

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
—
**INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE**
—
COURBEVOIE
—

①1 N° de publication : **3 095 129**
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

②1 N° d'enregistrement national : **19 04018**

⑤1 Int Cl⁸ : **B 01 J 19/32** (2019.01), B 01 D 53/78, B 01 D 3/28

⑫

BREVET D'INVENTION

B1

⑤4 Garnissage ondulé-croisé en mousse métallique.

②2 Date de dépôt : 16.04.19.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public
de la demande : 23.10.20 Bulletin 20/43.

④5 Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 12.03.21 Bulletin 21/10.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑥0 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

⑦1 Demandeur(s) : *L'AIR LIQUIDE SOCIÉTÉ
ANONYME POUR L'ETUDE ET L'EXPLOITATION
DES PROCÉDÉS GEORGES CLAUDE Société
Anonyme — FR.*

⑦2 Inventeur(s) : FRIMAT David, GARY Daniel, LIX
Clément, ROUSSEAU Frédéric, SAULNIER Bernard
et WATTIAU Mikael.

⑦3 Titulaire(s) : L'AIR LIQUIDE SOCIÉTÉ ANONYME
POUR L'ETUDE ET L'EXPLOITATION DES
PROCÉDÉS GEORGES CLAUDE Société Anonyme.

⑦4 Mandataire(s) : L'AIR LIQUIDE SOCIÉTÉ
ANONYME POUR L'ETUDE ET L'EXPLOITATION
DES PROCÉDÉS GEORGES CLAUDE.

FR 3 095 129 - B1



Description

Titre de l'invention : Garnissage ondulé-croisé en mousse métallique

- [0001] La présente invention concerne un garnissage ondulé-croisé en mousse métallique, en particulier adapté au domaine des équipements de mises en contact de fluides. Il s'agit en particulier du domaine des plaques de garnissage structuré qui équipent les colonnes d'échange de matière et de chaleur. Cette invention s'applique tout spécialement aux colonnes destinées aux transferts gaz-liquide à contre-courant que sont les colonnes de distillation, d'absorption et d'épuisement.
- [0002] Les garnissages structurés en feuilles ondulées-croisées constituent dans la plupart des cas la solution technique la plus efficace pour les opérations de transfert de masse gaz-liquide. Comparativement aux autres familles de contacteurs que sont les garnissages vracs et les plateaux de distillation, ils conduisent à de plus faibles pertes de charge pour une même séparation, tout en ayant une capacité et une efficacité élevées. Leurs faibles pertes de charges conduisent à un gain énergétique et donc à une réduction du coût opératoire. La capacité de gaz et l'efficacité se reflètent dans la compacité en section et en hauteur de l'équipement. Réduire les dimensions de la colonne correspond à une réduction d'investissement initial.
- [0003] Ces gains relatifs imputables aux garnissages structurés sont particulièrement importants dans le cas de procédés impliquant de faibles reflux liquides. C'est le cas notamment des colonnes de distillation à pression atmosphérique et plus encore pour les colonnes opérant sous vide.
- [0004] Pour profiter au mieux de l'efficacité des garnissages ondulés-croisés, on peut chercher à augmenter la surface spécifique des garnissages, notamment en réduisant la hauteur des ondulations. On a alors une surface développée plus importante dans un volume donné, permettant plus d'échange et donc une hauteur de section réduite.
- [0005] On parle parfois de garnissage de haute densité lorsque la surface spécifique excède $400 \text{ m}^2/\text{m}^3$.
- [0006] Les garnissages structurés les plus denses atteignent jusqu'à $2100 \text{ m}^2/\text{m}^3$ en laboratoire. Il y a cependant peu de références industrielles au-delà de $1000 \text{ m}^2/\text{m}^3$.
- [0007] La surface spécifique a_p peut se calculer à l'aide de la formule suivante :
- [Math.1]

