

⑫

CERTIFICAT D'UTILITÉ

B3

⑤④ Echangeur de chaleur à structure d'échange thermique améliorée.

②② Date de dépôt : 30.09.22.

③③ Priorité :

⑥⑥ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

☐ Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : *L'AIR LIQUIDE, SOCIETE
ANONYME POUR L'ETUDE ET L'EXPLOITATION
DES PROCEDES GEORGES CLAUDE L'AIR
LIQUIDE, SOCIETE ANONYME POUR L'ETUDE ET
L'EXPLOITATION DES PROCEDES GEORGES
CLAUDE — FR.*

④③ Date de mise à la disposition du public
de la demande : 01.09.23 Bulletin 23/35.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du
certificat d'utilité : 09.02.24 Bulletin 24/06.

⑤⑥ Les certificats d'utilité ne font pas l'objet d'un
rapport de recherche.

⑦② Inventeur(s) : CRAYSSAC Frédéric, SEIWERT
Jacopo, RICHET Nicolas, MASLIAH Eric et LEBAIN
Gilles.

⑦③ Titulaire(s) : L'AIR LIQUIDE, SOCIETE ANONYME
POUR L'ETUDE ET L'EXPLOITATION DES
PROCEDES GEORGES CLAUDE L'AIR LIQUIDE,
SOCIETE ANONYME POUR L'ETUDE ET
L'EXPLOITATION DES PROCEDES GEORGES
CLAUDE.

⑦④ Mandataire(s) : L'AIR LIQUIDE, SOCIETE
ANONYME POUR L'ETUDE ET L'EXPLOITATION
DES PROCEDES GEORGES CLAUDE.

FR 3 133 077 - B3



Description

Titre de l'invention : Echangeur de chaleur à structure d'échange thermique améliorée

- [0001] La présente invention concerne un échangeur de chaleur du type à plaques et ailettes comprenant une structure d'échange thermique améliorée.
- [0002] La présente invention trouve notamment application dans le domaine de la séparation de gaz par cryogénie, en particulier de la séparation d'air par cryogénie (connue sous l'acronyme anglais « ASU » pour unité de séparation d'air) exploitée pour la production d'oxygène gazeux sous pression. En particulier, la présente invention peut s'appliquer à un échangeur de chaleur qui vaporise un débit liquide, par exemple de l'oxygène liquide, de l'azote et/ou de l'argon par échange de chaleur avec un gaz calorigène, par exemple l'air ou l'azote.
- [0003] Si l'échangeur de chaleur se trouve dans la cuve d'une colonne de distillation, il peut constituer un vaporiseur fonctionnant en thermosiphon pour lequel l'échangeur est immergé dans un bain de liquide descendant la colonne ou un vaporiseur fonctionnant en vaporisation à film alimenté directement par le liquide tombant de la colonne et/ou par une pompe de recirculation.
- [0004] La présente invention peut également s'appliquer à un échangeur de chaleur qui vaporise au moins un débit de mélange liquide-gaz, en particulier un débit de mélange à plusieurs constituants, par exemple un mélange d'hydrocarbures, par échange de chaleur avec au moins un autre fluide, par exemple du gaz naturel.
- [0005] La technologie couramment utilisée pour un échangeur est celle des échangeurs en aluminium à plaques et à ailettes ou ondes brasés, qui permettent d'obtenir des dispositifs très compacts offrant une grande surface d'échange.
- [0006] Ces échangeurs comprennent des plaques séparatrices entre lesquelles sont insérées des structures d'échange thermique, généralement des structures ondulées également appelées ondes, formées d'une succession d'ailettes ou jambes d'onde, constituant ainsi un empilement de passages pour les différents fluides à mettre en relation d'échange thermique.
- [0007] Les performances d'un échangeur sont liées au coefficient d'échange thermique des structures d'échange thermique se trouvant en contact avec les fluides. Le coefficient d'échange thermique d'une structure dépend notamment de la géométrie de la structure, de la nature du matériau la constituant, de la porosité de ce matériau, de sa rugosité et du régime d'écoulement des fluides.
- [0008] L'amélioration de la performance thermique d'un échangeur à volume et écart de température constants peut être réalisée notamment par l'augmentation de la surface

d'échange et/ou par l'augmentation du coefficient d'échange thermique.

