

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

(19) Organisation Mondiale de la Propriété
Intellectuelle
Bureau international



(43) Date de la publication internationale
8 février 2007 (08.02.2007)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2007/015031 A2

- (51) Classification internationale des brevets :
F28D 7/00 (2006.01)
- (21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2006/050779
- (22) Date de dépôt international : 3 août 2006 (03.08.2006)
- (25) Langue de dépôt : français
- (26) Langue de publication : français
- (30) Données relatives à la priorité :
0552435 4 août 2005 (04.08.2005) FR
- (71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) :
THERMI-CONSULT [FR/FR]; Route de Harskirchen,
F-67269 Sarre-Union (FR).
- (72) Inventeur; et
- (75) Inventeur/Déposant (pour US seulement) : GUIDAT,
Roland [FR/FR]; 10 Rue de Lorraine, F-54000 Nancy
(FR).
- (74) Mandataires : DUPUIS, François etc.; LAURENT &
CHARRAS, 3, Place de l'Hotel de Ville, Boîte postale 203,
F-42005 Saint Etienne cedex 1 (FR).
- (81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de
protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AT,

AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO,
CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB,
GD, GE, GH, GM, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE,
KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU,
LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NG,
NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD,
SE, SG, SK, SL, SM, SY, 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, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM,
ZW), eurasién (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM),
européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI,
FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT,
RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA,
GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

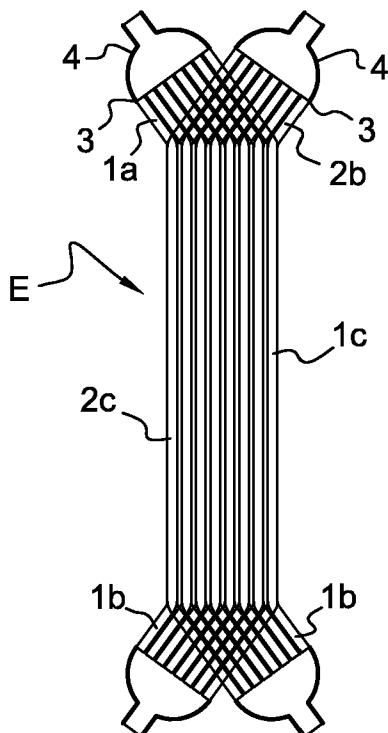
— sans rapport de recherche internationale, sera republiée
dès réception de ce rapport

En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations,
se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: TUBULAR HEAT EXCHANGER

(54) Titre : ECHANGEUR TUBULAIRE DE CHALEUR



(57) Abstract: The heat exchanger is characterised in comprising two fluid-passage tube bundles curved at each end thereof, said tube bundles being intertwined in the mid-section (1c-2c), parallel to each other without making contact, the ends (1a-1b) (2a-2b) of the tube bundles being fixed to exchanger plates (3) arranged in pairs in planes inclined with relation to the longitudinal axis of each tube bundle with housing of collectors, with spacer means arranged at different levels for centering and positioning the tube bundles, with a sealing means introduced between the tubes of each tube bundle, shaped and transformed to guarantee a rigid connection between the tubes and to guarantee, after cooling, a triple sealing barrier and providing the assembly with a mechanical resistance.

(57) Abrégé : Cet échangeur tubulaire est remarquable en ce qu'il comprend au moins deux faisceaux de tubes de passage de fluide cintrés à chacune de leurs extrémités, lesdits faisceaux de tubes étant enchevêtrés dans leurs parties intermédiaires (1c-2c) et sans contact les uns aux autres en étant parallèles, en ce que les extrémités (1a-1b) (2a-2b) de chaque faisceau de tubes sont solidarisés à des plaques échangeurs (3) orientées deux à deux dans des plans inclinés par rapport à l'axe longitudinal de chaque faisceau de tubes et autorisant la réception de collecteurs, et ce que des moyens espacateurs sont disposés à des niveaux différents autorisant le centrage et le positionnement des faisceaux des tubes, et en ce que entre les tubes de chaque faisceau de tubes est introduit un moyen de scellement qui est introduit, mis en forme, et transformé pour assurer une liaison fixe entre les tubes et assurer après refroidissement une triple barrière d'étanchéité et assurant à l'ensemble une résistance mécanique.

