

⑤④ Procédé de fabrication d'une préforme tridimensionnelle.

②② Date de dépôt : 28.04.20.

③⑦ Priorité :

⑥⑦ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : *Institut de Recherche Technologique
Jules Verne Fondation — FR.*

④③ Date de mise à la disposition du public
de la demande : 29.10.21 Bulletin 21/43.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 29.04.22 Bulletin 22/17.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑦② Inventeur(s) : DE PARSCAU DU PLESSIX Basile,
BESSEMOULIN Stéphane et LE HETET Thomas.

⑦③ Titulaire(s) : Institut de Recherche Technologique
Jules Verne Fondation.

⑦④ Mandataire(s) : Cabinet NONY.



Description

Titre de l'invention : Procédé de fabrication d'une préforme tridimensionnelle

Domaine technique

[0001] La présente invention concerne le domaine de la fabrication de pièces en matériau composite, en particulier mais non exclusivement dans les secteurs aéronautique, naval, éolien et automobile, de telles pièces comportant une matrice, notamment polymère, et un renfort fibreux. En particulier, l'invention concerne un procédé de fabrication d'une préforme tridimensionnelle, ainsi qu'une préforme obtenue par un tel procédé. L'invention concerne encore un procédé de fabrication d'une pièce en matériau composite, par exemple un foil, réalisée à partir d'une telle préforme et une installation pour la mise en œuvre du procédé selon l'invention.

Technique antérieure

- [0002] Pour produire des pièces en matériau composite sous forme de corps creux, il est connu de réaliser une préforme tridimensionnelle, puis de mettre en forme la pièce dans un moule par consolidation, en chauffant et/ou par imprégnation avec un matériau polymère pour former la matrice.
- [0003] Pour réaliser des préformes tridimensionnelles, il est connu de réaliser un enroulement filamentaire, qui consiste à enrouler des fibres continues autour d'un mandrin en rotation. On a illustré sur la figure 1 la réalisation d'une préforme 1 de l'art antérieur par enroulement filamentaire de fibres 2, dans cet exemple sous forme de mèche 3. Dans ce procédé, un dispositif 4 permet d'acheminer les mèches 3 de fibres 2 vers un support 5. Le support 5 tourne sur lui-même selon l'axe X, ce qui permet de tendre et d'enrouler les mèches 3 de fibres 2. Le dispositif 4 peut translater selon l'axe Y de manière à acheminer les fibres 2 sur l'ensemble de la surface 6. Le dispositif 4 peut effectuer plusieurs allers-retours afin de déposer plusieurs couches de fibres 2.
- [0004] Un tel procédé est uniquement applicable pour des pièces de révolution et ne permet pas une optimisation de l'orientation des fibres. De plus, il est nécessaire de produire, pour chaque type de pièce, un mandrin adapté.
- [0005] Il est également connu de réaliser des préformes tridimensionnelles par le tressage de fibres. On a illustré sur la figure 2 une telle préforme 7 réalisée par le tressage de fibres 8. Ce procédé est applicable aux pièces en matériau composite qui ne sont pas de révolution mais ne permet cependant pas une optimisation de l'orientation des fibres.
- [0006] Pour les pièces « sandwich », c'est-à-dire intégrant une âme en mousse ou autre matériau, par exemple une structure nid d'abeille, on peut positionner par drapage manuel des plis de tissus dans un moule en intégrant, au centre, l'âme. Des difficultés

sont rencontrées pour positionner et maintenir le renfort sec dans le moule. Le renfort étant sec, il n'y a pas d'adhésion entre les différentes couches. Par conséquent, les plis peuvent glisser les uns par rapport aux autres et ne pas tenir du tout dans les zones à forte courbure.

- [0007] Il existe un besoin de disposer de pièces en matériau composite tridimensionnelles, réalisées à partir de préformes tridimensionnelles, permettant une optimisation de l'orientation des fibres tout en limitant le coût de production.