- [0009] L'augmentation de la surface d'échange est généralement liée à la densité de l'onde utilisée, généralement exprimée en termes de nombre de jambes d'ondes par unité de longueur. Cependant, la possibilité d'augmentation est limitée puisque plus la densité de l'onde est grande, plus la perte de charge engendrée est grande. Il existe donc un compromis permettant d'augmenter la surface d'échange sans que celle-ci n'engendre une perte de charge trop importante. En particulier, dans le cas des échangeurs du type vaporiseur-condenseur, l'augmentation de la surface d'échange est limitée par la densité maximale de l'onde qui peut être utilisée dans les passages de vaporisation. En effet, pour une question de sécurité liée à la vaporisation de l'oxygène et aux risques de dépôts d'impuretés et de bouchage de canaux, il est préconisé d'utiliser des ondes droites sans obstacle en respectant une largeur de canal minimale.
- [0010] Concernant l'augmentation du coefficient d'échange thermique, celle-ci peut être obtenue en modifiant les propriétés physico-chimiques des surfaces d'échange. Ceci permet d'augmenter la surface effective d'échange et/ou de modifier les interactions entre le fluide et la surface, en changeant des propriétés de la surface considérée comme sa mouillabilité ou sa capacité à intensifier l'ébullition d'un fluide. On parle alors de surfaces intensifiées.
- [0011] Un problème qui se pose avec l'utilisation de surfaces intensifiées par texturation dans des échangeurs en aluminium brasés concerne l'assemblage d'éléments comportant de telles surfaces lors de la fabrication de l'échangeur. En effet, la liaison des éléments constitutifs de l'échangeur est réalisée par brasage avec utilisation d'un métal d'apport, appelé brasure ou agent de brasage, l'assemblage étant obtenu par fusion et diffusion de l'agent de brasage au sein des pièces à braser, sans fusion de celles-ci. La présence d'un revêtement poreux ou de reliefs au niveau de la zone de liaison affecte les propriétés mécaniques et/ou thermiques du joint, et donc celles de l'échangeur qui sont directement liées à la qualité du joint brasé.
- [0012] Pour tenter de remédier à ces inconvénients, une solution pourrait être de réaliser la texturation des structures d'échange thermique après que le brasage de ces structures dans l'échangeur a été réalisé.
- [0013] Toutefois, il est difficile d'accéder aux canaux formés par les structures d'échange dans les passages de l'échangeur et il devient alors impossible d'utiliser des techniques de texturation mécanique ou de revêtement par projection thermique. D'autres techniques de traitement de surface sont difficiles à mettre en œuvre. Par exemple, pour les techniques impliquant des étapes préalables de traitement thermique ou de dépôt d'une couche d'imprégnation pour assurer l'adhésion du revêtement, c'est l'échangeur entier qu'il faut traiter. Il y a alors des risques de boucher les canaux, de débraser des pièces de l'échangeur ou de créer des phases métallurgiques fragiles et

d'endommager la matrice brasée.

- [0014] Par ailleurs, il a été proposé de réaliser des texturations de surface sur les plaques séparatrices avant brasage. Mais dans ce cas, il n'y a pas de structure d'échange thermique brasée aux plaques et il est nécessaire de procéder à un recuit des plaques. Or, les structures d'échange ont aussi un rôle d'entretoises. Elles contribuent à la rigidité des passages de l'échangeur et à leur résistance à la compression lors du brasage sous vide de l'échangeur. De plus, les plaques recuites perdent de leur résistance mécanique. Il est alors nécessaire d'agencer des barres de renfort supplémentaires dans les passages et de doubler l'épaisseur des plaques.
- [0015] Lorsque l'on souhaite améliorer l'efficacité thermique d'un échangeur, il ne faut donc pas seulement considérer les performances en fonctionnement de l'échangeur mais aussi son mode de fabrication.
- [0016] D'autres solutions ont été proposées par la demanderesse pour accroître les performances thermiques d'un échangeur. FR-A-1762437 divulgue ainsi un échangeur dans lequel deux structures ondulées sont agencées tête-bêche dans un passage. La distance entre deux sommets successifs de chaque structure est augmentée de sorte que les sommets d'une onde fassent saillie dans les espaces formés entre les sommets de l'autre onde. L'inconvénient de cette solution est la difficulté à garantir les dimensions des canaux ainsi créés puisque les structures ondulées présentent une certaine souplesse dans leur direction d'ondulation. Une autre solution décrite dans FR-A-1762419 consiste à positionner dans un passage deux structures ondulées l'une sur l'autre en utilisant leurs sommets d'onde comme surfaces d'appui. Pour ce faire, les directions des canaux de chaque structure ne s'étendent pas parallèlement les uns aux autres mais forment un angle entre eux. Cette solution présente l'inconvénient de générer des canaux non débouchants car obturés par les barres de fermeture latérale du passage. Il s'ensuit un risque de dépôts d'impuretés et de bouchage des canaux. On connaît également de FR-A-2887020 un échangeur dans lequel plusieurs structures ondulées sont superposées dans un passage avec une plaque intermédiaire interposée entre ces structures. Les inconvénients d'une telle configuration sont un excès de matière première utilisée, une plus grande complexité d'assemblage de l'échangeur et une réduction de la section de passage de fluide du passage comprenant cette structure d'échange.
- [0017] La présente invention a pour but de résoudre en tout ou partie les problèmes mentionnés ci-avant, notamment de proposer un échangeur de chaleur du type à plaques et ailettes brasés à performances thermiques améliorées.
- [0018] La solution selon l'invention est alors un échangeur de chaleur du type à plaques et ailettes comprenant une pluralité de plaques agencées parallèlement entre elles et parallèlement à une direction longitudinale de façon à définir une série de passages pour