WO 2007/015031 A2



*abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de
la Gazette du PCT.*

ECHANGEUR TUBULAIRE DE CHALEUR

L'invention se rattache au secteur technique des échangeurs de chaleur et spécifiquement aux échangeurs tubulaires.

5 Ce type d'échangeurs s'est largement développé dans les activités pétrolières, chimiques et l'on considère qu'ils constituent une part importante des investissements dans l'industrie du pétrole de l'ordre de 10 %. Généralement, ces échangeurs sont des échangeurs à tubes et calandres, relevant de technologies bien maîtrisées et codifiées et donc fiables.

10 Dans certaines applications spécifiques, les échangeurs du type précité restent encombrants et peu compatibles pour être adaptés sur des plateformes pétrolières par exemple. Il faut alors s'orienter vers d'autres types d'échangeurs.

15 Il y a lieu aussi de considérer que plus le diamètre du tube, ou de chaque tube constituant l'échangeur est faible, plus la longueur nécessaire à l'échange thermique est petite. Aussi une bonne compacité de l'échangeur s'obtient avec des diamètres de tubes faibles. La contrepartie est qu'il faut un nombre de tubes plus élevé, ce qui entraîne d'autres inconvénients dans le nombre de tubes à manipuler, dans le nombre de soudures nécessaires à la
20 réalisation d'un faisceau de tubes. Si on a constaté que les coefficients d'échange sont généralement élevés à l'intérieur des tubes et des pertes de charge faibles, les performances côté extérieur du ou des tubes sont largement moins satisfaisantes.

25 Un autre problème lié à l'existence de phénomènes vibratoires apparaît en cas d'écoulement de fluides à l'extérieur des tubes, cela étant préjudiciable à la durée de vie des tubes. Ces phénomènes vibratoires sont d'autant plus important que la longueur des tubes est élevée et que leur inertie est faible (faible diamètre et faible épaisseur).

Une autre contrainte peut apparaître dans certaines applications où l'environnement est difficile et on voit apparaître des phénomènes de corrosion de type caverneux qui naissent lorsqu'il y a des interstices non clos entre des parties métalliques de tubes et les plaques tubulaires associées. Il faut alors un assemblage particulier entre les tubes et la ou les plaques tubulaires, avec par exemple une expansion mécanique du tube type dudgeonnage. Cela nécessite que la ou les plaques tubulaires soient placées avec précision.

Cependant dans des applications spécifiques à haute pression et haute température, les plaques tubulaires ont une épaisseur relativement importante, de l'ordre d'au moins 100 mm. Dans cette situation le percement de trous destinés à recevoir des tubes, et ce selon des diamètres de quelques millimètres dans ces épaisseurs importantes pose de nombreux problèmes techniques et économiques.

On voit donc que les problèmes à résoudre sont nombreux et que généralement toute solution entraîne d'autres contraintes.

Les fabricants ont tenté de travailler sur ces questions pour mettre en œuvre de nouvelles solutions.

On a ainsi proposé la réalisation de plaques d'échanges dans lesquelles des mini canaux sont creusés soit par usinage mécanique soit par action chimique, les plaques étant empilées les unes sur les autres, et le soudage entre elles étant réalisé par diffusion sous vide à haute température. Cette technologie qui est apparue séduisante ne résout pas toutes les contraintes et en particulier l'absence de crevasses au niveau des soudures entre les canaux est loin d'être garantie. Le soudage par diffusion est difficilement contrôlable et la rupture de plusieurs points de zones de liaison est difficilement détectable. L'assurance qualité n'est pas garantie. Les conditions de réparation et d'intervention sont par ailleurs très délicates.