Exposé de l'invention

- [0008] La présente invention répond à ce besoin en tout ou partie grâce à, selon l'un de ses aspects, un procédé de fabrication d'une préforme tridimensionnelle sous forme de corps creux ou structure sandwich comportant les étapes suivantes :

- [0009] a) déposer et coudre à plat au moins une couche de fibres sur un substrat, avec au moins un fil de couture, de préférence au moins deux fils de couture, pour obtenir une préforme à plat, de telle sorte que la préforme comporte au moins deux bords définissant chacun une languette de recouvrement, l'épaisseur de chaque languette de recouvrement étant inférieure à l'épaisseur de la préforme dans une zone bordant cette languette de recouvrement en dehors de celle-ci,
- [0010] b) disposer la préforme ou disposer une pluralité de telles préformes autour d'au moins un noyau ou d'au moins une âme de manière à ce que chaque languette de recouvrement se superpose au moins partiellement à au moins une autre languette de recouvrement dans une zone de superposition,
- [0011] c) fixer les languettes de recouvrement entre elles dans ladite zone de superposition, de manière à former la préforme tridimensionnelle.
- [0012] Par « préforme tridimensionnelle sous forme de corps creux ou structure sandwich », il faut comprendre que la préforme définit par sa forme au moins une cavité intérieure autour de laquelle elle s'étend, la cavité pouvant être ouverte en un ou plusieurs endroits. La ou au moins une des cavité(s) intérieure(s) peut être occupée, en tout ou en partie, par un élément provisoire, respectivement permanent, par exemple ledit au moins un noyau, respectivement ladite au moins une âme. C'est ou ce sont le ou les noyaux ou la ou les âmes qui, au moins au cours de l'étape b), défini(ssen)t le volume de la ou de chaque cavité. Lorsque la préforme tridimensionnelle est sous forme de corps creux, on dépose au moins un noyau qui occupe au plus provisoirement la ou les cavités intérieures. Lorsque la préforme est sous forme de structure sandwich, on dépose au moins une âme qui occupe de manière permanente la ou les cavités intérieures.
- [0013] La ou chaque préforme à plat peut, outre lesdits au moins deux bords définissant chacun une languette de recouvrement, comporter un ou plusieurs bords dépourvus de

languette(s). Cela peut être le cas par exemple d'un bord de la préforme qu'on ne fixe pas à un autre bord de la préforme.

- [0014] La fabrication de la préforme à plat de l'étape a) est avantageusement réalisée sur un outillage sensiblement plan sur lequel est déposé le substrat. Ainsi par « préforme à plat », on entend que la préforme est réalisée sur un substrat déposé à plat sur un tel outillage sensiblement plan, malgré la possibilité de présence sur la préforme de sur-épaisseurs créant localement des reliefs, et/ou la présence sur l'outillage de reliefs, notamment de positionnement.
- [0015] On peut réaliser une seule préforme à plat et la fixer sur elle-même à l'étape b) autour du ou des noyaux ou âmes. On peut, en variante, réaliser plusieurs préformes à plat selon l'étape a), identiques ou différentes, et les fixer entre elles à l'étape b) autour du ou des noyaux ou âmes.
- [0016] Le procédé peut comporter une étape préalable de calcul consistant à calculer, notamment à l'aide de moyens informatiques tels qu'un micro-ordinateur par exemple, la forme, l'orientation des fibres, l'épaisseur de la ou des couches et/ou le nombre des couches en au moins certaines portions de la ou de chaque préforme à plat, afin d'obtenir la préforme tridimensionnelle souhaitée. Le procédé peut alors mettre en œuvre les étapes a), b) et éventuellement c) en fonction du résultat de cette étape préalable de calcul.
- [0017] Par ailleurs, le procédé peut comporter une étape préalable de calcul consistant à calculer, notamment à l'aide de moyens informatiques tels qu'un micro-ordinateur par exemple, l'étendue et l'emplacement des languettes de recouvrement.
- [0018] L'étape a) peut ainsi être mise en œuvre, par exemple, de manière à ce que la préforme ait une épaisseur locale variable prédéterminée par cette étape de calcul. La présence de différences d'épaisseurs au sein de la préforme à plat permet notamment d'anticiper les courbures et reliefs de la préforme tridimensionnelle. L'étape de calcul peut être mise en œuvre par simulation numérique. L'étape de calcul permet notamment d'ajuster les dimensions de la préforme à plat pour considérer sa déformation lors de son positionnement autour du noyau. La préforme à plat peut ainsi être élargie ou rétrécie localement pour prévoir des courbures.
- [0019] Avantageusement, les étapes a) et b) sont mises en œuvre de telle sorte que, après l'étape c), la préforme ne présente pas de surépaisseur ou de sous-épaisseur dans la zone de superposition, et éventuellement à proximité immédiate de celle-ci, dans la zone de la préforme qui la borde. Ainsi, l'épaisseur locale dans la zone de superposition et l'épaisseur locale à proximité de celle-ci sont relativement proches, voire identiques. En variante, une surépaisseur peut être envisagée par exemple pour intégrer des fonctions supplémentaires dans la zone de superposition.
- [0020] Les épaisseurs des languettes de recouvrement peuvent être choisies afin que leur

