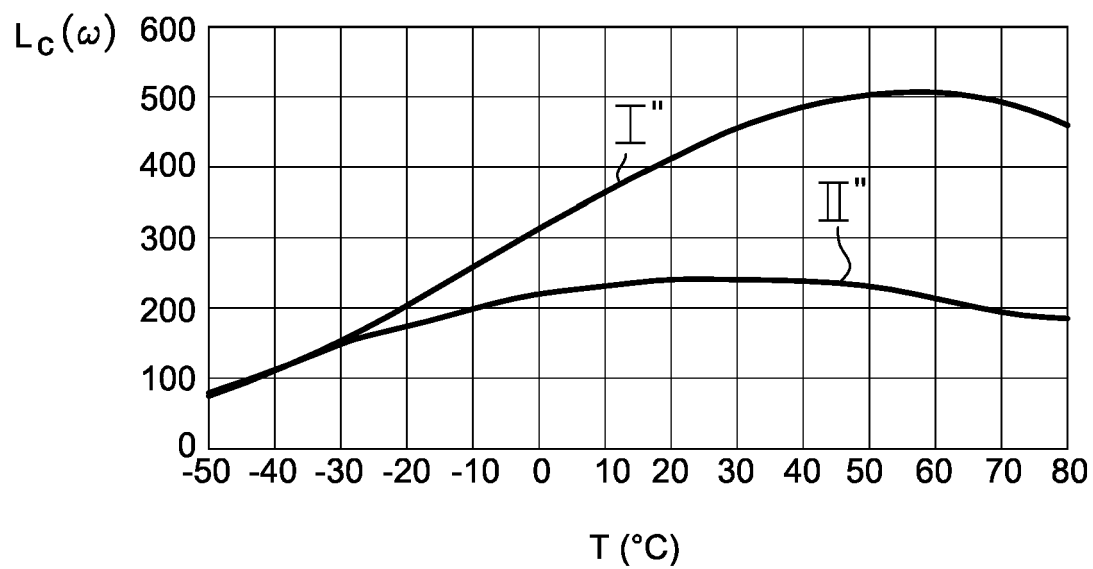


Fig. 9

**Fig. 10****Fig. 11**



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 19 16 8585

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
X	US 7 051 793 B1 (SCHULZ-HARDER JURGEN [DE]) 30 mai 2006 (2006-05-30)	8-10	INV. F28D15/02 F28D15/04
A	* colonne 3 - colonne 4; figures 5,6,7 *	1-7	
A	WO 2011/019847 A1 (MOLEX INC [US]; OHSAWA KENJI [JP]; TSURUTA KATSUYA [JP]) 17 février 2011 (2011-02-17) * alinéa [0042] - alinéa [0081]; figure 3 *	1-10	
A	EP 2 811 251 A1 (ABB RESEARCH LTD [CH]) 10 décembre 2014 (2014-12-10) * figures 2,3,4 *	1-10	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
			F28D
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche		Date d'achèvement de la recherche	Examineur
Munich		8 mai 2019	Bain, David
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 (P04C02)

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

EP 19 16 8585

5 La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne visé 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.

08-05-2019

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 7051793 B1	30-05-2006	AUCUN	
WO 2011019847 A1	17-02-2011	CN 202974000 U	05-06-2013
		JP 5455503 B2	26-03-2014
		JP 2011038700 A	24-02-2011
		US 2012211207 A1	23-08-2012
		WO 2011019847 A1	17-02-2011
EP 2811251 A1	10-12-2014	CN 104219934 A	17-12-2014
		EP 2811251 A1	10-12-2014
		US 2014352927 A1	04-12-2014

EPO FORM P0460

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

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.

Documents brevets cités dans la description

- US 4422501 A [0005]