On connaît par ailleurs la conception d'échangeurs tubulaires incluant une pluralité de tubes parallèles entre eux, entre lesquels est déposée une structure alvéolaire ou de remplissage facilitant l'échange par exemple DE 10202527, ou US 3306053. On connaît aussi par le brevet EP 941759, la disposition de tubes verticaux parallèles dans une enceinte et maintenus en 5 extrémité par des plaques tubulaires, la circulation du fluide se faisant dans les tubes et extérieurement à ceux-ci, l'ensemble étant dans une enceinte fermée.

On connaît aussi par le brevet GB 2361054 des échangeurs de chaleur 10 dans lesquels il est prévu la mise en place d'ensembles de groupes de conduits permettant la circulation de fluides différents, avec un moyen de liaison desdits conduits, et dans lequel les plaques tubulaires sont indépendantes et espacées de la matrice comme exposé, page 3 lignes 26 à 32, cette disposition ne permettant pas d'utiliser l'échangeur dans des 15 applications à haute pression et à haute température. Ensuite, les conduits décrits dans ce brevet GB 2361054 ne sont pas agencés et constitutifs de faisceaux.

On connaît aussi par le brevet US 3926251 un échangeur de chaleur incluant des ensembles de conduits disposés en superposition.

20 La démarche globale du demandeur a donc été de réfléchir à un nouveau concept de réalisation d'échangeurs tubulaires qui tiennent compte de tous les paramètres évoqués précédemment, à savoir :

l'encombrement de l'échangeur, le contrôle des phénomènes vibratoires, la qualité de l'échange thermique et de l'étanchéité, le coût de la 25 fabrication.

Cette démarche a abouti à une solution qui entraîne une modification substantielle dans la conception des échangeurs en répondant aux diverses exigences précitées.

Selon une première caractéristique, l'échangeur tubulaire comprenant des tubes solidarités à des plaques tubulaires est remarquable en ce qu'il comprend au moins deux faisceaux de tubes de passage de fluide cintrés à chacune de leurs extrémités, lesdits faisceaux de tubes étant enchevêtrés dans leurs parties intermédiaires et sans contact les uns aux autres en étant parallèles, en ce que les extrémités de chaque faisceau de tubes sont solidarités à des plaques tubulaires orientées deux à deux dans des plans d'orientation inclinés par rapport à l'axe longitudinal de chaque faisceau de tubes et autorisant la réception de collecteurs, et ce que des moyens espaceurs sont disposés à des niveaux différents autorisant le centrage et le positionnement des faisceaux des tubes, et en ce que entre les tubes de chaque faisceau de tubes est introduit un moyen de scellement qui est introduit, mis en forme, et transformé pour assurer une liaison fixe entre les tubes et assurer après refroidissement une triple barrière d'étanchéité et assurant à l'ensemble et aux plaques tubulaires une résistance mécanique très importante.

Selon une autre caractéristique, le procédé de fabrication d'échangeurs tubulaires est remarquable par la mise en œuvre des phases suivantes :

- Réalisation de deux faisceaux de tubes présentant de part et d'autres des parties intermédiaires avec des extrémités cintrées, lesdits faisceaux étant enchevêtrés dans leur partie intermédiaire et sans contact, lesdites extrémités étant fixées par soudage laser sur la plaque tubulaire opposée inclinées deux à deux et recevant les collecteurs, les faisceaux définissent deux circuits de fluide,
- Insertion de deux faisceaux de tubes dans un fourreau de protection, et de moyens espaceurs.
- Insertion d'un moyen de scellement par brasage dans un état poudre.

- Insertion de l'ensemble dans un four pour transformation du moyen de scellement en vue d'effectuer la liaison des tubes des faisceaux du tube
- Refroidissement de l'ensemble et le cas échéant, enlèvement du fourreau de protection.