$$a_p = \frac{4s}{bh} (1 - \tau)$$

- [0008] où a_p est en m^2/m^3 , s est la longueur développée du côté d'une onde, b est la longueur de la base d'une onde (pas de l'onde), h la hauteur et τ et le taux de perforations de l'onde. Les longueurs s , b et h sont représentées sur la figure 2.
- [0009] Les garnissages ondulés-croisés sont très sensibles aux phénomènes d'assèchement et ce d'autant plus que le film liquide est mince. Un assèchement du garnissage réduit l'aire effective de contact gaz-liquide et donc l'efficacité du garnissage. En cas de faibles débits liquides et de hautes surfaces spécifiques, on doit distribuer peu de liquide sur une grande surface de garnissage. Dans ces conditions cette distribution est relativement difficile à réaliser.
- [0010] Au-delà de 500 ou 700 m^2/m^3 , la plupart des fournisseurs ne proposent pas de garnissage en feuilles pleines pour des raisons d'assèchement. La solution généralement adoptée consiste dans l'utilisation de feuille en matériau tissé ou gaze. Un métal tissé bien dimensionné permet un meilleur étalement du liquide par capillarité sur et à travers la feuille de garnissage.
- [0011] Cependant ces matériaux sont très coûteux et sont plus complexes à former avec une presse traditionnelle.
- [0012] L'utilisation de feuilles en mousse permet d'obtenir des qualités de mouillage supérieures (H. Li et al. / Chemical Engineering Transactions VOL 69 (2018), H. Li et al. / Chemical Engineering Science 123 (2015) 341-349) au matériau tissé à moindre coût. Ceci explique pourquoi des garnissages structurés en mousse céramique SiC obtiennent de meilleures efficacités à faibles charges liquides (X. Li et al. / Ind. Eng. Chem. Res. 51 (2012), 915-924). CN101555138A propose une méthode de fabrication pour des feuilles ondulées en mousse céramique SiC (carbure de silicium).
- [0013] Cependant, les mousses en céramique ne peuvent être formées de la même manière que les feuilles de garnissage structuré métallique.
- [0014] Celles-ci sont moulées directement dans leur forme finale. Elles sont fragiles et coûteuses. De plus la taille de pore recommandée est trop élevée pour profiter des effets capillaires.
- [0015] US9375655 propose d'appliquer un matériel de type mousse pour des garnissages ondulés-croisés pour la distillation de l'air dans une gamme allant de 100 m^2/m^3 à 500 m^2/m^3 avec un critère de dimensionnement complexe pour limiter la vitesse gaz afin qu'une fraction suffisante de gaz puisse passer à travers les pores de la mousse.
- [0016] Le but de l'invention est d'accroître la surface spécifique entre le gaz et le liquide en permettant le passage d'une fraction significative de gaz dans la structure tridimensionnelle de la mousse. Il suppose que toute la surface de la mousse est mouillée et en particulier la fraction de la mousse traversée par le gaz.
- [0017] L'expérience montre que cette dernière condition est particulièrement difficile à remplir. Le gain espéré par l'augmentation de la surface d'échange entre le gaz et le

liquide dans la structure interne de la mousse est donc mis en péril. L'invention se concentre sur la mousse SiC bien que ne s'y limitant pas.

[0018] Les limites de fabrication de la mousse SiC et le critère de dimensionnement conduisent à une mousse relativement épaisse avec une épaisseur entre 0,4 à 10 mm et à une vitesse de gaz relativement faible, étant donnée la surface spécifique macroscopique du garnissage. Ceci exclut le domaine des garnissages de très hautes densités.

[0019] La présente invention a pour but de réduire significativement la hauteur des sections en garnissage structuré de haute densité des colonnes d'échanges gaz-liquide pour une performance d'échange et un débit gaz donné.

[0020] L'invention concerne plus particulièrement les fluides ayant une tension de surface inférieure à 25 mN/m, voire inférieure à 15 mN/m.

[0021] Selon un objet de l'invention, il est prévu un garnissage constitué par un empilement de lamelles, ayant été façonnées pour former des ondulations dans la lamelle et assemblées pour former un bloc de garnissage ondulé-croisé pour une application de transfert de masse et/ou de chaleur, caractérisé en ce que le matériau des lamelles de garnissage est une mousse métallique à pores ouverts, en ce que la surface spécifique du garnissage est supérieure à 500 m²/m³ et en ce que l'épaisseur de la lamelle est inférieure à 2 mm avant l'opération de façonnage.