somme soit sensiblement égale à l'épaisseur de la préforme à proximité immédiate des languettes de recouvrement. Dans un mode de réalisation particulier, une première languette de recouvrement comporte une seule couche de fibres tandis qu'une seconde languette de recouvrement, complémentaire, c'est-à-dire sur laquelle la première languette de recouvrement va être positionnée dans la zone de superposition, comporte un nombre de couches de fibres $n-1$ correspondant au nombre total de couches de fibres n de la préforme moins une couche de fibres. Le nombre de couches de fibres dans la zone de superposition sera alors de $(n-1)+1=n$. Bien entendu, le nombre de couches de fibres pour la première languette de recouvrement peut varier, en ayant un nombre de couches de fibres supérieur à un, le nombre de couches de fibres pour la seconde languette de recouvrement variera alors de manière inverse, de telle sorte que la somme de couches des deux languettes de recouvrement reste égale à n .

- [0021] La fixation des languettes de recouvrement dans la zone de superposition, à l'étape c), peut être réalisée par au moins une couture avec au moins un fil, par soudure, par collage, par agrafage, par capitonnage et/ou par ruban adhésif.
- [0022] Lorsque la fixation des languettes de recouvrement est réalisée par couture, celle-ci peut être effectuée à la main ou de manière automatisée.
- [0023] Avantagement, à l'étape a), ladite au moins une couche de fibres est disposée pour que, après l'étape b) de disposition autour dudit au moins un noyau, les fibres aient au moins une orientation prédéterminée.
- [0024] De préférence, la préforme tridimensionnelle comporte plusieurs couches de fibres. Le nombre de couches peut, de manière non limitative, être compris entre 2 et 500 couches, par exemple.
- [0025] Dans ce cas, l'étape a) peut être réalisée de manière à ce que les orientations des fibres de deux couches superposées, en contact l'une avec l'autre, soient différentes.
- [0026] Dans ce cas, pour chacune ou pour au moins une de ces couches de fibres, les fibres peuvent être déposées sur le substrat sous forme de segments, rectilignes ou incurvés, s'étendant entre deux points du substrat. Les segments sont avantageusement disposés en contact deux à deux ou à faible distance entre eux, notamment à une distance inférieure à 2 mm. A au moins une extrémité d'un segment de fibres, les fibres peuvent être déposées de manière à dessiner une courbure pour réaliser un changement de direction et commencer à former un autre segment. Dans ce cas, les segments sont reliés entre eux et les fibres sont déposées de manière continue. En variante, les fibres sont coupées à chaque extrémité de segment de fibres. Les extrémités de segments de fibres sont par exemple disposées à proximité ou sur la périphérie du substrat.
- [0027] Les différentes couches de fibres peuvent être entièrement ou partiellement superposées. En particulier, une ou plusieurs couches de fibres peuvent ne pas couvrir la zone de la languette de recouvrement, comme expliqué ci-dessus.