5

Ces caractéristiques et d'autres encore ressortiront bien de la suite de la description.

Pour fixer l'objet de l'invention, illustrée d'une manière non limitative aux figures des dessins où :

10

15

20

25

- La figure 1 est une vue à caractère schématique de l'échangeur tubulaire de chaleur selon l'invention.
- La figure 2 est une vue à caractère schématique illustrant les deux faisceaux de tubes en situation séparée avant constitution de l'échangeur.
- La figure 3 est une vue de deux faisceaux de tubes intégrés les uns dans les autres.
- La figure 4 est une vue partielle en variante illustrant la partie supérieure des faisceaux de tubes avec les collecteurs.
- La figure 5 est une vue en coupe selon la ligne A-A de la figure 3, avec insertion de moyens espaceurs.
- La figure 6 est une vue à caractère schématique illustrant en variante la position des faisceaux de tubes.
- La figure 7 est une vue à caractère schématique illustrant en variante la configuration du ou des moyens espaceurs.
- La figure 8 est une vue de l'échangeur de chaleur selon l'invention avec utilisation d'un fourreau de protection lors de l'opération de scellement des tubes.

Afin de rendre plus concret l'objet de l'invention, on le décrit maintenant d'une manière non limitative illustrée aux figures des dessins.

L'échangeur de chaleur tubulaire selon l'invention est référencé dans son ensemble par (E) et il comprend deux faisceaux (A, B) de tubes (1) et (2) qui ont un profil spécifique avec des parties d'extrémités (1a-1b) (2a-2b) orientés par rapport à leur partie intermédiaire (1c, 2c) de grande longueur desdites parties intermédiaires (1c, 2c) sont verticales, parallèles entre elles et s'imbriquent sans contact de manière à constituer un module. Chaque faisceau peut comprendre un nombre élevé de tubes (une centaine ou plus). Le diamètre intérieur des tubes est de l'ordre de deux millimètres, et la longueur de l'ordre de 1, 50 m. Ces dimensions sont données à titre indicatif et peuvent évoluer en fonction des applications et contraintes technique. La configuration des deux faisceaux de tubes et leur enchevêtrement se présente comme représenté figure 3. Les extrémités (1a-1b) (2 a-2b) sont ainsi courbées en opposition donnant une configuration en S à droite et à gauche, les tubes d'un même faisceau restant toujours parallèles. Ces tubes sont fixés sur des plaques tubulaires (3) qui sont susceptibles de recevoir des collecteurs (4) d'entrée et de sortie de fluides. Les plans (P1) et (P2) d'orientation des plaques tubulaires et donc des collecteurs par rapport à l'axe longitudinal XX de chaque faisceau sont de l'ordre de 60°. Cela permet ainsi une réduction substantielle d'encombrement de l'échangeur. En variante (figure 4) de la partie supérieure des faisceaux, la partie courbée des extrémités a été réduite avec des plans (P1) et (P2) disposé selon un angle de 45° et par rapport à l'axe XX.

En variante de mise en œuvre, les extrémités supérieures et inférieures de chaque tube constitutif des faisceaux (1 et 3) peuvent être orientées du même côté.

Le faisceau (A) de tubes (1) autorise la circulation d'un premier fluide, et le faisceau (B) d'un second fluide.

Comme indiqué précédemment, les faisceaux des tubes n'ont aucun contact entre eux, avec un espace de quelques dixièmes de millimètres ou plus selon la nature du moyen espaceur. Cet espacement entre les tubes est obtenu par un ou des moyens espaceurs (5) disposés à un ou plusieurs niveaux horizontaux le long de l'emplacement des tubes. Ce moyen espaceur peut être simplement réalisé sous forme de grilles, avec une maille adaptée à la section des tubes. Ce moyen peut être établi à partir de tôles minces percées par tous moyens connus, au laser, au jet d'eau, par découpage. Les ouvertures ainsi réalisées pour le passage des tubes sont réalisées unique par tube, ou elles peuvent avoir une forme en haricot (5a) pour le couplage de deux tubes de faisceaux, différents ou non. La mise en place de ces moyens espaceurs est effectuée par montage de toute manière appropriée.

