



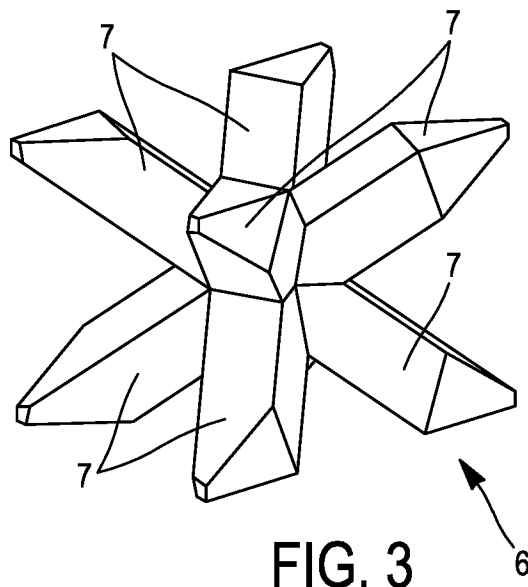
(12) **DEMANDE DE BREVET CANADIEN
CANADIAN PATENT APPLICATION**

(13) **A1**

(86) Date de dépôt PCT/PCT Filing Date: 2019/12/17
(87) Date publication PCT/PCT Publication Date: 2020/06/25
(85) Entrée phase nationale/National Entry: 2021/06/18
(86) N° demande PCT/PCT Application No.: EP 2019/085696
(87) N° publication PCT/PCT Publication No.: 2020/127300
(30) Priorité/Priority: 2018/12/20 (FR FR1873559)

(51) Cl.Int./Int.Cl. *F02G 1/043* (2006.01),
B33Y 10/00 (2015.01), *F02F 1/00* (2006.01),
F02G 1/044 (2006.01)
(71) Demandeur/Applicant:
UNIVERSITE DE FRANCHE-COMTE, FR
(72) Inventeurs/Inventors:
DJETEL-GOTHE, STEVE, FR;
DOUBS, MATHIEU, FR;
KAHALERAS, MOHAMED SAID, FR;
LANZETTA, FRANCOIS, FR;
LAYES, GUILLAUME, FR
(74) Agent: ANGLEHART ET AL.

(54) Titre : REGENERATEUR ET PROCEDE DE FABRICATION D'UN TEL REGENERATEUR
(54) Title: REGENERATOR AND METHOD FOR MANUFACTURING SUCH A REGENERATOR



(57) Abrégé/Abstract:

L'invention se rapporte à un régénérateur monobloc (1) comprenant au moins deux portions (3) au moins une des portions présente une porosité différente d'une porosité d'une portion voisine et chacune des portions du régénérateur est réalisée dans un matériau rigide poreux présentant une porosité donnée.

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la
Propriété Intellectuelle
Bureau international(10) Numéro de publication internationale
WO 2020/127300 A1(43) Date de la publication internationale
25 juin 2020 (25.06.2020)

(51) Classification internationale des brevets :

F02G 1/043 (2006.01) F02G 1/044 (2006.01)

F02F 1/00 (2006.01) B33Y 10/00 (2015.01)

(21) Numéro de la demande internationale :

PCT/EP2019/085696

(22) Date de dépôt international :

17 décembre 2019 (17.12.2019)

(25) Langue de dépôt :

français

(26) Langue de publication :

français

(30) Données relatives à la priorité :

FR1873559 20 décembre 2018 (20.12.2018) FR

(71) Déposant : UNIVERSITE DE FRANCHE-COMTE

[FR/FR] ; 1 rue Claude Goudimel, 25000 BESANÇON (FR).

(72) Inventeurs : DJETEL-GOTHE, Steve ; 36 Faubourg de

Lyon, 90000 BELFORT (FR). DOUBS, Mathieu ; 11 rue du Paquis, 90300 VETRIGNE (FR). KAHALERAS, Mohamed Said ; 93a rue Tudelle, 45100 ORLEANS (FR). LANZETTA, François ; 8 rue du Docteur Duvernoy, 90000 BELFORT (FR). LAYES, Guillaume ; 7 rue du Capitaine Degombert, 90000 BELFORT (FR).

(74) Mandataire : IPAZ ; Parc Les Algorithmes, Bâtiment Platon, CS 70003 Saint-Aubin, 91192 GIF-SUR-YVETTE Cedex (FR).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO,

AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasién (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée:

— avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))

(54) Title: REGENERATOR AND METHOD FOR MANUFACTURING SUCH A REGENERATOR

(54) Titre : REGENERATEUR ET PROCEDE DE FABRICATION D'UN TEL REGENERATEUR

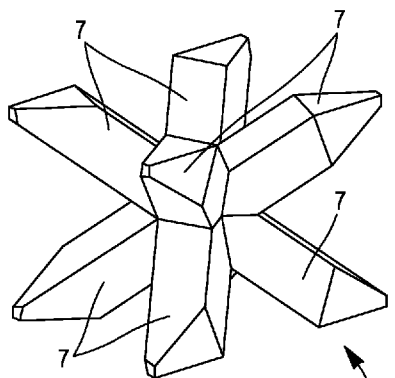


FIG. 3

(57) Abstract: The invention relates to a single-piece regenerator (1) comprising at least two portions (3), at least one of the portions having a porosity which differs from a porosity of an adjacent portion, and each of the portions of the regenerator being made of a porous rigid material with a given porosity.

(57) Abrégé : L'invention se rapporte à un régénérateur monobloc (1) comprenant au moins deux portions (3) au moins une des portions présente une porosité différente d'une porosité d'une portion voisine et chacune des portions du régénérateur est réalisée dans un matériau rigide poreux présentant une porosité donnée.



WO 2020/127300 A1

DESCRIPTION

TITRE : Régénérateur et procédé de fabrication d'un tel régénérateur

Domaine technique

La présente invention se rapporte au domaine des régénérateurs pour dispositifs à apport de chaleur externe et machines frigorifiques.

La présente invention concerne en particulier un régénérateur destiné à être utilisé dans un moteur ou dans une machine frigorifique à cycle de Stirling.

Etat de la technique antérieure

On connaît dans l'état de la technique antérieure des régénérateurs composés d'un assemblage par empilement de disques poreux, tels que des treillis métalliques, placés au contact les uns des autres. L'assemblage est inséré dans un support, généralement un tube, et les éléments sont enserrés et maintenus pressés dans le support de sorte à former le régénérateur.

On connaît également dans l'état de la technique des régénérateurs réalisés à partir de matériaux fibreux micrométriques ou nanométriques, tels que du graphite pyrolytique ou des mailles métalliques. Ces matériaux fibreux sont introduits dans un tube puis compressés à l'intérieur de celui-ci par application d'une pression donnée.