- [0028] Le substrat peut comporter un matériau polymère thermoplastique, par exemple.
- [0029] Le substrat peut comporter un matériau tissé, par exemple un tissu de verre ou de carbone ou autre tissu.
- [0030] Le substrat peut comporter un matériau soluble, notamment hydrosoluble, par exemple un polymère hydrosoluble.
- [0031] Le substrat peut comporter une grille de drainage.
- [0032] Ledit au moins un noyau est de préférence choisi dans le groupe constitué par les mandrins, notamment les mandrins démontables, les vessies gonflables, les noyaux microbilles ou solubles.
- [0033] Ladite au moins une âme est de préférence choisie dans le groupe constitué par les mousses, les nids d'abeille, toute autre structure métallique, polymère, ou en matériau composite et leurs assemblages.
- [0034] Les fibres de ladite au moins une couche de fibres comportent, de préférence, des fibres sèches de renfort, notamment des fibres d'aramide, notamment des fibres de Kevlar.
- [0035] Dans un mode de réalisation, les fibres sont sous la forme de fibres pré-imprégnées. De telles fibres comportent un mélange de fibres de renfort préalablement imprégnées d'un matériau polymère.
- [0036] Les fibres de renfort peuvent être des fibres choisies dans le groupe constitué par les fibres de carbone, les fibres de verre, les fibres de céramique, les fibres d'origine végétale, notamment les fibres de lin, de préférence des fibres de carbone et de verre, les fibres d'aramides, et un mélange de celles-ci.
- [0037] Les fibres peuvent se présenter sous la forme choisie dans le groupe constitué par les mèches, les tresses, les torons, de préférence les mèches, et un mélange de ceux-ci, par exemple les mèches de torons de fibres.
- [0038] Par « coudre », on entend « assembler au moyen d'un fil de couture passé dans une aiguille ». Le résultat obtenu est une couture avec au moins un fil de couture.
- [0039] De préférence, l'étape a) est mise en œuvre à l'aide d'une machine à coudre, notamment une machine de placement de fibres, connue sous le nom de TFP pour « Tailored Fiber Placement » en anglais. Une telle machine permet de fixer les fibres avec au moins un fil de couture, notamment avec deux fils de couture, sur le substrat par au moins une couture de préférence en point zig zag, c'est-à-dire en avançant tout en effectuant un déplacement latéral de part et d'autre des fibres pour piquer de part et d'autre et le long de celles-ci. De préférence, le ou les fils de couture ne traverse(nt) pas les fibres mais pique(nt) le substrat sous-jacent de part et d'autre des fibres.
- [0040] Préforme tridimensionnelle
- [0041] L'invention a encore pour objet, selon un autre de ses aspects, en combinaison avec ce qui précède, une préforme tridimensionnelle réalisée à l'aide d'un procédé tel que

défini plus haut.