La liaison des tubes sur les plaques tubulaires s'effectue par soudure laser, les extrémités des tubes étant insérées dans les trous (3a) préétablis de celles-ci. Plus particulièrement, les soudures de tubes sur la plaque tubulaire sont effectuées au moyen d'un faisceau laser sans apport de métal permettant l'obtention de vitesse de soudure très élevée et rendant marginal le coût de l'opération.

Pour assurer la liaison de l'ensemble, on met en œuvre un moyen de scellement (6) dans les conditions suivantes.

Préalablement, la structure constituée par au moins deux faisceaux de tubes et du ou des moyens espaceurs, ou par une multiplicité de faisceaux de tubes aménagés dans les conditions de l'invention sont entourés par un fourreau (7) étanche, au besoin solidarisé sur les plaques tubulaires (3) de toute manière appropriée en constituant un ensemble. L'espace entre le

foureaux (7) et les tubes (1, 2) et entre les tubes eux-mêmes est alors rempli à un ou plusieurs niveaux par un moyen de scellement. Ce dernier est avantageusement de la poudre de brasage de caractéristiques chimiques et mécaniques compatibles avec la matière constitutive des tubes. On a ainsi représenté cet ensemble figure 8. On a prévu l'agencement du foureaux (7) de protection, la mise en place d'un ou plusieurs orifices (8) permettant l'introduction de la poudre de brasage afin de réaliser le ou les apports nécessaires au remplissage de l'enceinte complète.

L'ensemble ainsi réalisé est placé dans un four (non représenté) qui est monté à température adéquate pour permettre la transformation de la poudre en état liquide puis du refroidissement assure la fonction brasage entre les tubes en constituant un scellement.

L'orientation et la disposition des conduits d'introduction de la poudre de brasage sont établies de manière à permettre un remplissage de l'enceinte ainsi constituée régulière et uniforme.

Par ailleurs et à titre complémentaire, l'atmosphère du four pourra être contrôlée par mise en légère pression avec un gaz ou mélange de gaz spécifique. Aussi les collecteurs étant soudés sur les plaques tubulaires (3) une régulation de pression peut être assurée par un fluide gazeux utilisé pour mettre en légère pression l'intérieur des tubes (1-2) afin d'éviter toute déformation due à la température nécessaire à l'opération de brasage.

La solution apportée par l'invention répond à l'ensemble des contraintes initialement identifiées. L'échangeur ainsi réalisé peut comprendre selon les besoins et applications plusieurs centaines de tubes en définissant les deux circuits de fluides. L'échangeur est très compact de part l'arrangement particulier des faisceaux de tubes et des collecteurs.

Le phénomène de vibrations des tubes est supprimé, et on obtient une triple barrière d'étanchéité définie par la séparation des tubes et de l'isolant

constitué par le moyen de scellement. La brasure utilisée assure un excellent coefficient de transfert thermique, et réalise une jonction mécanique entre les extrémités des tubes notamment en permettant un renforcement des plaques tubulaires et assurant leur résistance mécanique.

5 Par ailleurs, la mise en œuvre de l'échangeur de chaleur selon l'invention permet de supprimer tout risque d'apparition de zones cavernieuses. de par la configuration du moyen de scellement.

Un contrôle optique des soudures laser entre la pluralité des tubes et les plaques tubulaires est aussi possible.

10 Par ailleurs, un des intérêts de l'opération de scellement par brasage permet la réalisation de plaques tubulaires (3) épaisses reconstituées en assurant ainsi un renforcement de celle-ci et une résistance mécanique importante.