20

Les régénérateurs de l'état de la technique présentent l'inconvénient de voir leur porosité et leur diamètre hydraulique varier au cours du temps. La pression exercée par les gaz et les dilatations successives du matériau poreux, dues aux températures élevées des gaz, entraînent des modifications structurelles et géométriques de l'assemblage. De plus, lorsque les régénérateurs de l'état de la technique assurent un bon échange thermique avec le gaz, ils présentent des diamètres hydrauliques faibles entraînant des pertes de charge conséquentes lors de la circulation du gaz dans le régénérateur.

30

Un but de l'invention est notamment de :

- proposer un régénérateur dont la porosité ne varie pas au fil des passages

successifs des gaz, et/ou

- proposer un régénérateur dont le diamètre hydraulique ne varie pas au fil des passages successifs des gaz, et/ou
- proposer un régénérateur dont les pertes de charge sont faibles comparées aux pertes de charges des régénérateurs de l'état de la technique, et/ou
- proposer un régénérateur dont les pertes par conduction thermique dans le sens de circulation des gaz sont limitées.

10 Présentation de l'invention

A cet effet, selon un premier aspect de l'invention, il est proposé un régénérateur monobloc comprenant au moins deux portions. Au moins une des portions présente une porosité différente d'une porosité d'une portion voisine et chacune des portions du régénérateur est réalisée dans un matériau rigide poreux présentant une porosité donnée.

Le régénérateur peut comprendre uniquement deux portions.

Une portion peut être entendue comme une partie du régénérateur. Une portion peut être entendue comme un volume d'une partie du régénérateur.

20 Le terme « voisine » peut être entendu comme contiguë.

Les portions du régénérateur peuvent être réalisées dans des matériaux différents.

Les portions du régénérateur peuvent être réalisées dans un même matériau.

25 Par « monobloc », il est entendu d'un seul tenant.

Le régénérateur monobloc peut être obtenu par assemblage de portions entre elles.

De manière préférée, le régénérateur monobloc peut être obtenu au cours d'une même étape de fabrication.

30 De manière préférée, le régénérateur monobloc peut être fabriqué par impression 3D.

De manière préférée, le régénérateur monobloc peut être fabriqué d'un seul tenant dans un même matériau par impression 3D.

35 Par matériau rigide, il est entendu un matériau qui se déforme peu sous la pression exercée par des gaz le traversant.

Le matériau peut présenter un module d'Young compris entre 20 GPa et 500 GPa.

Les porosités des portions peuvent varier de manière alternée ou séquentielle.

La porosité peut varier selon une direction d'écoulement des gaz et/ou selon une direction normale à la direction d'écoulement des gaz.

La porosité peut varier selon une direction comprise entre la direction d'écoulement des gaz et la direction normale à la direction d'écoulement des gaz.

Etant entendu que l'écoulement des gaz au sein du régénérateur s'effectue dans un sens puis dans l'autre au cours d'un même cycle, d'une partie chaude vers une partie froide d'un dispositif dans lequel est intégré le régénérateur puis de la partie froide vers la partie chaude dudit dispositif, une direction d'écoulement des gaz s'entend uniquement en regard de la direction sans considération du sens d'écoulement.

Une portion s'étend entre deux sections du régénérateur, chacune des sections étant normales à une direction reliant une extrémité à l'autre du régénérateur.

Une section est entendue comme étant l'intersection d'un volume par un plan.

La direction reliant une extrémité à l'autre du régénérateur peut être identique à la direction d'écoulement des gaz.

La direction reliant une extrémité à l'autre du régénérateur peut être différente de la direction d'écoulement des gaz.

Des portions du régénérateur situées aux extrémités du régénérateur, dites portions d'extrémités, peuvent présenter une ou des porosités inférieures à une porosité, ou respectivement des porosités, d'une portion, ou respectivement de portions, située entre les portions d'extrémités.

Les portions d'extrémités peuvent présenter chacune une porosité inférieure à une porosité d'une portion quelconque située entre les portions d'extrémités.

Une portion présentant la porosité la plus élevée du régénérateur
5 peut être située entre les portions d'extrémités du régénérateur.

Les porosités des portions du régénérateur peuvent augmenter depuis un plan central du régénérateur vers les extrémités du régénérateur, ledit plan central passant par le centre du régénérateur et étant
10 perpendiculaire à la direction d'écoulement des gaz.

Les portions du régénérateur peuvent être agencées de manière symétrique par rapport au plan central du régénérateur.

Le plan central du régénérateur peut être compris dans la portion
15 dont la porosité est la plus forte du régénérateur.

La portion dont la porosité est la plus forte du régénérateur peut présenter une porosité égale à 1.

Plusieurs portions du régénérateur peuvent présenter une porosité
20 égale à 1.

La porosité peut être comprise entre 0 et 1 par unité de volume et/ou entre 0 et 1 par unité de longueur. Le rapport entre les porosités de portions voisines peut être supérieur à 1.
25

Le matériau rigide poreux peut être composé d'un ensemble de cellules contiguës agencées spatialement les unes par rapport aux autres, une ou chacune parmi des surfaces de contact de chacune des cellules avec le gaz forment un angle compris entre 5° et 85° par rapport à la direction
30 d'écoulement des gaz.

Etant donné que le régénérateur est monobloc, il est entendu par cellule, une structure identifiable du régénérateur.

La structure peut être identifiable par sa géométrie.

Dans ce cas, le terme « contiguës » est entendu comme accolées.

L'angle que forme la ou chacune des surfaces de contact de chacune des cellules avec le gaz par rapport à la direction d'écoulement des gaz peut varier le long de la ou de chacune des surfaces.

La ou chacune des surfaces de contact de chacune des cellules avec le gaz peuvent former un angle compris entre 20° et 70°, de préférence entre 30° et 60°, par rapport à la direction d'écoulement des gaz.

La ou chacune des surfaces de contact de chacune des cellules avec le gaz peuvent former un angle de 45° par rapport à la direction d'écoulement des gaz.

10 Des portions du régénérateur peuvent ne pas contenir de cellules.

Chaque cellule peut comprendre au moins quatre éléments oblongs s'étendant depuis le centre de la cellule, chacun des éléments formant un angle compris entre 5° et 85° par rapport à la direction d'écoulement des gaz.

Les éléments oblongs peuvent constituer la ou chacune des surfaces de contact de chacune des cellules avec le gaz.

La ou chacune des surfaces de contact de chacun des éléments oblongs avec le gaz peuvent former un angle compris entre 20° et 70°, de préférence entre 30° et 60°, par rapport à la direction d'écoulement des gaz.

La ou chacune des surfaces de contact de chacun des éléments oblongs avec le gaz peuvent former un angle de 45° par rapport à la direction d'écoulement des gaz.

25

Deux cellules contiguës peuvent être physiquement reliées ensemble :

- par au moins un de leurs éléments oblongs, ou
- par une couche de matériau à laquelle est relié au moins un de leurs

30 éléments oblongs.

Une cellule peut être reliée à au moins deux cellules contiguës.

Un élément oblong peut être relié à plusieurs cellules contiguës.

La couche de matériau peut séparer deux cellules contiguës.

La couche de matériau peut être plane et continue.