[0022] Selon d'autres caractéristiques facultatives :

- la surface spécifique du garnissage est supérieure à 700 m²/m³.
- l'épaisseur de la lamelle avant le passage en presse est inférieure à 0,6 mm avant l'opération de pliage.
- le matériau en mousse métallique est constitué en majorité de nickel.
- le matériau en mousse métallique est constitué en majorité de cuivre.
- le matériau en mousse métallique est constitué par un alliage de type FeCrAl.
- le matériau en mousse métallique est constitué par un alliage de type NiCrFeAl.
- le matériau en mousse métallique a une densité de pores comprise entre 10 et 130 ppi, de préférence entre 30 et 80 ppi.

[0023] Selon un autre objet de l'invention, il est prévu un procédé de séparation des gaz de l'air par distillation cryogénique dans un appareil de séparation d'air comprenant une première colonne opérant à une première pression thermiquement reliée à une deuxième colonne opérant à une deuxième pression inférieure à la première pression et éventuellement une troisième colonne reliée à la deuxième colonne par une conduite d'amenée de gaz enrichi en argon, la deuxième colonne et/ou la troisième colonne contenant un corps de garnissage composé d'un empilement de lamelles ondulées croisées pour effectuer le transfert de masse et de chaleur, les lamelles étant façonnées pour les onduler, le corps étant situé entre deux ouvertures adjacentes dans la colonne

permettant l'arrivée ou le soutirage d'un fluide, la surface spécifique du garnissage étant supérieure à $500 \text{ m}^2/\text{m}^3$, l'épaisseur de la lamelle étant inférieure à 2 mm avant l'opération de façonnage et le matériau des feuilles de garnissage est une mousse métallique à pores ouverts dans lequel on envoie un débit d'air à séparer à la première colonne, on envoie des fluides enrichis en oxygène et en azote de la première colonne à la deuxième colonne, on soutire au moins un fluide enrichi en azote de la deuxième colonne, on soutire au moins un fluide enrichi en oxygène de la deuxième colonne, on envoie le cas échéant un fluide enrichi en argon de la deuxième colonne vers la troisième colonne, la longueur parcourue par un liquide produit par séparation d'air avançant par capillarité dans la mousse pendant le temps de résidence du liquide dans le corps de garnissage étant supérieure à dix fois le pas de l'ondulation de la lamelle.

[0024] De préférence, la longueur parcourue par un liquide produit par séparation d'air avançant par capillarité dans la mousse pendant le temps de résidence du liquide dans le corps de garnissage étant supérieure à quinze fois, voire vingt fois, le pas de l'ondulation de la lamelle.

[0025] De préférence, le garnissage en mousse métallique est utilisé dans une section de colonne d'échange de matières gaz-liquide, où le reflux liquide est inférieur à $20 \text{ m}^3 / \text{h}/\text{m}^2$, de préférence inférieur à $10 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$.

[0026] A cet effet, la présente invention a pour objet un garnissage en feuilles ondulées-croisées pour une application de transfert de masse et/ou de chaleur, caractérisé en ce que :

- le matériau des feuilles de garnissage est une mousse métallique à pores ouverts,
- l'aire spécifique du garnissage est supérieure à $500 \text{ m}^2/\text{m}^3$, de préférence supérieure à $700 \text{ m}^2/\text{m}^3$,
- l'épaisseur de feuille est inférieure à 2 mm, de préférence inférieure à 0,6 mm avant passage en presse.

[0027] Un tel matériau utilisé dans des garnissages à haute densité permet de favoriser l'étalement du liquide sur les feuilles grâce aux effets capillaires induits par la porosité. L'attraction du liquide dans le matériau permet de réduire les phénomènes d'assèchement, augmente ainsi la surface effective de contact entre les phases et conduit à une meilleure efficacité des garnissages à haute densité soumis à des faibles reflux liquides.