15 La solution de l'invention apparaît donc très avantageuse dans sa mise en œuvre pour toutes applications de l'échangeur. La disposition des faisceaux et tubes dans un quadrillage régulier ou en quinconce, ou autres dispositions relève du choix technique pour l'homme de l'art.

REVENDICATIONS

- 5 -1- Echangeur tubulaire comprenant des tubes (1,2) solidarisés à des plaques tubulaires (3) caractérisé en ce qu'il comprend au moins deux faisceaux (A-B) de tubes de passage de fluide cintrés à chacune de leurs extrémités, lesdits faisceaux de tubes étant enchevêtrés dans leurs parties intermédiaires (1c-2c) et sans contact les uns aux autres en étant parallèles, en ce que les extrémités (1a-1b) (2a-2b) de chaque faisceau de tubes sont solidarisés à des plaques tubulaires (3) orientées deux à deux dans des plans inclinés (P1-P2) par rapport à l'axe longitudinal XX de chaque faisceau de tubes et autorisant la réception de collecteurs, et ce que des moyens espaceurs (5) sont disposés à des niveaux différents autorisant le centrage et le positionnement des faisceaux des tubes, et en ce que entre les tubes de chaque faisceau de tubes est introduit un moyen de scellement (6) sous forme de poudre de brasure qui est introduit, mis en forme, et transformé pour assurer une liaison fixe entre les tubes et assurer après refroidissement une triple barrière d'étanchéité et assurant à l'ensemble et aux plaques tubulaires un renforcement de celles-ci et une résistance mécanique très importante.
- 10
- 15
- 20 -2- Echangeur selon la revendication 1, caractérisé en ce que les parties intermédiaires (1c, 2c) de grande longueur des tubes (1, 2) sont verticales et parallèles entre elles en se prolongeant par leurs extrémités (1a-1b) (2a-2b) orientées par rapport auxdites parties intermédiaires.
- 25 -3- Echangeur selon la revendication 2 caractérisé en ce que les extrémités (1a-1b) (2a-2b) sont courbées en opposition selon une configuration en S.
- 4- Echangeur selon la revendication 2 caractérisée en ce que les extrémités (1a-1b) (2a-2b) sont orientées du même côté.

- 5 -5- Echangeur selon la revendication 1 caractérisé en ce que la liaison des tubes (1,2) dans les plaques tubulaires (3) par le biais de trous (3a) s'effectue par soudure laser.
- 5
- 6- Echangeur selon la revendication 1, caractérisé en ce que le ou les moyens espaceurs (5) disposé à un ou plusieurs niveaux de l'emplacement des tubes (1,2) sont réalisés sous forme de grilles avec une maille adaptée à la section des tubes.
- 10
- 7- Echangeur selon la revendication 1, caractérisé en ce que le ou les moyens espaceurs (5) ont des ouvertures ayant la forme de haricot (5a) pour le couplage de deux tubes de faisceaux différents.
- 15
- 8- Echangeur selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il est disposé dans un fourreau étanche (7) solidaire des plaques tubulaires (5) et autorisant l'insertion d'un moyen de scellement (6), ledit fourreau (7) étant agencé pour recevoir un ou plusieurs orifices (8) d'introduction dudit moyen (6).
- 20
- 9- Procédé de fabrication d'échangeurs tubulaires selon l'une quelconque des revendications 1 à 8 caractérisé par la mise en œuvre des phases successives suivantes :
- 25
- Réalisation de deux faisceaux de tubes présentant de part et d'autres des parties intermédiaires avec des extrémités cintrées, lesdits faisceaux étant enchevêtrés dans leur partie intermédiaire et sans contact, lesdites extrémités étant fixées par soudage laser sur la plaque tubulaire opposée inclinées deux à deux et recevant les collecteurs, les faisceaux définissent deux circuits de fluide,

- Insertion de deux faisceaux de tubes dans un fourreau de protection, et de moyens espaceurs.
- Insertion d'un moyen de scellement par brasage dans un état poudre.
- Insertion de l'ensemble dans un four pour transformation du moyen de scellement en vue d'effectuer la liaison des tubes des faisceaux du tube
- Refroidissement de l'ensemble et le cas échéant, enlèvement du fourreau de protection.