De préférence, la couche de matériau s'étend selon la direction d'écoulement des gaz.

De préférence, deux cellules contiguës peuvent être physiquement reliées ensemble :

- 5 - par au moins deux de leurs éléments oblongs,
- par une couche de matériau à laquelle est relié au moins deux de leurs éléments oblongs.

Le régénérateur peut comprendre deux couches de matériaux.

De préférence, chacune des couches de matériau s'étend selon la
10 direction d'écoulement des gaz.

Le régénérateur peut comprendre plus de deux couches de matériau.

Lorsque le régénérateur comprend deux couches de matériau, les deux couches peuvent être perpendiculaires entre elles.

- 15 Les éléments oblongs peuvent être, à titre d'exemple non limitatif, une tige, un cône ou encore un triangle.

Les éléments oblongs des cellules peuvent être symétriques deux à deux par rapport à un ou plusieurs plans de symétrie comprenant le centre
20 de la cellule.

Chaque cellule peut comprendre un seul plan par rapport auquel tous les éléments oblongs sont symétriques deux à deux.

Au sein d'une même cellule, au moins deux éléments oblongs
25 peuvent s'étendre d'un côté et au moins deux autres éléments oblongs peuvent s'étendre de l'autre côté d'un plan comprenant le centre de la cellule et étant normal à la direction d'écoulement des gaz.

Une ou plusieurs cellules peuvent comprendre deux éléments oblongs s'étendant d'un côté et deux autres éléments oblongs s'étendant de l'autre
30 côté d'un plan comprenant le centre de la cellule et étant normal à la direction d'écoulement des gaz. Dans ce cas, la ou les cellules peuvent comprendre uniquement quatre éléments oblongs.

Toutes les cellules du régénérateur peuvent être identiques.
35

Une ou des cellules du régénérateur peuvent comprendre huit tiges formant chacune un angle de 45° par rapport à la direction d'écoulement des gaz et formant un angle de 90° entre elles au sein d'une même cellule.

5 Le matériau rigide poreux peut être un métal, un alliage ou un plastique.

Il est également proposé un procédé de fabrication d'un dispositif selon le premier aspect de l'invention par impression 3D.

10 Le procédé de fabrication peut être un procédé d'impression 3D par fusion de poudres.

Le procédé de fabrication peut être un procédé d'impression 3D par fusion de poudres métalliques.

15 Le procédé de fabrication peut être un procédé d'impression 3D par frittage laser de poudres métalliques.

Description des figures

D'autres avantages et particularités de l'invention apparaîtront à la lecture de la description détaillée de mises en œuvre et de modes de 20 réalisation nullement limitatifs, et des dessins annexés suivants :

[Fig. 1] la FIGURE 1 est une représentation schématique d'une vue de profil d'un régénérateur comportant trois portions,

[Fig. 2] la FIGURE 2 est une représentation schématique d'une vue de profil d'un régénérateur comportant six portions,

25 [Fig. 3] la FIGURE 3 est une représentation schématique d'une cellule selon l'invention,

[Fig. 4] la FIGURE 4 est une représentation schématique d'un agencement de cellules contiguës selon une direction,

30 [Fig. 5] la FIGURE 5 est une représentation schématique d'un volume du régénérateur comprenant des cellules contiguës reliées par une couche de matériau,

[Fig. 6] la FIGURE 6 est une représentation schématique d'une vue de profil d'un régénérateur comprenant une alternance de portions de porosités différentes,

[Fig. 7] la FIGURE 7 est une représentation d'une vue de profil d'un régénérateur comprenant une alternance de portions contenant des cellules contiguës les unes aux autres et de portions ne contenant pas de cellules.

5 Description des modes de réalisation

Les modes de réalisation décrits ci-après étant nullement limitatifs, on pourra notamment considérer des variantes de l'invention ne comprenant qu'une sélection de caractéristiques décrites, isolées des autres caractéristiques décrites (même si cette sélection est isolée au sein d'une
10 phrase comprenant ces autres caractéristiques), si cette sélection de caractéristiques est suffisante pour conférer un avantage technique ou pour différencier l'invention par rapport à l'état de la technique antérieure. Cette sélection comprend au moins une caractéristique, de préférence fonctionnelle sans détails structurels, ou avec seulement une partie des
15 détails structurels si cette partie uniquement est suffisante pour conférer un avantage technique ou pour différencier l'invention par rapport à l'état de la technique antérieure.

Les régénérateurs sont destinés à être utilisés au sein de dispositifs
20 dans lesquels une circulation de gaz entre une zone chaude et une zone froide intervient. Les propriétés structurelles du régénérateur sont adaptées aux conditions d'utilisation du régénérateur 1, telles que le type de gaz le traversant, la température du gaz chaud et froid le traversant, la pression du gaz ainsi que les contraintes dimensionnelles imposées par le dispositif
25 dans lequel il doit être intégré.

De manière générale, les performances du régénérateur 1 sont liées à sa capacité à :

- stocker de la chaleur provenant d'un gaz chaud le traversant dans un sens donné 4 pendant que ce dernier voit sa température et sa pression diminuer
30 lors de la traversée,
- restituer, ou déstocker, la chaleur emmagasinée à un gaz froid le traversant en sens opposé 5 pendant que ce dernier voit sa température augmenter et sa pression diminuer lors de la traversée.

Les échanges thermiques instationnaires entre le régénérateur 1 et le
35 gaz le traversant sont donc améliorés lorsque la surface d'échange du

régénérateur 1 augmente. En pratique, les dimensions du régénérateur 1 étant fixées, la surface d'échange du régénérateur peut être augmentée en diminuant la porosité du régénérateur 1.

Néanmoins, la diminution de la porosité résulte en une augmentation
5 des pertes de charge, c'est-à-dire des frottements entre le gaz et la surface d'échange du régénérateur 1. Ces pertes ne peuvent être compensées que par une augmentation de la pression à laquelle le gaz chaud est injecté dans le régénérateur 1. Ces pertes résultent en une baisse de l'efficacité thermodynamique du dispositif.

10 Aussi, afin d'améliorer les échanges thermiques instationnaires sans augmenter les pertes de charge, il est proposé un régénérateur monobloc 1 comprenant des volumes de porosités différentes agencés le long de la direction d'écoulement des gaz. En référence à la FIGURE 1, il est décrit, dans un premier aspect de l'invention, un régénérateur monobloc 1
15 comprenant trois portions P1, P2 et P3 présentant des valeurs de porosités PO1, PO2 et PO3. Selon le premier aspect de l'invention, le régénérateur 1, c'est-à-dire les parois 2 et le matériau poreux 9 composant les portions 3 (des exemples de portions sont illustrées sur les FIGURES 3 à 7) est d'un seul tenant. Le matériau utilisé est rigide et choisi en fonction de
20 l'application visée. Il présente un module d'Young compris entre 20 et 500 GPa. Il doit généralement être étanche et non réactif chimiquement au type de gaz circulant dans le régénérateur et supporter des contraintes thermomécaniques conséquentes. La portion P1 est située du côté de la zone de froide du dispositif et P3 du côté de la zone chaude. Au cours d'un
25 cycle thermodynamique, les gaz circulent depuis la zone chaude vers la zone froide et inversement. Aussi, la notion de direction d'écoulement n'implique pas de notion de sens dans la présente demande.