l'écoulement d'un premier fluide à mettre en relation d'échange thermique avec au moins un deuxième fluide, au moins un passage de l'échangeur de chaleur étant formé entre deux plaques adjacentes et comprenant au moins une première structure ondulée et une deuxième structure ondulée superposées l'une sur l'autre suivant une direction d'empilement qui est orthogonale aux plaques, la première structure ondulée et la deuxième structure ondulée comprenant chacune une série de jambes d'onde se succédant suivant une direction latérale parallèle aux plaques sur une distance prédéterminée définissant une largeur ou une longueur du passage, et avec un pas défini pour chaque série de jambes d'onde comme la distance entre deux jambes d'onde successives mesurées suivant la direction latérale, lesdites jambes d'onde étant reliées les unes aux autres alternativement par des sommets d'onde et des bases d'onde, caractérisé en ce que la première structure ondulée et la deuxième structure ondulée présentent chacune un pas constant sur ladite distance prédéterminée, la première structure ondulée et la deuxième structure ondulée ayant respectivement un pas d'une première valeur et un pas d'une deuxième valeur distincte de la première valeur, ou la première structure ondulée et la deuxième structure ondulée présentent chacune un pas variable sur ladite distance prédéterminée, la première structure ondulée et la deuxième structure ondulée comprenant chacune au moins une première portion sur laquelle la première structure ondulée et la deuxième structure ondulée présentent un pas d'une même première valeur et au moins une deuxième portion sur laquelle la première structure ondulée et la deuxième structure ondulée présentent un pas d'une deuxième valeur supérieure à la première valeur, de sorte qu'au moins une base d'onde de la première structure ondulée est positionnée en appui contre un sommet d'onde de la deuxième structure ondulée.

- [0019] Selon le cas, l'invention peut comprendre l'une ou plusieurs des caractéristiques énoncées ci-après.
- [0020] Les deuxièmes portions de la première structure ondulée et la deuxième structure ondulée sont décalées l'une par rapport à l'autre suivant la direction latérale.
- [0021] La première structure ondulée et la deuxième structure ondulée comprennent chacune plusieurs deuxièmes portions agencées périodiquement suivant la direction latérale.
- [0022] Ladite au moins une deuxième portion présente un pas d'une deuxième valeur supérieure à la première valeur d'un facteur multiplicateur au moins égal à 1,5 et de préférence compris entre 1,5 et 3.
- [0023] La présente invention va maintenant être mieux comprise grâce à la description qui va suivre, donnée uniquement à titre d'exemple non limitatif et faite en référence aux schémas ci-annexés, parmi lesquels :
- [0024] [Fig.1] est une vue tridimensionnelle d'un échangeur à plaques brasées selon un mode de réalisation de l'invention.

- [0025] [Fig.2] est une vue en coupe longitudinale d'un passage d'échangeur selon un mode de réalisation de l'invention.
- [0026] [Fig.3] est une vue en coupe longitudinale d'un passage d'échangeur selon un autre mode de réalisation de l'invention.
- [0027] [Fig.4] est une vue en coupe longitudinale d'un passage d'échangeur selon un autre mode de réalisation de l'invention.
- [0028] [Fig.1] représente un mode de réalisation d'un échangeur de chaleur 1 du type à plaques brasées comprenant un empilement de plaques 2 qui s'étendent suivant deux dimensions, longueur et largeur, respectivement suivant la direction longitudinale z et la direction latérale x. Les plaques 2 sont disposées parallèlement les unes au-dessus des autres avec espacement et forment ainsi plusieurs ensembles de passages 3 pour un fluide F1, et pour au moins un autre fluide F2, F3 à mettre en relation d'échange de chaleur indirect via les plaques 2. La direction latérale x est orthogonale à la direction longitudinale z et parallèle aux plaques 2.
- [0029] De préférence, chaque passage 3 est de forme parallélépipédique et plate et configuré pour canaliser le premier fluide parallèlement à la direction longitudinale z. La direction longitudinale z définit une direction globale d'écoulement du premier fluide F1 dans les passages 3. L'écart entre deux plaques 2 successives, correspondant à la hauteur du passage, mesurée suivant la direction d'empilement y des plaques 2, est petit devant la longueur et la largeur de chaque plaque successive. Les passages 3 sont bordés par des barres de fermeture 6 qui n'obturent pas complètement les passages mais laissent des ouvertures libres pour l'entrée ou la sortie des fluides correspondants.
- [0030] L'échangeur 1 comprend des collecteurs de forme semi-tubulaire 7, 5 munis d'ouvertures 10 pour l'introduction des fluides dans l'échangeur 1 et l'évacuation des fluides hors de l'échangeur 1. Ces collecteurs présentent des ouvertures moins larges que les passages. Des zones de distribution agencées en aval des collecteurs d'entrée et en amont des collecteurs de sortie servent à canaliser de façon homogène les fluides vers ou depuis toute la largeur des passages.
- [0031] De façon connue en soi, au moins une partie des passages 3 d'un échangeur à plaques et ailettes comprend des structures d'échange thermique 8 de forme ondulée qui s'étendent avantageusement suivant la largeur et la longueur des passages de l'échangeur, parallèlement aux plaques 2. Les structures 8 sont sous la forme de tôles ondulées. On appelle ailettes ou jambes d'onde les parties de l'onde qui relient les sommets et les bases successifs de la structure ondulée.
- [0032] Tout ou partie des passages 3 de l'échangeur 1 sont pourvus de structures ondulées 8 dont les jambes d'ondes délimitent, au sein du passage 3, une pluralité de canaux. En fonctionnement, le premier fluide s'écoule sur la largeur du passage 3, mesurée suivant la direction latérale x, entre une entrée et une sortie du passage 33 situées à deux ex-

trémities opposées suivant la longueur du passage 3, mesurée suivant la direction longitudinale z. D'autres agencements et/ou directions d'écoulement des fluides sont envisageables.