- [0042] La préforme comporte un substrat et au moins une couche de fibres cousue sur le substrat. La préforme possède une épaisseur locale variable prédéterminée et comporte au moins deux bords superposés et fixés entre eux, définissant chacun une languette de recouvrement, l'épaisseur de chaque languette de recouvrement étant inférieure à l'épaisseur de la préforme dans une zone bordant cette languette de recouvrement en dehors de celle-ci.
- [0043] La préforme comporte de préférence au moins deux couches de fibres. Deux couches de fibres superposées en contact l'une avec l'autre ont avantageusement une orientation prédéfinie des fibres différente, par exemple différente d'au moins 45°.
- [0044] Les deux bords superposés sont avantageusement fixés entre eux par couture avec au moins un fil de couture, par soudure et/ou par collage, par agrafage, par capitonnage et/ou par ruban adhésif.
- [0045] Procédé de fabrication d'une pièce en matériau composite
- [0046] L'invention a encore pour objet, selon un autre de ses aspects, en combinaison avec ce qui précède, un procédé de fabrication d'une pièce tridimensionnelle en matériau composite comportant les étapes suivantes :
 - [0047] - réaliser une préforme tridimensionnelle sous forme de corps creux ou de structure sandwich en mettant en œuvre le procédé tel que défini plus haut,
 - [0048] - mettre en forme la pièce en matériau composite par consolidation ou ajout de matrice.
- [0049] L'étape de mise en forme peut consister, lorsque la préforme comporte des fibres sèches, à disposer la préforme tridimensionnelle et ledit au moins un noyau dans un moule puis à ajouter une matrice, notamment par un procédé voie liquide, de type moulage par transfert de résine RTM (pour Resin Transfer Molding en anglais) ou par infusion, entre autres, et polymériser de manière à obtenir la pièce finale après démoulage. La matrice peut être en matériau polymère thermodurcissable, thermoplastique ou élastomérique. Le déplacement de la préforme et du noyau dans un moule peut être réalisé de manière automatisée, à l'aide d'un robot, par exemple.
- [0050] En variante, lorsque la préforme comporte des fibres pré-imprégnées ou des fibres « comélées », c'est-à-dire comportant un mélange de fibres de renfort et de fibres ou fils thermoplastiques, l'étape de mise en forme peut consister à positionner la préforme tridimensionnelle et ledit au moins un noyau ou ladite au moins une âme dans un outillage tel qu'un autoclave, une étuve ou une presse, de manière à réaliser la consolidation, consistant par exemple en un chauffage et/ou une compression, afin d'obtenir la pièce finale en matériau composite.
- [0051] L'étape de mise en forme peut encore consister à placer la préforme tridimensionnelle et ledit au moins un noyau ou ladite au moins une âme dans un moule puis à

déposer, par craquage de gaz ou par pyrolyse de polymères, une matrice céramique dans la préforme afin de mettre en forme la pièce en matériau composite.

- [0052] Le procédé peut comporter l'étape consistant à retirer ledit au moins un noyau après l'étape de mise en forme de la pièce. En particulier, lorsque ledit au moins un noyau est un mandrin, cette étape de retrait est de préférence mise en œuvre, auquel cas la pièce finale en matériau composite obtenue forme uniquement un corps creux autour de la cavité. Dans le cas où l'on conserve le noyau pour l'étape de mise en forme de la pièce, celui-ci peut former alors au moins une partie du moule.
- [0053] En revanche, lorsque ladite au moins une âme comporte une mousse ou un nid d'abeille ou autre structure, celle-ci est de préférence non retirée. Elle reste alors dans la cavité. Dans ce cas, la pièce finale en matériau composite obtenue forme une structure sandwich.
- [0054] Le substrat peut comporter une grille de drainage. Dans ce cas, au cours de l'étape de mise en forme, on peut faire passer un matériau polymère sous forme fluide au travers de la grille de drainage. La présence d'une grille de drainage peut permettre une meilleure imprégnation des fibres avec le matériau polymère de la matrice, ce dernier circulant plus aisément lors de son ajout sous forme fluide.
- [0055] Le substrat peut comporter un matériau soluble, notamment hydrosoluble, par exemple un polymère hydrosoluble. Le procédé peut alors comporter l'étape consistant à faire passer la préforme dans de l'eau ou un autre solvant adapté, de manière à solubiliser, au moins partiellement, le matériau soluble du substrat. Dans ce cas, le nombre de corps étrangers dans la pièce en matériau composite finale est réduit puisque au moins une partie du substrat a été éliminée.
- [0056] Un des avantages de l'invention est qu'il n'y a pas ou peu de perte de matière entre la fabrication de la préforme et la mise en forme de la pièce.
- [0057] Pièce en matériau composite
- [0058] L'invention a encore pour objet, selon un autre de ses aspects, en combinaison avec ce qui précède, une pièce en matériau composite comportant une matrice en matériau polymère, métallique et/ou céramique, et un renfort fibreux, fabriquée à partir d'une préforme tridimensionnelle réalisée en mettant en œuvre le procédé tel que défini plus haut.
- [0059] La pièce en matériau composite est tridimensionnelle et sa forme est avantageusement relativement identique à celle de la préforme tridimensionnelle.
- [0060] Elle peut comporter au moins une cavité formée par le retrait dudit au moins un noyau. En variante, elle peut comporter ladite au moins une âme, notamment sous forme de mousse ou nid d'abeille ou autre structure, lorsque celle-ci n'a pas été retirée, de manière à former une pièce dite « sandwich ».
- [0061] Par ailleurs, le nombre et le volume des surépaisseurs dans la pièce en matériau