Le fait que le régénérateur 1 soit monobloc assure une conservation de la porosité globale et de la surface d'échange du régénérateur au cours
30 du temps. Les fortes contraintes, en particulier en termes de pressions et de températures des gaz traversant le régénérateur 1, auxquelles est soumis le régénérateur 1 entraînent une modification de la porosité et de la surface d'échange des régénérateurs de l'état de l'art au cours du temps. Les dilatations et les forces exercées par le gaz chaud sous pression au cours
35 des cycles successifs modifient peu à peu la structure des régénérateurs de

l'état de l'art. Cela aboutit à une diminution des performances dans le temps des régénérateurs de l'état de l'art et du dispositif dont ils font partie. Le caractère monobloc du régénérateur 1 selon l'invention permet de s'affranchir de ces effets, ce qui lui permet de conserver une porosité et une surface d'échange constante au cours du temps. Ses performances dans le temps sont donc améliorées.

Le régénérateur 1 peut être utilisé dans tout type de dispositif à apport de chaleur externe qu'il soit moteur, pour la production d'électricité par exemple, ou réfrigérateur pour la production de froid. Les caractéristiques du régénérateur 1 sont intimement liées aux conditions d'utilisation pour lesquelles il est conçu.

Pour améliorer l'efficacité du stockage/déstockage de chaleur, le régénérateur 1 est agencé de sorte que les extrémités P1, P3 présentent les plus faibles valeurs de porosités de sorte à maximiser les échanges thermique aux extrémités du régénérateur 1. Cela permet également de maximiser le stockage/déstockage de chaleur dans le matériau rigide poreux 9 constituant les parties P1 et P3. Cela permet en outre de stocker la majorité de la chaleur dans la partie du régénérateur 1 située du côté de la zone chaude du dispositif.

De manière conjointe, l'introduction d'une partie centrale P2 présentant une valeur de porosité PO2 supérieure aux valeurs de porosités PO1, PO3 des extrémités P1, P3 du régénérateur 1, permet de diminuer considérable la conduction thermique du régénérateur 1 dans le sens de l'écoulement des gaz. En effet, un des objectifs du régénérateur 1 est de limiter la transmission, par le gaz, de chaleur depuis la partie chaude vers la partie froide et inversement. La limitation de la conduction thermique du régénérateur 1 dans le sens de l'écoulement des gaz améliore ainsi les performances du régénérateur 1 et le rendement du dispositif dans lequel le régénérateur 1 est destiné à être intégré. Cela permet également de diminuer les pertes de charges et ainsi d'améliorer encore l'efficacité du régénérateur 1.

Selon une première variante, la valeur de porosité de PO1 est différente de la valeur de porosité PO3. Dans ce cas, PO2 peut être égale à PO3 ou à PO1, ou être différente de PO3 et PO1. De manière avantageuse,

la valeur de porosité PO3 est inférieure à la valeur de porosité PO1 qui est inférieure à PO2.

La différence de porosité entre PO1 et PO3 peut, en outre, permettre d'introduire, et de contrôler et/ou moduler, un déphasage entre la pression
5 et un débit de gaz, et/ou un profil de vitesse d'écoulement des gaz.

Selon une deuxième variante particulièrement adaptée au cas des régénérateurs utilisés dans les machines Stirling, fonctionnant en mode moteur ou récepteur, la valeur de porosité PO1 est égale à PO3, dans ce cas
10 la valeur de porosité PO2 est différente de la valeur PO1 et PO3.

Afin d'améliorer encore les performances du régénérateur 1, il est décrit, en référence à la FIGURE 2, dans une troisième variante, un régénérateur monobloc 1 comprenant six compartiments P1 à P7 présentant
15 des valeurs de porosités respectives PO1 à PO7. Hormis le nombre de compartiments détaillés dans les premières et deuxièmes variantes, l'ensemble des caractéristiques du régénérateur selon le premier aspect de l'invention sont partagées avec la troisième variante.

Cette troisième variante permet d'améliorer encore les performances
20 du régénérateur 1 en faisant varier les valeurs de porosités d'une portion du régénérateur 1 à l'autre. En effet, comme évoquée précédemment, la limitation de la conduction thermique du régénérateur 1 dans le sens de l'écoulement des gaz améliore les performances du régénérateur 1 et le rendement du dispositif dans lequel le régénérateur 1 est destiné à être
25 intégré. De plus, cette alternance de portions à forte et faible porosité vise à augmenter le diamètre hydraulique global du régénérateur 1 de sorte à diminuer les pertes de charge globale tout en conservant une surface d'échange équivalente. A cet effet, dans la troisième variante, les portions P1 et P7 présentent des valeurs de porosité PO1 et PO7 élevées et
30 supérieures aux valeurs de porosités PO2 et PO6 des portions P2 et P6. Les autres valeurs de porosité PO3, PO4 et PO5 des portions P3, P4 et P5 respectives sont définies en fonction de l'application et des paramètres de fonctionnement du dispositif dans lequel le régénérateur 1 sera intégré.

Dans un premier mode préféré de la troisième variante, la valeur de
35 porosité PO1 est égale à PO7 et la valeur de porosité PO2 est égale à PO6.

A titre d'exemple, les valeurs de porosités PO3, PO4 et PO5 peuvent être égales entre elles, et supérieures, ou inférieures, aux valeurs de porosités PO2 et PO6.

Dans un deuxième mode préféré de la troisième variante, une portion
5 P_i donnée du régénérateur 1 ayant une valeur de porosité PO_i voit sa ou ses portions voisines P_{i+1} et/ou P_{i-1} présenter une ou des valeurs de porosités PO_{i+1} et/ou PO_{i-1} inférieure(s) ou supérieure(s) à PO_i .

Dans ce deuxième mode préféré de la troisième variante, les valeurs
de porosités PO1, PO3, PO5 et PO7 sont égales entre elles et inférieures aux
10 valeurs de porosités PO2, PO4 et PO6 qui sont égales entre elles.

Dans ce deuxième mode préféré de la troisième variante, les valeurs
de porosités PO1, PO3, PO5 et PO7 sont égales entre elles et inférieures aux
valeurs de porosités PO2, PO4 et PO6 qui peuvent être égales à 1. Dans ce
cas, les portions P1, P4 et P6 ne comportent pas de matériau poreux 9.