- [0033] De préférence, les structures 8 sont liées par brasage aux plaques séparatrices de l'échangeur. Avantageusement, la liaison est réalisée par brasage sous vide avec utilisation d'un métal d'apport, appelé brasure ou matériau de brasage, l'assemblage étant obtenu par fusion et diffusion du matériau de brasage au sein des pièces à braser, sans fusion de celles-ci. Le matériau de brasage est de préférence formé d'un matériau métallique ayant une température de fusion inférieure à celle des matériaux constitutifs des pièces de l'échangeur. Celles-ci sont de préférence formées d'aluminium ou d'un alliage d'aluminium.
- [0034] [Fig.2] est une vue en coupe transversale d'un passage 3 formé entre deux plaques 2 adjacentes, c'est-à-dire directement voisines dans la série de plaques formant l'empilement.
- [0035] Selon l'invention, au moins une première structure ondulée 8 et une deuxième structure ondulée 9 sont agencées dans le passage 3. Etant entendu que tout ou partie des passages 3 peuvent être configurés selon l'invention et qu'un même passage 3 peut comprendre plus de deux structures superposées selon la présente description. La description se limite au cas de deux structures par souci de concision mais tout ou partie des caractéristiques mentionnées pour les premières et deuxièmes structures peuvent s'appliquer à une structure ondulée supplémentaire superposée en coïncidence avec première et deuxième structures.
- [0036] Comme on le voit sur [Fig.2], les structures 8, 9 sont superposées l'une sur l'autre suivant une direction d'empilement y qui est orthogonale aux plaques 2. La première structure ondulée 8 et la deuxième structure ondulée 9 comprennent chacune au moins une série de jambes d'onde 83, 93 reliées les unes aux autres alternativement par des sommets d'onde 81, 91 et des bases d'onde 82, 92.
- [0037] Les jambes d'ondes, les sommets d'ondes et les bases d'ondes sont de préférence de forme plane. Les sommets d'ondes et les bases d'ondes forment des bandes qui s'étendent parallèlement entre elles et aux plaques 2. Les jambes d'onde se succèdent suivant une direction D dite d'ondulation parallèle à la direction latérale x et ce sur une distance prédéterminée définissant une largeur ou une longueur du passage 3. Les jambes d'onde sont de forme longiligne et s'étendent parallèlement entre elles et globalement de façon orthogonale à la direction d'ondulation D. Les jambes d'onde 83, 93 se succèdent avec un pas défini pour chaque série de jambes d'onde 83, 93 comme l'intervalle entre deux jambes d'onde (83, 93) successives suivant la direction latérale x.
- [0038] Selon l'invention, soit la première structure ondulée 8 et la deuxième structure

ondulée 9 présentent chacune un pas constant sur ladite distance prédéterminée, avec un pas respectivement d'une première valeur p_1 et d'une deuxième valeur p_2 distincte de la première valeur p_1 , soit la première structure ondulée 8 et la deuxième structure ondulée 9 comprennent chacune, suivant la direction latérale x , au moins une première portion sur laquelle la première structure ondulée 8 et la deuxième structure ondulée 9 présentent chacune un pas d'une même première valeur p_1 et au moins une deuxième portion sur laquelle la première structure ondulée 8 et la deuxième structure ondulée 9 présentent chacune un pas d'une même deuxième valeur p_2 distincte de la première valeur p_1 , de sorte qu'au moins une base d'onde 82 de la première structure ondulée 8 est positionnée en appui contre un sommet d'onde 91 de la deuxième structure ondulée 9.

[0039] [Fig.2] schématise un mode de réalisation dans lequel la première structure ondulée 8 et la deuxième structure ondulée 9 présentent chacune un pas constant sur ladite distance prédéterminée, avec un pas respectivement d'une première valeur p_1 et d'une deuxième valeur p_2 distincte de la première valeur p_1 . La première valeur p_1 est sensiblement supérieure à la deuxième valeur p_2 .

[0040] Notons que pour exprimer les pas p_1 et p_2 des structures, on peut utiliser les relations $p_1 = 25,4/n_1$ et $p_2 = 25,4/n_2$ avec n_1 et n_2 représentant respectivement le nombre de jambes d'onde par pouce d'une structure ou d'une portion de structure, 1 pouce étant égal à 25,4 millimètres, mesuré suivant la direction latérale x .

[0041] Par exemple, on peut superposer dans un passage 3 une première structure ondulée 8 ayant une densité n_1 de 12 jambes d'onde par pouce et d'une épaisseur de 0,2 mm, soit un pas constant d'une première valeur p_1 d'environ 1,9 mm, sur une deuxième structure ondulée 9 ayant une densité n_2 de 14 jambes d'onde par pouce et d'une épaisseur de 0,2 mm, soit un pas constant d'une deuxième valeur p_2 d'environ 1,6 mm. Ainsi, en superposant ces deux ondes ayant chacune une hauteur de 2,5 mm, le gain de surface d'échange est d'environ 11% par rapport à l'agencement d'une seule structure ondulée d'une densité de 14 jambes d'onde par pouce, d'une hauteur de 5 mm et d'une épaisseur de 0,2 mm.