composite sont avantageusement limités.

- [0062] Dans le cas d'une fixation par couture des languettes de recouvrement, le ou les fils de couture peu(ven)t comporter un matériau polymère capable de fusionner avec la matrice de la pièce en matériau composite finale, lors de sa mise en forme. Un tel fil de couture permet de limiter le nombre de corps étrangers dans la pièce en matériau composite finale.
- [0063] Le fil de couture peut en variante comporter un matériau qui ne fusionne pas avec la matrice de la pièce en matériau composite finale, lors de sa mise en forme. Un tel fil de couture peut permettre d'améliorer la manipulation à chaud de la préforme tridimensionnelle par un robot.
- [0064] Il est possible de réaliser des préformes tridimensionnelles avec une orientation des fibres correspondant aux contraintes d'utilisation de la pièce en matériau composite finale.
- [0065] Lorsque le substrat comporte un matériau polymère thermoplastique, il peut fusionner avec la matrice de la pièce en matériau composite finale lors de sa consolidation.
- [0066] Lorsque le substrat comporte un matériau soluble, notamment dans l'eau, l'élimination au moins partielle du substrat peut permettre de limiter le nombre de corps étrangers dans la pièce en matériau composite finale.
- [0067] Installation
- [0068] L'invention a encore pour objet, selon un autre de ses aspects, en combinaison avec ce qui précède, une installation pour la mise en œuvre du procédé de fabrication de la préforme tridimensionnelle tel que défini plus haut, comportant :
 - [0069] - au moins une tête de dépose pour déposer les fibres en couche sur le substrat,
 - [0070] - une machine à coudre comportant au moins une tête de couture pour coudre les fibres sur le substrat,
 - [0071] - au moins un noyau pour la mise en forme de la préforme sous forme tridimensionnelle,
 - [0072] - un dispositif de fixation des languettes de recouvrement.
- [0073] L'installation peut également être agencée pour permettre la mise en œuvre du procédé de fabrication de la pièce en matériau composite tridimensionnelle tel que défini plus haut, comportant un outillage de mise en forme de la pièce en matériau composite finale. Un tel outillage peut par exemple comporter un moule, une étuve, un autoclave ou une presse.
- [0074] La machine à coudre est de préférence une machine de placement de fibres TFP.
- [0075] La tête de dépose peut comporter au moins un couteau pour couper les fibres, le cas échéant et/ou au moins un organe d'appui, notamment un rouleau, pour appuyer les fibres contre le substrat.

[0076] La tête de couture comporte de préférence une canette et une aiguille, de manière connue en soi.

[0077] La machine à coudre peut comporter plusieurs têtes de couture et plusieurs têtes de dépose aptes à fonctionner simultanément pour accélérer la cadence de fabrication de la préforme.