1/2

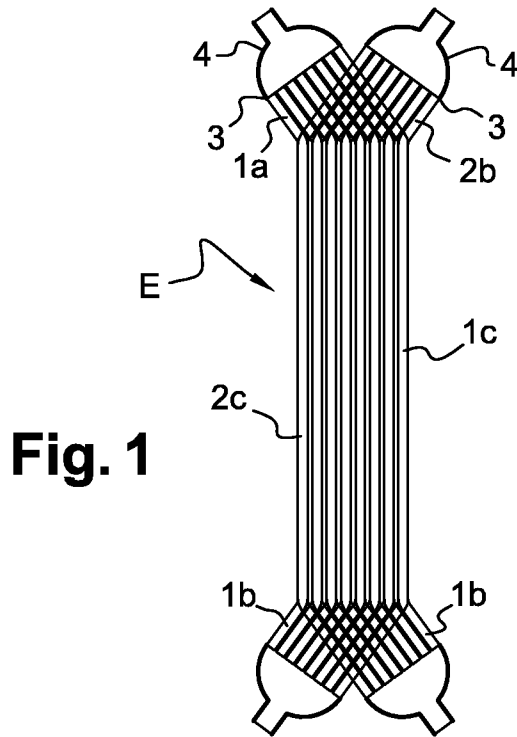


Fig. 1

Fig. 2

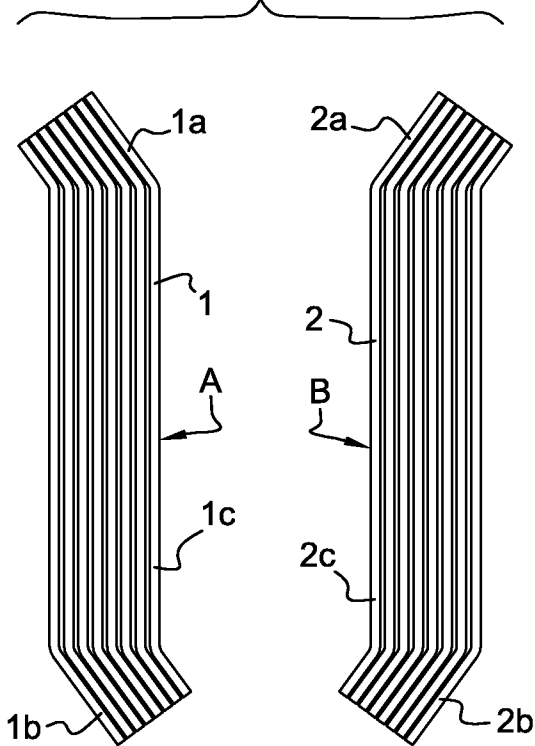
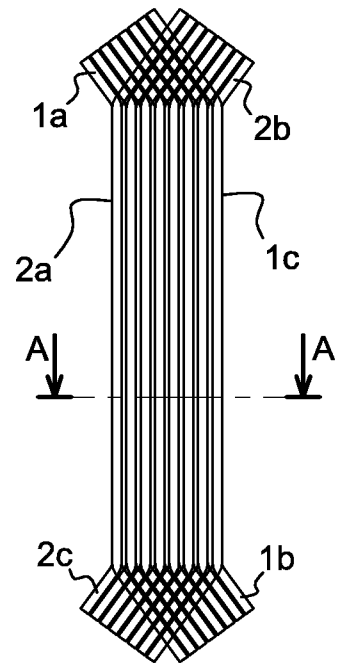