[0042] [Fig.3] schématise un autre mode de réalisation dans lequel la première structure ondulée 8 et la deuxième structure ondulée 9 comprennent chacune, suivant la direction latérale x , au moins une première portion sur laquelle la première structure ondulée 8 et la deuxième structure ondulée 9 présentent chacune un pas d'une même première valeur p_1 et au moins une deuxième portion sur laquelle la première structure ondulée 8 et la deuxième structure ondulée 9 présentent chacune un pas d'une même deuxième valeur p_2 distincte de la première valeur p_1 .

[0043] Par exemple, on peut superposer dans un passage 3 une première structure ondulée 8 et une deuxième structure ondulée 9 ayant chacune une épaisseur de 0,2 mm et une

densité n_1 de 14 jambes d'onde par pouce sur leurs premières portions respectives, soit un pas d'une première valeur p_1 d'environ 1,6 mm. En outre, les structures ondulées comprennent chacune une deuxième portion ayant une épaisseur de 0,2 mm et un pas d'une deuxième valeur p_2 d'environ 5,2 mm. Ainsi, en superposant ces deux ondes ayant chacune une hauteur de 2,5 mm, le gain de surface d'échange est d'environ 17% par rapport à l'agencement d'une seule structure ondulée d'une densité de 14 jambes d'onde par pouce, d'une hauteur de 5 mm et d'une épaisseur de 0,2 mm.

[0044] Selon un autre exemple, on peut superposer dans un passage 3 une première structure ondulée 8 et une deuxième structure ondulée 9 ayant chacune une épaisseur de 0,2 mm et une densité n_1 de 8 jambes d'onde par pouce, soit un pas p_1 d'environ 3 mm, sur leurs premières portions respectives et comprenant chacune une deuxième portion ayant une épaisseur de 0,2 mm et un pas d'une deuxième valeur p_2 d'environ 6,15 mm. Ainsi, en superposant ces deux ondes ayant chacune une hauteur de 2,5 mm, le gain de surface d'échange est d'environ 61% par rapport à l'agencement d'une seule structure ondulée d'une densité de 6 jambes d'onde par pouce, d'une hauteur de 5 mm et d'une épaisseur de 0,5 mm.

[0045] Les structures d'échange résultant de telles superpositions offrent ainsi une plus grande surface d'échange. On maximise la surface d'échange supplémentaire créée sans pour autant augmenter la quantité de matière première devant être utilisée et tout en assurant la rigidité mécanique de la structure grâce à la juxtaposition des deux structures ondulées, qui se trouvent régulièrement en appui l'une sur l'autre sans qu'elles ne puissent s'emboîter l'une dans l'autre. Il n'est ainsi plus nécessaire d'utiliser des moyens supplémentaires comme un feuillard plat intercalé entre les structures ondulées ou des moyens de fixation entre les structures ondulées tels des rivets, un poinçonnage ou autre moyen. Un autre avantage de cet arrangement est qu'il est formé, pour une même densité d'onde, de structures ondulées de hauteurs réduites, ce qui rend l'intérieur des canaux formés entre les jambes d'ondes et les jambes d'onde des canaux formés plus accessibles et permet de réaliser un éventuel revêtement de surface de façon plus aisée et plus homogène sur toute la surface des structures.

[0046] De préférence, les deuxièmes portions de la première structure ondulée 8 et la deuxième structure ondulée 9 sont décalées l'une par rapport à l'autre suivant la direction latérale x .

[0047] De préférence, la première structure ondulée 8 et la deuxième structure ondulée 9 comprennent chacune plusieurs deuxièmes portions agencées périodiquement suivant la direction latérale x .

[0048] De préférence, ladite au moins une deuxième portion présente un pas d'une deuxième valeur p_2 supérieure à la première valeur p_1 d'un facteur multiplicateur au moins égal à 1,5 et de préférence compris entre 1,5 et 3.