[0028] Les effets du matériau seront d'autant plus prégnants que la surface spécifique du garnissage sera élevée. Il est donc particulièrement recommandable pour les très hautes densités, notamment supérieures à $700 \text{ m}^2/\text{m}^3$.

[0029] L'épaisseur résultante en sortie de presse, après façonnement de l'onde, est inférieure à l'épaisseur initiale. Elle est typiquement inférieure à 0,5 mm. L'épaisseur de feuille

avant le façonnage dans la presse est inférieure à 2 mm, de préférence inférieure à 0,6 mm.

- [0030] Cette faible épaisseur permet de bénéficier de l'effet d'étalement capillaire de la surface poreuse sans affecter négativement le taux de vide qui correspond au passage du gaz. En effet, une large épaisseur de matériau poreux une fois saturée de liquide est un volume mort pour l'échange gaz-liquide.
- [0031] De plus, la diffusion de matière au sein du liquide est majorée si le milieu du liquide est un milieu poreux. Ceci pénalise le transfert de matière au sein du liquide ce qui contribue à minorer l'efficacité du garnissage.
- [0032] Les essais ont montré que les mousses métalliques bien dimensionnées et adaptées aux caractéristiques du fluide employé ont un effet d'étalement supérieur à celui du métal tissé et cela avec un coût inférieur et un pliage par presse plus aisé. La mousse peut être en alliages de fer, de cuivre, d'aluminium ou de nickel. Cette large gamme de matériaux permet de s'adapter aux compatibilités des produits. Par exemple, le nickel et le cuivre sont préférés dans le cas d'une distillation avec une haute concentration en oxygène.
- [0033] Dans ces dimensions et avec des faibles reflux liquide notamment inférieurs à 20 m³ / m²/h voire à 10 m³/m²/h, les conditions hydrauliques permettent une utilisation optimale des caractéristiques de la mousse en termes de mouillage. Les aspérités dues à la forme complexe de la mousse permettent d'augmenter la surface effective de contact entre phases.
- [0034] Le transfert est amélioré par une utilisation optimale de la grande surface d'échange du garnissage à très haute densité. Cet avantage est perdu à haute charge liquide où le liquide noie ces aspérités et où le phénomène d'assèchement est très faible même pour une feuille lisse. Le bénéfice de cette invention est maximal pour les faibles débits liquides, les hautes surfaces spécifiques et les fluides mouillants.
- [0035] Le calcul d'une épaisseur de Nusselt δ du film liquide sur le garnissage nous permet d'obtenir une vitesse effective du liquide par écoulement gravitaire :

[Math.2]

$$\delta = \left(\frac{3 \mu_L u_{Ls}}{\rho_L g a_p \sin \alpha_L} \right)^{1/3}$$

$$u_{Le} = \frac{u_{Ls}}{\varepsilon a_p \delta \sin \alpha_L}$$

- [0036] On peut alors estimer le temps de résidence du liquide dans le module :

[Math.3]

$$t_{res L} = h_{pack} / u_{Le}$$

[0037] Plus les pores sont petits, plus la force capillaire est grande mais au-delà d'une certaine densité de pores, les frottements visqueux conduisent à un optimum de vitesse d'étalement. La densité de pores des mousses métalliques est généralement comprise entre 10 et 130 ppi (« pores per inch » ou « pores par pouce » ceci étant l'unité internationale utilisée dans le domaine). On peut estimer la longueur parcourue par capillarité pendant un temps donné par la formule suivante :

[Math.4]

$$l_{cap} = \sqrt{\frac{\sigma_L r_{pore} t_{res L}}{\mu_L}}$$

[0038] Cette formule nous permet de dimensionner la mousse de telle sorte que l'étalement par capillarité soit maximal étant données les caractéristiques du fluide, de la mousse et de la géométrie du garnissage. Le gain volumique devient remarquable quand la valeur de l_{cap} est supérieure à 10 fois le pas d'ondes b . Dans ces conditions, le garnissage décrit par la présente invention permet de réduire considérablement le volume d'une section de colonne pour une capacité et une pureté données.