15

Les valeurs de porosités des portions sont définies en fonction des
paramètres de fonctionnement liés à l'utilisation pour laquelle le
régénérateur 1 est prévu. Ces paramètres de fonctionnement comprennent,
entre autres, le type de gaz, les pressions et températures des gaz ainsi
20 que la fréquence de fonctionnement du dispositif dans lequel le
régénérateur est destiné à être intégré. Aussi, en fonction de la puissance
thermique à échanger requise, la surface d'échange minimale requise sera
connue. Dès lors, la taille du régénérateur 1, le nombre de portions, les
tailles et agencements des portions ainsi que les porosités des portions
25 seront agencées de sorte que le diamètre hydraulique, et donc les pertes de
charges, soient minimaux. En particulier, le diamètre hydraulique des
canaux d'écoulements présents dans les portions dont la porosité est
inférieure à 1, s'étendant le long du régénérateur 1 doivent être diminués
pour maximiser les échanges thermiques entre le gaz et le régénérateur 1
30 mais suffisamment faible pour ne pas introduire de pertes de charges trop
élevées. En pratique, le diamètre hydraulique des canaux d'écoulements est
supérieur ou égal à l'épaisseur de la couche limite thermique. Le diamètre
hydraulique des canaux d'écoulements est inférieur à quelques fois
l'épaisseur de la couche limite thermique. Le diamètre hydraulique des
35 canaux d'écoulements est de préférence inférieur ou égal à dix fois, de

préférence encore inférieur ou égal à cinq fois, et de manière d'avantage préférée inférieur ou égal à deux fois l'épaisseur de la couche limite thermique.

Ces paramètres sont extrêmement variables selon l'utilisation, aussi
5 selon le premier aspect de l'invention, les valeurs de porosités PO1 à PO3, ou PO1 à PO7, des portions P1 à P3, ou P1 à P7, respectives pourront varier entre 0 et 1. De préférence, la valeur de porosités des portions présentant une valeur de porosité élevée sera comprise entre 0,8 et X1 alors que la valeur de porosité des portions présentant une faible valeur de porosité sera
10 comprise entre 0,1 et 0,3.

La porosité peut être comprise entre 0 et 1 par unité de volume et/ou entre 0 et 1 par unité de longueur. Le rapport entre les porosités de portions voisines peut être supérieur à 1.

15

De manière d'avantage préférée, l'ensemble du régénérateur 1, c'est-à-dire les parois 2 et le matériau composant les portions 3 (voir FIGURES 3 à 7), est réalisé d'un seul bloc par fusion de poudres métalliques et en particulier par frittage laser de poudres métalliques. Le régénérateur 1 est
20 fabriqué d'un seul tenant au cours d'un prototypage 3D. Le régénérateur 1 peut être réalisé dans différents matériaux métalliques ou non. A la différence des régénérateurs dans lesquels les parties sont formées séparément puis assemblées entre elles, l'homogénéité et le contrôle de la porosité du régénérateur 1 selon l'invention, réalisé d'un seul bloc par
25 prototypage 3D, sont substantiellement améliorés. De plus, la réalisation du régénérateur 1 d'un seul tenant, durant un même procédé de fabrication, améliore également les performances thermiques et mécaniques du régénérateur 1.

30

Selon un deuxième aspect de l'invention, en référence aux FIGURES 3, 4 et 5, il est décrit une géométrie particulière du matériau rigide poreux 9 constituant les portions 3, dont la porosité est inférieure à 1, du régénérateur monobloc 1. Comme déjà évoqué, certaines portions 3 du régénérateur 1 peuvent ne pas contenir de matériau poreux 9, dans ce cas
35 la porosité des portions 3 en question est égale à 1. La géométrie du matériau rigide poreux 9 du régénérateur 1 est adaptée, en particulier, en

fonction de la fréquence de fonctionnement du régénérateur 1. Aussi, la géométrie sera définie de sorte à ce que chaque portion 3 présente une valeur de porosité donnée et un diamètre hydraulique le plus faible possible. En pratique le nombre de portions, les tailles et agencements des portions 3 ainsi que les porosités des portions 3 sont définies en fonction de la géométrie et des autres paramètres de fonctionnement.

Aussi, le second aspect de l'invention concernera, en particulier, un régénérateur 1 destiné à être intégré dans une machine Stirling (motrice ou réceptrice). La machine Stirling 1 pourra relever d'une architecture de type Alpha, Bêta ou Gamma, voir une combinaison de ces architectures. Dans le cas de régénérateurs 1, ces derniers doivent présenter une longueur minimale L_1 permettant de séparer suffisamment la partie froide de la partie chaude de la machine Stirling. Les dimensions du régénérateur 1 sont donc définies en fonction du dimensionnement de la machine Stirling. Le régénérateur 1 pour moteur Stirling Bêta selon le mode de réalisation présente une longueur L_1 de 10 cm au maximum. La fréquence de fonctionnement du moteur Stirling Bêta est de 50 Hz au maximum. Les pressions de services des gaz sont de l'ordre de 120 bars et la température du gaz chaud de l'ordre de 900 °C. Aucune modification de la porosité ni de la résistance hydraulique du régénérateur 1 n'est observée au cours du temps.

La géométrie particulière du matériau rigide poreux 9 présentée, en particulier sur la FIGURE 5, dans le second aspect de l'invention pourra évidemment convenir aux autres utilisations pour lesquelles un régénérateur 1 peut être utilisé.

Selon le second aspect de l'invention, le matériau rigide poreux 9 des portions 3 dont la porosité est inférieure à 1 est constitué d'un ensemble de cellules de base 6 contiguës les unes aux autres. L'ensemble des cellules 6 d'une portion 3 sont formées d'un seul tenant par fusion de poudres métalliques au cours du même procédé de prototypage 3D, illustré en particulier sur la FIGURE 4. A titre d'exemple, selon le second aspect de l'invention, le régénérateur 1 est de préférence réalisé en INOX 316L pour son étanchéité à l'hélium, sa résistance aux pressions, aux températures élevées, à la fatigue et à la corrosion.

Chaque cellule 6 du régénérateur 1 comprend huit tiges 7 s'étendant à partir du centre de la cellule 6. Chaque tige 7 d'une cellule 6 forme un angle de 45° par rapport à la direction d'écoulement des gaz. Les tiges 7 d'une cellule 6 forment un angle de 90° entre elles. Ainsi, chacune des tiges 7 de chacune des cellules 6 forme un angle de 45° par rapport à la direction d'écoulement des gaz. De manière avantageuse, au sein d'une même portion 3, la taille des cellules 6 est identique. La porosité de chaque portion 3 comprenant l'INOX 316L poreux 9 est modulée en modifiant la taille des cellules 6 composant la portion 3 en question et en modifiant la longueur de la portion 3 en question.