- [0049] En particulier, pour une première structure ondulée 8 et une deuxième structure ondulée 9 ayant chacune une épaisseur de 0,2 mm et une densité $n1$ de 14 jambes d'onde par pouce, soit un pas $p1$ de 1,6 mm, sur leurs premières portions respectives, la deuxième valeur $p2$ pourra être comprise entre 4,8 et 5,5 mm, par exemple égale à 5,24 mm.
- [0050] Avantageusement, les première et deuxième structures ondulées sont superposées en opposant le sommet de ces canaux de largeur plus grande tout en les décalant d'un demi-pas, il y a obligatoirement un appui entre ces deux structures ondulées tous les demi-pas de ces canaux de largeur plus grande.
- [0051] La première structure ondulée 8 et de la deuxième structure ondulée 9 présentent respectivement une première hauteur et une deuxième hauteur, mesurées suivant la direction d'empilement y . Les structures peuvent présenter des hauteurs identiques mais pas nécessairement. De préférence, ledit au moins un passage 3 présente une hauteur totale mesurée suivant la direction d'empilement y , la somme de la première hauteur et de la deuxième hauteur étant égale ou sensiblement égale à la hauteur totale du passage 3.
- [0052] De préférence, les bases d'onde et les sommets d'onde des première structure ondulée et deuxième structure ondulée 9 présentent une épaisseur identique, l'épaisseur étant mesurée parallèlement à la direction d'empilement y .
- [0053] De préférence, la première structure ondulée 8 et la deuxième structure ondulée 9 sont du même type, le type de structure étant choisi parmi les structures du type ondes droites, les ondes à arêtes de hareng (« *herringbone* » en anglais), les ondes à décalage partiel (« *serrated* » en anglais), les ondes à vagues. Les ondes peuvent être perforées ou non.
- [0054] Selon un mode de réalisation, chacune des première et deuxième structures ondulées est une onde droite présentant une seule série de jambes d'onde à surfaces planes, chaque jambe formant une bande qui s'étend dans toute la largeur ou la longueur du passage. L'utilisation d'ondes droites est avantageuse notamment dans des passages d'échangeur prévus par l'écoulement et la vaporisation d'oxygène car leur géométrie limite les risques de dépôts d'impuretés et de bouchage des canaux.
- [0055] De préférence, les structures ondulées 8, 9 sont disposés en configuration dite « *easyway* » dans le passage 3, c'est-à-dire que les jambes d'onde 83, 93 s'étendent globalement suivant la direction d'écoulement du premier fluide dans le passage 3, qui est parallèle à la direction longitudinale z en référence à [Fig.1] et [Fig.2]. Dans ce cas, la direction d'ondulation D est parallèle aux plaques 2 et perpendiculaire à la direction longitudinale z . A noter qu'en fonctionnement de l'échangeur, la direction d'écoulement du premier fluide est de préférence verticale, le sens d'écoulement pouvant être ascendant ou descendant.

- [0056] Selon le mode de réalisation illustré sur [Fig.2], les sommets et les bases d'onde des structures ondulées sont de forme plane et s'étendent parallèlement entre eux et perpendiculairement aux jambes d'onde. Les canaux formés entre deux jambes d'onde successives et un sommet ou une base agencé entre lesdites jambes d'onde successive de chaque produit ondulé, présentent ainsi des sections transversales de forme générale carrée ou rectangulaire.
- [0057] Les structures ondulées 8, 9 peuvent ainsi être formées à partir de tôles colaminées comprenant une feuille centrale dont l'une et/ou l'autre des faces est revêtue d'une couche de matériau de brasage. Selon un autre mode de réalisation, le matériau de brasage peut prendre la forme d'un feuillard superposé à la structure. La couche de matériau de brasage peut aussi être déposée par pulvérisation ou par application au pinceau d'une suspension. Les plaques 2 de l'échangeur peuvent également comprendre un tel matériau de brasage sous forme de colaminage ou de dépôt de surface.
- [0058] Etant noté que les structures ondulées peuvent seulement être mis en contact sans nécessiter de brasage. C'est le cas notamment lorsqu'en fonctionnement, le passage 3 canalise un premier fluide dont la pression est relativement faible, typiquement inférieure ou égale à 5 bar, de préférence une pression comprise entre 1 et 2 bar, comme c'est le cas par exemple dans les passages pour l'oxygène d'un vaporiseur-condenseur.
- [0059] Selon un mode de réalisation particulier, la première structure ondulée 8 et/ou la deuxième structure ondulée 9 présentent une texturation de surface sous la forme d'une couche de dépôt poreux ou des microreliefs formés sur au moins une partie de leurs surfaces, de préférence sur la totalité ou quasi-totalité des surfaces. Une telle texturation de surface permet d'améliorer encore les performances d'échange thermique de la superposition de structures ondulées.
- [0060] Il est à noter que les structures ondulées peuvent présenter une ou plusieurs formes prédéterminées de texturation de surface réparties sur différentes zones de sa surface, étant entendu qu'une texturation de surface peut aussi bien être réalisée dans les surfaces du matériau constitutif des éléments intercalaires qu'y être déposée, c'est-à-dire résulter d'un apport de matière supplémentaire sur les surfaces des éléments intercalaires. De préférence, les structures ondulées comprennent des substrats massifs, en particulier des substrats non-poreux, sur lesquels on forme ladite texturation de surface.
- [0061] Dans le cadre de l'invention, la texturation de surface peut résulter d'un revêtement de surface déposé sur l'élément ou bien d'une modification de l'état de surface dudit élément pièces.
- [0062] En particulier, la texturation de surface peut résulter d'un revêtement de surface déposé sur les substrats des éléments intercalaires, en particulier un revêtement déposé

par voie liquide, notamment par trempage, pulvérisation ou par voie électrolytique, par voie sèche, notamment par dépôt chimique en phase vapeur (en anglais *Chemical Vapor Deposition* ou *CVD*) ou dépôt physique en phase vapeur (en anglais *Physical Vapor Deposition* ou *CVD*), ou par projection thermique, en particulier par flamme ou par plasma.