Brève description des dessins

[0078] L'invention pourra être mieux comprise à la lecture de la description détaillée qui va suivre, d'exemples de mise en œuvre non limitatifs de celle-ci, et à l'examen du dessin annexé, sur lequel

[0079] [fig.1] la figure 1 représente, de manière schématique et en perspective, une préforme réalisée avec un procédé d'enroulement filamentaire de l'art antérieur,

[0080] [fig.2] la figure 2 représente, de manière schématique et en perspective, une préforme obtenue selon un procédé de tricotage de l'art antérieur,

[0081] [fig.3] la figure 3 représente, de manière schématique, en vue de dessus, un support pour la réalisation d'un exemple de préforme selon l'invention,

[0082] [fig.4] la figure 4 est une vue similaire à la figure 3 illustrant le dépôt sur le support d'une couche de fibres,

[0083] [fig.5] la figure 5 est une vue en coupe transversale schématique de la figure 4 selon V,

[0084] [fig.6] la figure 6 est une vue similaire à la figure 4 après l'étape de dépôt d'une couche de fibres,

[0085] [fig.7] la figure 7 est une vue similaire à la figure 6 après le dépôt d'une nouvelle couche de fibres,

[0086] [fig.8] la figure 8 est une vue en coupe transversale schématique de la préforme à plat de la figure 7,

[0087] [fig.9] la figure 9 est une vue en coupe transversale schématique de la préforme de la figure 8 déposée autour d'un noyau,

[0088] [fig.10] la figure 10 est une vue schématique en perspective de la préforme de la figure 9,

[0089] [fig.11] la figure 11 est une vue isolée schématique de dessus de la première couche de fibres de la préforme tridimensionnelle des figures 9 et 10,

[0090] [fig.12] la figure 12 est une vue isolée schématique de dessus de la deuxième couche de fibres de la préforme tridimensionnelle des figures 9 et 10,

[0091] [fig.13] la figure 13 est une vue schématique en perspective de la pièce en matériau composite réalisée par consolidation de la préforme tridimensionnelle de la figure 12,

[0092] [fig.14] la figure 14 est une photographie d'un autre exemple de préforme selon l'invention avant mise en forme autour d'une âme,

- [0093] [fig.15] la figure 15 est une photographie de la préforme de la figure 14 après mise en forme sur l'âme,
- [0094] [fig.16] la figure 16 est une vue en coupe transversale schématique de la préforme de la figure 15 disposée dans un moule,
- [0095] [fig.17] la figure 17 est une photographie de la pièce obtenue à partir de la préforme de la figure 15 après mise en forme,
- [0096] [fig.18] la figure 18 est une vue en coupe transversale schématique d'un autre exemple de préforme à plat au cours de la réalisation du procédé selon l'invention,
- [0097] la figure 19 représente isolément, de manière schématique, en vue de dessus partiellement découverte, un autre exemple de substrat pouvant être utilisé dans le procédé selon l'invention, et
- [0098] [fig.20] la figure 20 représente, en vue en coupe transversale schématique un autre exemple de préforme tridimensionnelle réalisée à l'aide du procédé selon l'invention.

Description détaillée

- [0099] Dans la suite de la description, les éléments identiques ou de fonctions identiques portent le même signe de référence. A des fins de concision de la présente description, ils ne sont pas décrits en regard de chacune des figures, seules les différences entre les modes de réalisation étant décrites.
- [0100] Sur les figures, les proportions réelles n'ont pas été respectées, dans un souci de clarté.
- [0101] Le procédé selon l'invention, dont un exemple de mise en œuvre est illustré sur les figures 3 à 12, permet de fabriquer une préforme tridimensionnelle sous forme de corps creux ou de structure sandwich.
- [0102] Pour la mise en œuvre de ce procédé, dans un mode de réalisation particulier, on tend un substrat 10, dans cet exemple de forme sensiblement carrée, dans un cadre S, comme visible sur la figure 3.
- [0103] Dans cet exemple, le substrat 10 est réalisé dans un tissu souple en verre . Le substrat 10 peut être réalisé dans un autre matériau, comme par exemple un film en matériau polymère thermoplastique ou un matériau soluble, par exemple hydrosoluble, sans sortir du cadre de l'invention.
- [0104] Ensuite, on dépose et on coud à plat, à l'aide d'une machine à coudre, en l'espèce une machine de placement de fibres TFP, partiellement illustrée sur la figure 5, au moins une couche 15 de fibres 16 sur le substrat 10, avec au moins un fil de couture, notamment deux fils de couture, pour obtenir une préforme à plat 9. Le contour 12 de la préforme à plat 9 est visible en pointillés sur la figure 4, quoique virtuel à ce stade du procédé.
- [0105] Dans cet exemple, les fibres 16 sont des fibres sèches formées par des fibres de