[0039] Ces performances sont mêmes supérieures à celles des garnissages de métal tissé, grâce à la structure tridimensionnelle de la mousse avec un coût réduit.

[0040] [fig.1] schématise la géométrie typique des garnissages ondulés-croisés.

[0041] [fig.2] indique les différents paramètres géométriques d'une onde de garnissage ondulé-croisé.

[0042] [fig.3] représente la structure de matériau en métal tissé et en mousse métallique.

[0043] [fig.4] représente l'invention décrite ci-dessous par le biais d'un exemple d'utilisation dans un procédé de séparation des gaz de l'air par distillation. Celui-ci est représenté à l'aide d'un schéma simplifié en figure 4.

Description de modes de réalisation

- [0044] La Figure 1 illustre une partie d'un module de garnissages constitué par un empilement de lamelles ondulées 1,2 orientées de sorte que les ondulations se croisent d'une lamelle à l'autre. Chaque lamelle est identique et l'empilement est construit en retournant une lamelle sur deux. Les ondulations illustrées dans la Figure 2 ont un pas b , une hauteur h , une épaisseur e , une longueur développée de côté d'onde s et un angle de pli entre deux côtés d'une onde β .
- [0045] Selon l'art antérieur, les lamelles sont en aluminium perforé ou en gaze (Figure 3A). Selon la présente invention, les lamelles sont en mousse métallique (Figure 3B) ayant des pores ouverts. La surface spécifique est supérieure à $500 \text{ m}^2/\text{m}^3$, de préférence supérieure à $700 \text{ m}^2/\text{m}^3$.
- [0046] L'épaisseur e de la lamelle avant le passage en presse est inférieure à 2 mm, de préférence inférieure à 0.6 mm avant passage en presse pour former la lamelle pliée.
- [0047] Le matériau en mousse métallique peut être constitué en majorité de nickel ou en majorité de cuivre.
- [0048] Le matériau en mousse métallique peut être constitué par un alliage de type FeCrAl ou par un alliage de type NiCrFeAl.
- [0049] Le matériau en mousse métallique a une densité de pores comprise entre 10 et 130 ppi, de préférence entre 30 et 80 ppi.
- [0050] Une application industrielle de ce garnissage est la séparation des gaz de l'air par distillation cryogénique. Le procédé est schématisé en figure 4. Un débit d'air entre dans l'échangeur principal à une pression voisine de 6 bar. Il a été préalablement épuré de l'eau et du gaz carbonique qu'il contenait dans l'atmosphère.
- [0051] Il est refroidi à contre-courant par les produits sortant de la distillation cryogénique. Un système plus ou moins complexe de compresseurs et de turbines pourvoit un appoint de froid. Celui-ci compense les pertes de frigories par l'écart de température au bout froid de l'échangeur, les entrées thermiques et l'éventuelle production de liquide. Cette dernière n'est pas représentée sur le schéma.
- [0052] L'air refroidi à son point de rosée entre alors dans une première colonne de distillation 3 à moyenne pression où a lieu une rectification qui produit en tête un débit d'azote gazeux à moyenne pression. En cuve, un liquide enrichi en oxygène est sorti pour être distillé dans une deuxième colonne à basse pression 4, c'est-à-dire proche de la pression atmosphérique.
- [0053] Dans cette deuxième colonne d'épuisement 4, le liquide est encore enrichi en oxygène pour atteindre une pureté commerciale en cuve. De cette deuxième colonne 4 peut être extrait un débit d'un mélange d'oxygène et d'argon qui est alors distillé dans deux ou trois colonnes successives pour obtenir de l'argon à une pureté commerciale. Ces colonnes ne sont pas représentées sur le schéma.
- [0054] Pour obtenir un reflux liquide dans la colonne à moyenne pression 3, l'azote est

condensé dans un échangeur de chaleur. De manière analogue pour obtenir un gaz ascendant dans la colonne basse pression 4, l'oxygène est vaporisé également dans un échangeur de chaleur. En pratique, il s'agit d'un même échangeur de chaleur qui d'un côté condense l'azote liquide et de l'autre vaporise l'oxygène liquide. C'est pour que cela soit possible thermodynamiquement que la première colonne 3 est à moyenne pression où la température de liquéfaction de l'azote est légèrement supérieure à la température d'ébullition de l'oxygène à pression atmosphérique.