- [0063] La modification de l'état de surface desdites pièces pourra être obtenu par un traitement chimique ou par un traitement mécanique, par exemple par sablage, rainurage....
- [0064] Selon un mode préféré de réalisation, la texturation de surface est sous la forme d'une structure poreuse, de préférence une couche poreuse. La structure poreuse peut par exemple être formée d'un dépôt de particules d'aluminium légèrement frittées, de filaments d'aluminium enchevêtrés, de particules d'aluminium semi fondues collées les unes aux autres, telles les particules d'aluminium qui sont obtenues après projection que l'on obtient en projection thermique par flamme.
- [0065] De préférence, la texturation de surface présente une porosité ouverte comprise entre 15 et 60%, de préférence entre 20 et 45%, de préférence encore une porosité ouverte comprise entre 25 et 35% (% en volume). A noter que la porosité ouverte est définie comme le rapport entre le volume des pores ouverts, c'est-à-dire les pores communiquant fluidiquement avec l'environnement extérieur dans lequel se situe l'élément intercalaire considéré, et le volume total de la structure poreuse.
- [0066] De façon alternative, la texturation de surface peut être sous la forme de reliefs, ou motifs, imprimés ou réalisés dans ou sur le matériau constitutif du substrat d'un élément intercalaire. De préférence, ces reliefs définissent, en coupe transversale, des cavités ouvertes à la surface de l'élément. Par exemple, des micro-reliefs ou taille ou morphologie diverses, tels des gorges, discrètes ou ininterrompues, des stries, des protubérances, ... pourront être formés ou déposés à la surface de l'élément considéré. En particulier, les reliefs formant la texturation de surface peuvent être réalisés par usinage laser ou mécanique et/ou chimique.

Revendications

[Revendication 1]

Echangeur de chaleur (1) du type à plaques et ailettes brasé comprenant une pluralité de plaques (2) agencées parallèlement entre elles et parallèlement à une direction longitudinale (z) de façon à définir une série de passages pour l'écoulement d'un premier fluide à mettre en relation d'échange thermique avec au moins un deuxième fluide, au moins un passage (3) de l'échangeur de chaleur (1) étant formé entre deux plaques (2) adjacentes et comprenant au moins une première structure ondulée (8) et une deuxième structure ondulée (9) superposées l'une sur l'autre suivant une direction d'empilement (y) qui est orthogonale aux plaques (2), la première structure ondulée (8) et la deuxième structure ondulée (9) comprenant chacune une série de jambes d'onde (83, 93) se succédant suivant une direction latérale (x) parallèle aux plaques (2) sur une distance prédéterminée définissant une largeur ou une longueur du passage (3) et avec un pas défini pour chaque série de jambes d'onde (83, 93) comme la distance entre deux jambes d'onde (83, 93) successives mesurée suivant la direction latérale (x), lesdites jambes d'onde (83, 93) étant reliées les unes aux autres alternativement par des sommets d'onde (81, 91) et des bases d'onde (82, 92), caractérisé en ce que

- la première structure ondulée (8) et la deuxième structure ondulée (9) présentent chacune un pas constant sur ladite distance prédéterminée, la première structure ondulée (8) et la deuxième structure ondulée (9) ayant respectivement un pas d'une première valeur (p1) et un pas d'une deuxième valeur (p2) distincte de la première valeur (p1), ou
- la première structure ondulée (8) et la deuxième structure ondulée (9) présentent chacune un pas variable sur ladite distance prédéterminée, la première structure ondulée (8) et la deuxième structure ondulée (9) comprenant chacune au moins une première portion sur laquelle la première structure ondulée (8) et la deuxième structure ondulée (9) présentent un pas d'une même première valeur (p1) et au moins une deuxième portion sur laquelle la première structure ondulée (8) et la deuxième structure ondulée (9) présentent un pas d'une deuxième valeur (p2) supérieure à la première valeur (p1),

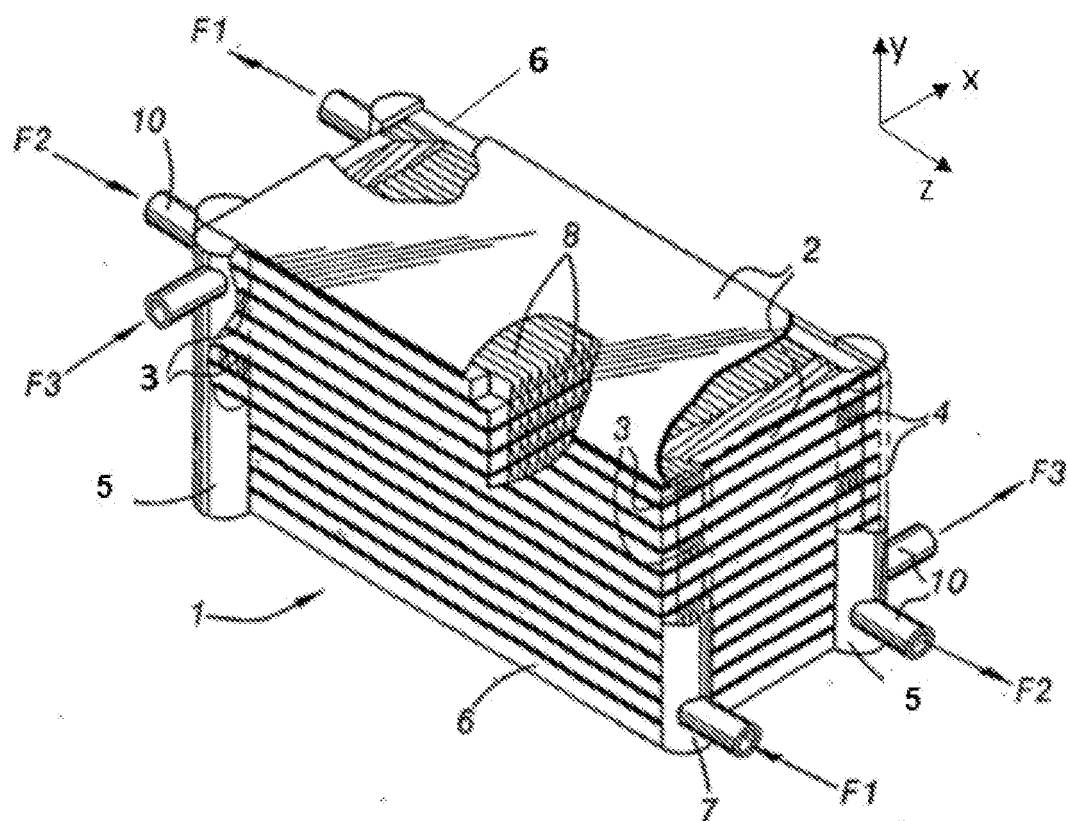
de sorte qu'au moins une base d'onde (82) de la première structure ondulée (8) est positionnée en appui contre un sommet d'onde (91) de la deuxième structure ondulée (9).