De manière préférée, une couche 8 plane d'INOX 316L est introduite entre deux cellules 6 contiguës. Chaque cellule 6 est circonscrite entre six couches 8 d'INOX 316L parallèles deux à deux et formant un carré dans lequel la cellule 6 en question est inscrite. Chacune des couches 8 d'INOX 316L s'étend selon la direction d'écoulement des gaz et selon une des deux directions perpendiculaires à la direction d'écoulement des gaz. Aucun angle n'est formé entre la direction d'écoulement des gaz et les couches 8 d'INOX 316L. Au sein de la structure poreuse 9 d'INOX 316L des portions 3 dont du régénérateur 1 dont la porosité est inférieure à 1, chacune des quatre parties terminales de quatre tiges 7 adjacentes d'une même cellule 6 sont reliées à la même couche 8 d'INOX 316L. Chaque partie terminale d'une tige 7 d'une cellule 6 est reliée à trois couches d'INOX 316L perpendiculaires entre elles. Au sein d'une même cellule 6, chacune des deux parties terminales de deux tiges 7 opposées par rapport au centre de la cellule 6 en question sont reliées à deux couches 8 parallèles en vis-à-vis.

En référence à la FIGURE 6, il est décrit un régénérateur monobloc 1 contenant sept portions 3. Chaque portion 3 comprend de l'INOX 316L poreux 9 selon le deuxième aspect de l'invention. La porosité de chaque portion 3 comprenant l'INOX 316L poreux 9 est modulée en modifiant la taille des cellules 6 composant la portion 3. Les portions 3 P1, P3, P5 et P7 présentent une porosité comprise entre 0,3 et 0,7. Les cellules 6 des portions 3 P1, P3, P5 et P7 présentent une longueur identique comprise entre 5 mm à 15 mm. Les portions 3 P2, P4 et P6 présentent une porosité comprise entre 0,5 et 0,9. Les cellules 6 des portions 3 P2, P4 et P6

présentent une longueur identique comprise entre 5 mm et 15 mm. Les portions 3 P1, P3, P5 et P7 présentent une porosité inférieure à celles des portions 3 P2, P4 et P6 et des longueurs pouvant être identiques.

5 En référence à la FIGURE 7, il est décrit un régénérateur monobloc 1 contenant sept portions 3. Seules les portions 3 P1, P3, P5 et P7 comprennent de l'INOX 316L poreux 9 selon le deuxième aspect de l'invention. Les portions 3 P2, P4 et P6 ne comprennent pas d'INOX 316L poreux 9, leur porosité est égale à 1. La porosité des portions 3 P1, P3, P5
10 et P7 comprenant l'INOX 316L poreux 9 est modulée en modifiant la taille des cellules 6 composant la portion 3. Les portions 3 P1, P3, P5 et P7 présentent une porosité comprise entre 0,3 et 0,9. Les cellules 6 des portions 3 P1, P3, P5 et P7 présentent une longueur identique comprise entre 5 mm et 15 mm. Les cellules 6 des portions 3 P2, P4 et P6 présentent
15 une longueur identique comprise entre 5 mm et 15 mm..

Bien sûr, l'invention n'est pas limitée aux exemples qui viennent d'être décrits et de nombreux aménagements peuvent être apportés à ces exemples sans sortir du cadre de l'invention.

20 Ainsi, dans des variantes combinables entre elles des modes de réalisation précédemment décrits :

- la porosité du régénérateur 1 varie selon une direction normale à la direction d'écoulement des gaz, et/ou
- la porosité du régénérateur 1 varie selon une direction comprise entre la
25 direction d'écoulement des gaz et la direction normale à la direction d'écoulement des gaz, et/ou
- les portions du régénérateur 1 dont les valeurs de porosités sont les plus fortes décrivent un serpentin s'étendant entre une extrémité et l'autre du régénérateur 1, et/ou
- 30 - une portion du régénérateur 1 dont la valeur de porosité est la plus élevée s'étend en serpentant depuis une extrémité à l'autre du régénérateur 1, et/ou
- les cellules 6 sont réalisées individuellement de manière séparée et liées entre elles au cours d'un procédé d'assemblage subséquent, et/ou

- les portions 3 sont réalisées individuellement de manière séparée au et liées entre elles au cours d'un procédé d'assemblage subséquent.

5 De plus, les différentes caractéristiques, formes, variantes et modes de réalisation de l'invention peuvent être associés les uns avec les autres selon diverses combinaisons dans la mesure où ils ne sont pas incompatibles ou exclusifs les uns des autres.

REVENDEICATIONS

- 1.** Régénérateur monobloc (1) comprenant au moins deux portions (3) au moins une des portions présente une porosité différente d'une porosité d'une portion voisine et chacune des portions du régénérateur est réalisée dans un même matériau rigide poreux (9) présentant une porosité donnée, 5 une porosité et une surface d'échange du générateur sont constantes au cours du temps et le matériau rigide poreux est composé d'un ensemble de cellules (6) contiguës agencées spatialement les unes par rapport aux autres, une ou chacune parmi des surfaces de contact de chacune des cellules avec le gaz forment un angle compris entre 5° et 85° par rapport à 10 la direction d'écoulement des gaz (4, 5).
- 2.** Régénérateur (1) selon la revendication 1, dans lequel les porosités des portions (3) varient de manière alternée ou séquentielle.
- 3.** Régénérateur (1) selon la revendication 1 ou 2, dans lequel la porosité varie selon une direction d'écoulement des gaz (4, 5) et/ou selon une 15 normale à la direction d'écoulement des gaz.
- 4.** Régénérateur (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel une portion (3) s'étend entre deux sections du régénérateur, chacune des sections étant normales à la direction reliant une entrée à une sortie du générateur.
- 20 **5.** Régénérateur (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel des portions (3) du régénérateur situées aux extrémités du régénérateur, dites portions d'extrémités, présentent une ou des porosités inférieures à une porosité, ou respectivement des porosités, d'une portion, ou respectivement de portions, située entre les portions d'extrémités.
- 25 **6.** Régénérateur (1) selon la revendication 5, dans lequel les portions (3) d'extrémités présentent chacune une porosité inférieure à une porosité d'une portion quelconque située entre les portions d'extrémités.
- 7.** Régénérateur (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel les porosités des portions (3) du régénérateur augmentent 30 depuis un plan central du régénérateur vers les extrémités du régénérateur, ledit plan central passant par le centre du régénérateur et étant perpendiculaire à la direction d'écoulement des gaz (4, 5).

- 8.** Régénérateur (1) selon la revendication 7, dans lequel les portions (3) du régénérateur sont agencées de manière symétrique par rapport au plan central du régénérateur.
- 9.** Régénérateur (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la portion (3) dont la porosité est la plus forte du régénérateur présente une porosité égale à 1.
- 10.** Régénérateur (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la porosité est comprise entre 0 et 1 par unité de volume et/ou entre 0 et 1 par unité de longueur.
- 11.** Régénérateur (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 10, dans lequel chaque cellule (6) comprend au moins quatre éléments oblongs (7) s'étendant depuis un centre de la cellule, chacun des éléments formant un angle compris entre 5° et 85° par rapport à la direction d'écoulement des gaz (4, 5).
- 12.** Régénérateur (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 11, dans lequel deux cellules (6) contiguës sont physiquement reliées ensemble :
- par au moins un de leurs éléments oblongs (7), ou
 - par une couche de matériau (8) à laquelle est relié au moins un de leurs éléments oblongs.
- 13.** Régénérateur (1) selon la revendication 11 ou 12, dans lequel les éléments oblongs (7) des cellules (6) sont symétriques deux à deux par rapport à un ou plusieurs plans de symétrie comprenant le centre de la cellule.
- 14.** Régénérateur (1) l'une quelconque des revendications 11 à 13, dans lequel, au sein d'une même cellule (6), au moins deux éléments oblongs (7) s'étendent d'un côté et au moins deux autres éléments oblongs s'étendent de l'autre côté d'un plan comprenant le centre de la cellule et étant normal à la direction d'écoulement des gaz (4, 5).
- 15.** Procédé de fabrication du dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 14 par impression 3D.