- [0055] Pour augmenter le taux d'extraction d'azote, on ajoute parfois un reflux d'azote liquide depuis la tête de la colonne moyenne pression 3 dans la colonne basse pression 4, pour produire en tête un peu plus d'azote. On ajoute aussi généralement un ou deux reflux liquide à une hauteur intermédiaire pour optimiser les profils des débits dans les colonnes et augmenter l'efficacité globale du procédé.
- [0056] Les conditions hydrauliques de la colonne basse pression 4 impliquent des reflux liquides relativement faibles, typiquement inférieur à $25 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$ en cuve et jusqu'à moins de $10 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$ en tête. Les garnissages utilisés sont relativement denses, d'une surface spécifique pouvant excéder $500 \text{ m}^2/\text{m}^3$.
- [0057] Dans ces conditions sans modification majeure du système de confection du garnissage, on peut remplacer le matériau généralement en feuilles d'aluminium perforées par des lamelles ondulées en mousse métallique. En cuve de colonne basse pression 4, on obtient une valeur de longueur parcourue par capillarité l_{cap} de 135mm, pour un liquide, soit 15 fois la valeur du pas b de l'onde. Les tests expérimentaux montrent qu'à capacité de traitement inchangée, la réduction de hauteur des sections garnies, c'est-à-dire la hauteur d'une lamelle 1,2, peut excéder 15%.
- [0058] Les colonnes argon ont également des reflux liquides faibles, de l'ordre de $15 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$ et en général des garnissages très denses, notamment d'une surface spécifique supérieure à $700 \text{ m}^2/\text{m}^3$. De la même manière que pour la colonne basse pression, on peut utiliser un garnissage en mousse métallique. On obtient une valeur pour l_{cap} de 126mm, soit 20 fois la valeur de la base b de l'onde. Dans ces densités élevées, la réduction de hauteur peut excéder 25% sans altérer la capacité de traitement.
- [0059] Les gains volumiques attendus en utilisant la présente invention sont d'autant plus importants que le garnissage aura une densité importante. L'effet d'étalement promu par la mousse métallique est d'autant plus significatif que la surface à irriguée est grande.
- [0060] L'oxygène liquide a une tension de surface inférieure à 13,2 mN/m, l'argon liquide inférieure à 12,6 mN/m et l'azote liquide à 8.9 mN/m à pression atmosphérique. La tension décroît avec la pression : à 5 bar, les valeurs de tension pour les mêmes liquides sont 8,7, 8,1 et 5,3 mN/m.

[Tableaux1]

Nomenclature

Symbole	Unité	Description	Symbole	Unité	Description
a_p	m^2/m^2	Surface spécifique	α	$^\circ$	Angle de plus grande pente du garnissage avec l'horizontale
b	m	Pas, base d'une onde	β	$^\circ$	Angle de pliage de l'onde
e	m	Épaisseur de feuille	δ	m	Épaisseur de film de Nusselt
g	m/s^2	Accélération gravitationnelle	ε		Taux de vide du garnissage
h	m	Hauteur d'onde	μ	Pa.s	Viscosité liquide
h_{rack}	m	Hauteur d'un pack de garnissage	ρ	kg/m^3	Masse volumique du liquide
l_{cap}	m	Longueur parcourue par capillarité	σ	N/m	Tension de surface du liquide
r_{pore}	m	Rayon du pore moyen	τ		Taux de perforation feuille
s	m	Longueur développée du côté de l'onde			
$t_{res L}$	s	Temps de résidence du liquide			
U_{Le}	m/s	Vitesse liquide effective			
U_{Ls}	m/s ou m^2/m^2	Vitesse liquide superficielle			