Fig. 3



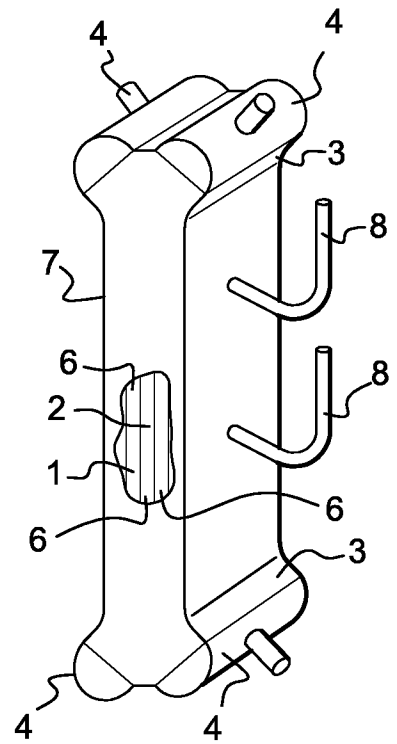
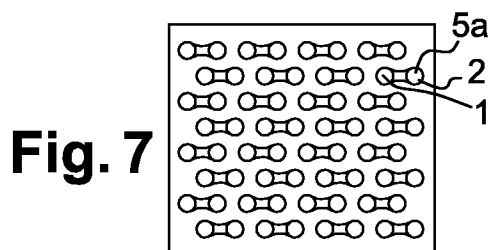
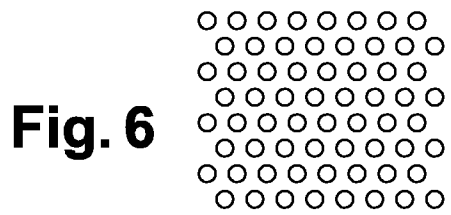
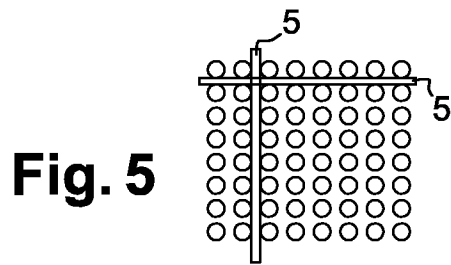
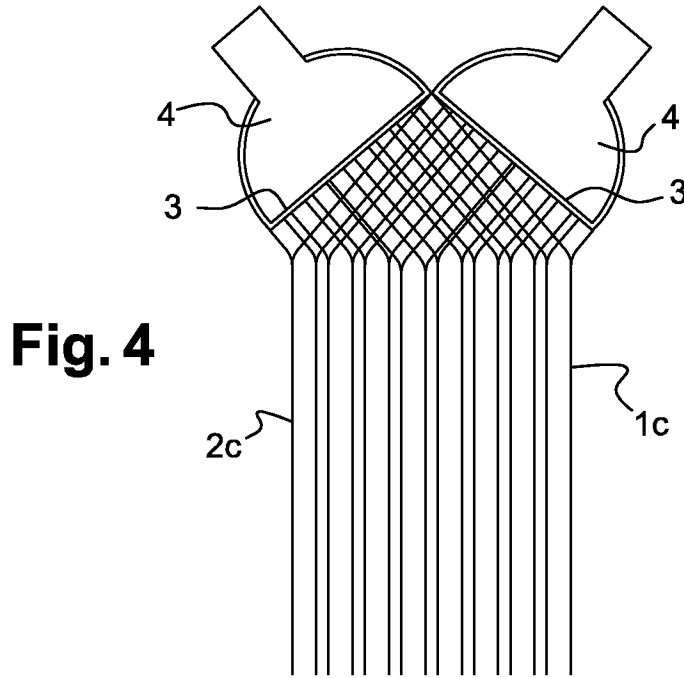


Fig. 8