1 / 2

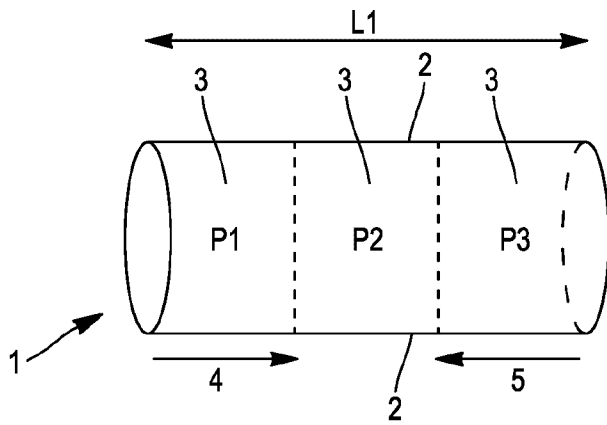


FIG. 1

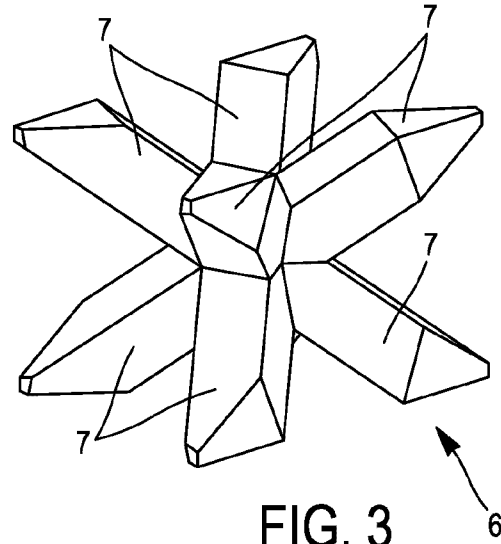


FIG. 3

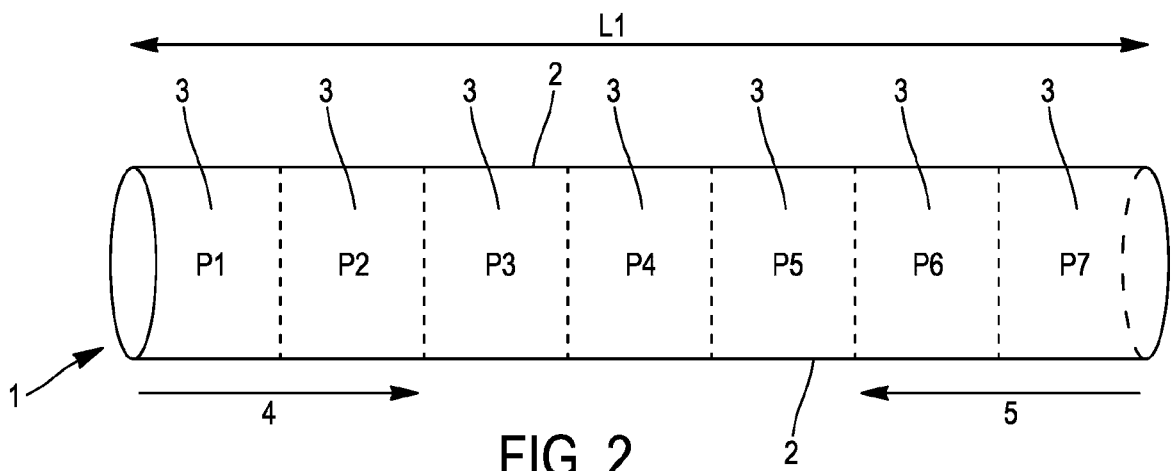


FIG. 2

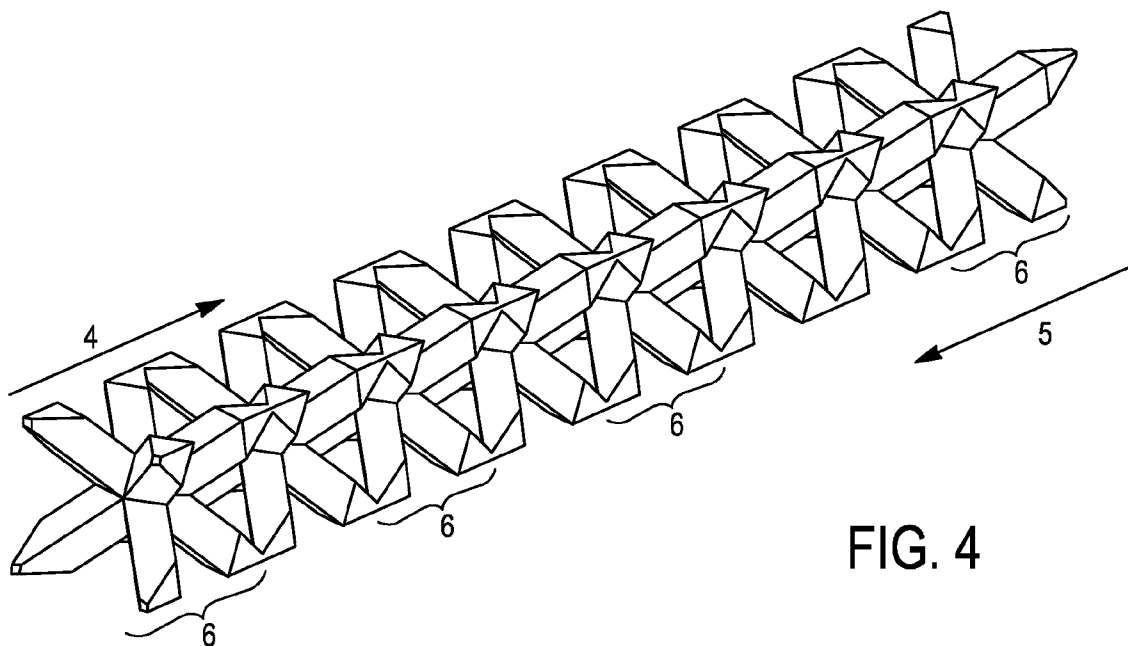


FIG. 4