Revendications

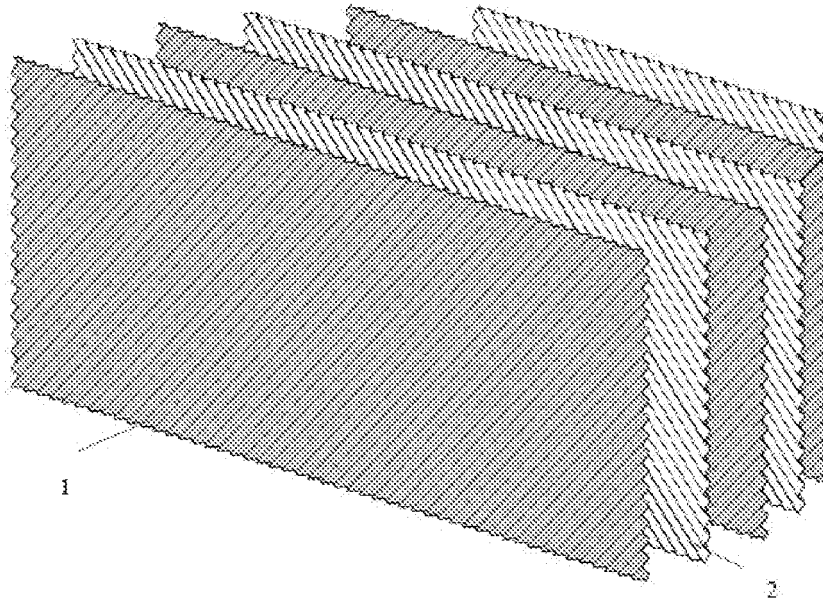
- [Revendication 1] Garnissage constitué par un empilement de lamelles (1,2), ayant été façonnées pour former des ondulations dans la lamelle et assemblées pour former un bloc de garnissage ondulé-croisé pour une application de transfert de masse et/ou de chaleur, caractérisé en ce que le matériau des lamelles de garnissage est une mousse métallique à pores ouverts, en ce que la surface spécifique du garnissage est supérieure à $500 \text{ m}^2/\text{m}^3$ et en ce que l'épaisseur (e) de la lamelle est inférieure à 2 mm avant l'opération de façonnage.
- [Revendication 2] Garnissage selon la revendication 1 dans lequel la surface spécifique du garnissage est supérieure à $700 \text{ m}^2/\text{m}^3$.
- [Revendication 3] Garnissage selon la revendication 1 ou 2 dans lequel l'épaisseur de la lamelle (1,2) avant le passage en presse est inférieure à 0.6 mm avant l'opération de pliage.
- [Revendication 4] Garnissage selon la revendication 1, 2 ou 3, caractérisé en ce que le matériau en mousse métallique est constitué en majorité de nickel.
- [Revendication 5] Garnissage selon la revendication 1, 2 ou 3, caractérisé en ce que le matériau en mousse métallique est constitué en majorité de cuivre.
- [Revendication 6] Garnissage selon la revendication 1, 2 ou 3, caractérisé en ce que le matériau en mousse métallique est constitué par un alliage de type FeCrAl.
- [Revendication 7] Garnissage selon la revendication 1, 2 ou 3, caractérisé en ce que le matériau en mousse métallique est constitué par un alliage de type NiCrFeAl.
- [Revendication 8] Garnissage selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que le matériau en mousse métallique a une densité de pores comprise entre 10 et 130 ppi, de préférence entre 30 et 80 ppi.
- [Revendication 9] Procédé de séparation des gaz de l'air par distillation cryogénique dans un appareil de séparation d'air comprenant une première colonne (3) opérant à une première pression thermiquement reliée à une deuxième colonne (4) opérant à une deuxième pression inférieure à la première pression et éventuellement une troisième colonne reliée à la deuxième colonne par une conduite d'amenée de gaz enrichi en argon, la deuxième colonne et/ou la troisième colonne contenant un corps de garnissage composé d'un empilement de lamelles ondulées croisées (1,2) pour effectuer le transfert de masse et de chaleur, les lamelles étant façonnées pour les onduler, le corps étant situé entre deux ouvertures