[Revendication 2] Echangeur selon la revendication 1, caractérisé en ce que les deuxièmes portions de la première structure ondulée (8) et de la deuxième structure ondulée (9) sont décalées l'une par rapport à l'autre suivant la direction latérale (x).

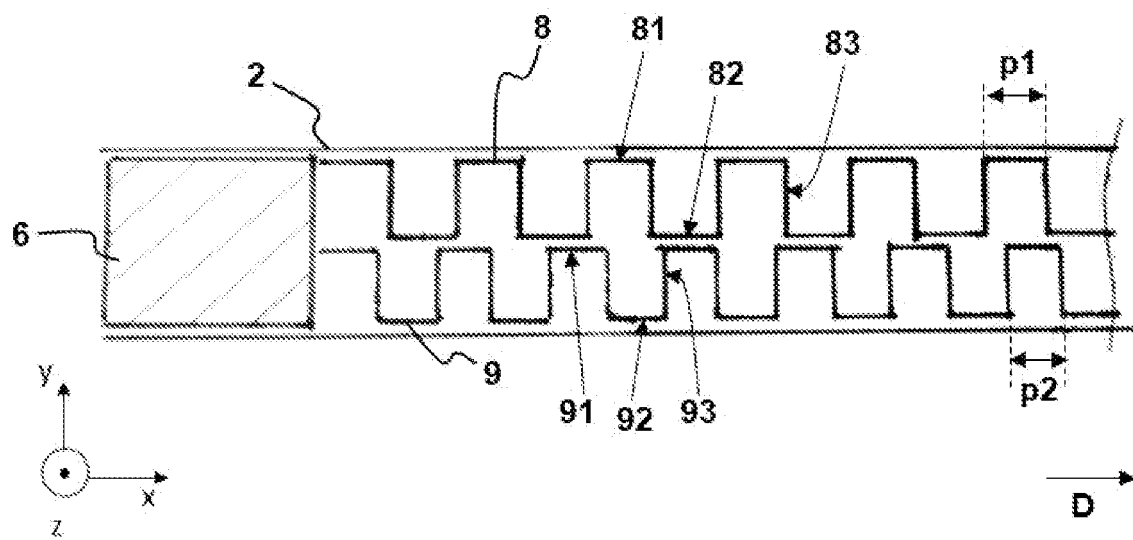
[Revendication 3] Echangeur selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que la première structure ondulée (8) et la deuxième structure ondulée (9) comprennent chacune plusieurs deuxièmes portions agencées périodiquement suivant la direction latérale (x).

[Revendication 4] Echangeur selon la revendication 1, caractérisé en ce que ladite au moins une deuxième portion présente un pas d'une deuxième valeur (p2) supérieure à la première valeur (p1) d'un facteur multiplicateur au moins égal à 1,5 et de préférence compris entre 1,5 et 3.

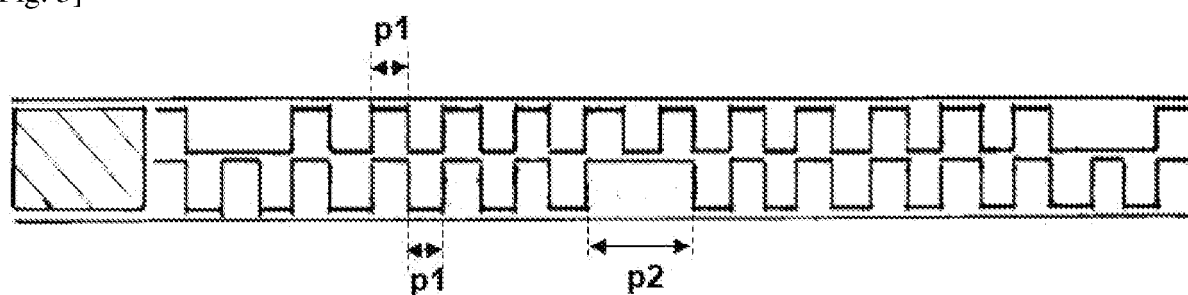
[Fig. 1]



[Fig. 2]



[Fig. 3]



[Fig. 4]