2 / 2

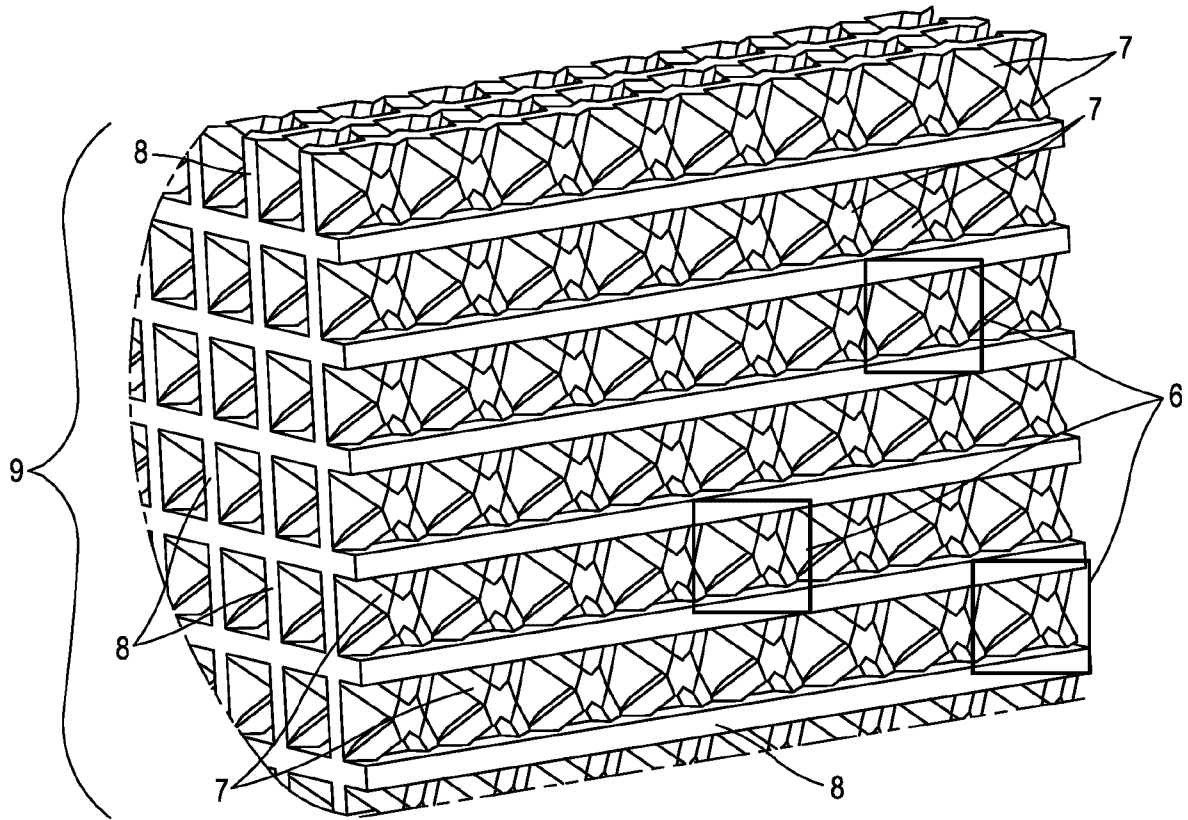


FIG. 5

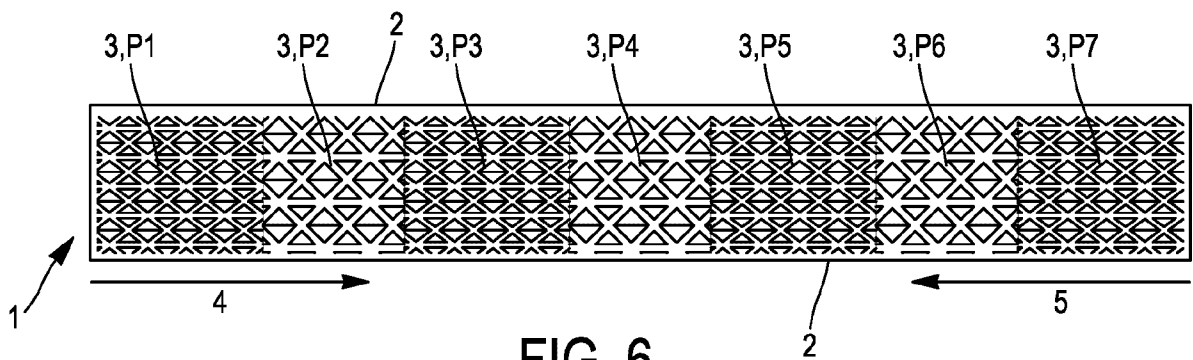


FIG. 6

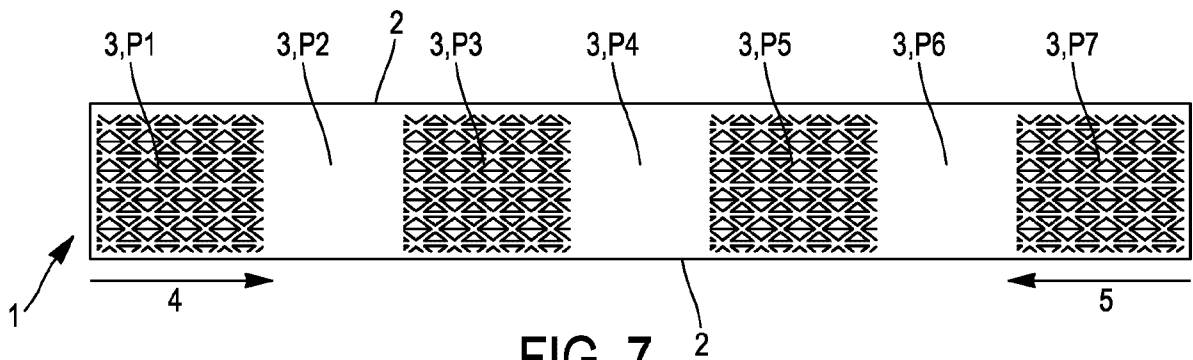


FIG. 7

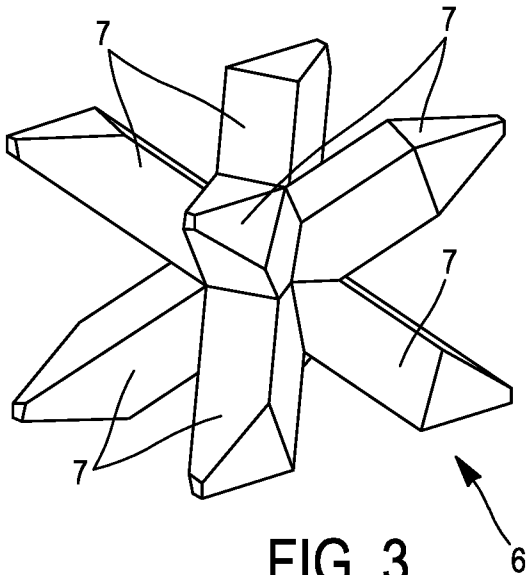


FIG. 3