adjacentes dans la colonne permettant l'arrivée ou le soutirage d'un fluide, la surface spécifique du garnissage étant supérieure à $500 \text{ m}^2/\text{m}^3$, l'épaisseur de la lamelle étant inférieure à 2 mm avant l'opération de façonnage, le matériau des feuilles de garnissage est une mousse métallique à pores ouverts dans lequel on envoie un débit d'air à séparer à la première colonne, on envoie des fluides enrichis en oxygène et en azote de la première colonne à la deuxième colonne, on soutire au moins un fluide enrichi en azote de la deuxième colonne, on soutire au moins un fluide enrichi en oxygène de la deuxième colonne, on envoie le cas échéant un fluide enrichi en argon de la deuxième colonne vers la troisième colonne, la longueur parcourue par un liquide produit par séparation d'air avançant par capillarité dans la mousse pendant le temps de résidence du liquide dans le corps de garnissage étant supérieure à dix fois le pas (b) de l'ondulation de la lamelle.

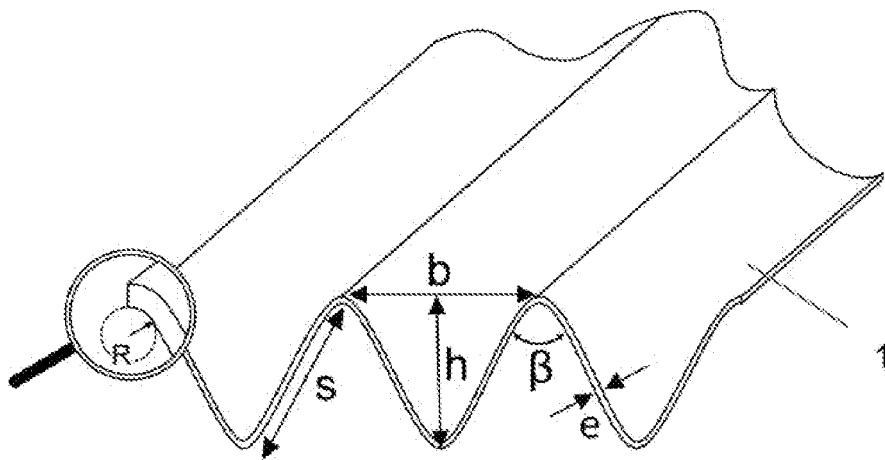
[Revendication 10]

Procédé selon la revendication 9 où le garnissage en mousse métallique est utilisé dans une section de colonne d'échange de matières gaz-liquide (4), où le reflux liquide est inférieur à $20 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$, de préférence inférieur à $10 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$.

[Fig. 1]



[Fig. 2]



RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveau) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

Le demandeur a maintenu les revendications.

Le demandeur a modifié les revendications.

Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.

Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.

Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.

Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.

Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION

NEANT

2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN TECHNOLOGIQUE GENERAL

CN 105 771 873 A (CCEED IND EQUIPMENT
INSTALLATION CO LTD; UNIV TIANJIN)
20 juillet 2016 (2016-07-20)

FR 2 675 568 A1 (AIR LIQUIDE [FR])
23 octobre 1992 (1992-10-23)

US 2019/046949 A1 (HIRSCHBERG SEBASTIAN
[CH]) 14 février 2019 (2019-02-14)

US 2015/136582 A1 (TAKEYAMA TOMOKIYO [JP]
ET AL) 21 mai 2015 (2015-05-21)

WO 01/94006 A2 (ABB LUMMUS GLOBAL INC
[US]) 13 décembre 2001 (2001-12-13)

EP 3 263 211 A1 (ALANTUM EURO GMBH)
3 janvier 2018 (2018-01-03)

FR 2 990 631 A1 (AIR LIQUIDE [FR])
22 novembre 2013 (2013-11-22)

3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND DE LA VALIDITE DES PRIORITES

NEANT