carbone assemblées entre elles sous forme de mèche 17 enroulée en une bobine 44.

- [0106] Pour déposer et coudre la couche 15 de fibres 16, comme illustré sur la figure 5, la mèche 17 de fibres est déroulée de la bobine 44 et déposée sur le substrat 10. Un système de guidage 23 de la mèche 17 avant son dépôt est également prévu dans l'exemple illustré. Puis les fibres 16 sont cousues sur le substrat 10 avec deux fils de couture 18, l'un étant déplacé à l'aide d'une aiguille 19 et l'autre étant déroulé d'au moins une canette 20 de manière à réaliser des points de couture 21 et à obtenir une couture 22. Les points de couture 21 traversent le substrat 10 de part et d'autre de la mèche 17 de fibres 16, de préférence en évitant de traverser celle-ci.
- [0107] Dans l'exemple illustré, le substrat 10 est déplacé relativement à l'aiguille 19 de manière à réaliser la couture 22 en point zig zag tout en avançant le long de la mèche 17 au cours de son dépôt. La couture 22 est ainsi réalisée par une alternance de points de couture 21 de part et d'autre de la mèche 17 de fibres 16 déposées comme visible sur la figure 4.
- [0108] La figure 6 illustre la préforme à plat 9 après le dépôt de la première couche 15 de fibres 16.
- [0109] Comme visible, les mèches 17 et donc les fibres 16 ont été disposées sous forme de segments 24 s'étendant entre des extrémités 25 et 26. Les segments 24 sont réalisés pour donner une orientation aux fibres 16, de manière prédéfinie, au sein de la couche 15. Au niveau de l'extrémité 25 de chaque segment 24, une courbure 27 est donnée à la mèche 17 de manière à réaliser un changement de direction et à l'orienter pour former le segment 24 suivant. De même, au niveau de l'extrémité 26, une courbure 28 est donnée à la mèche 17 de manière à réaliser un changement de direction et l'orienter pour former le segment 24 suivant. Les segments 24 sont disposés les uns contre les autres deux à deux, en contact ou non entre eux. Il y a continuité de dépôt de la mèche 17 pour former à la fois les segments 24 et les courbures 27 et 28 dans cet exemple.
- [0110] Dans l'exemple illustré, une nouvelle étape est ensuite prévue, comme visible sur la figure 7, consistant à déposer et coudre une nouvelle couche 31 de mèche 32 de fibres 33, par exemple des fibres de verre, sur la couche de fibres 15. Les fibres 33 de la nouvelle couche 31 ont dans cet exemple une orientation différente de celle des fibres 16 de la couche de fibres 15, notamment formant un angle de 45° avec les fibres 16 de la couche précédente. L'angle peut être différent sans sortir du cadre de l'invention, par exemple être égal à 90° ou 135° . Dans cet exemple également, pour cette couche 31, on coupe les mèches 32 de fibres 33 aux extrémités, sans former de courbure comme pour la couche 15. On ne sort pas du cadre de l'invention si toutes les couches sont coupées aux extrémités ou si toutes les couches sont déposées avec des courbures aux extrémités.
- [0111] La nouvelle couche 31 est fixée par une couture 37 avec un au moins un fil de

couture 36, comme visible sur la figure 8. La couture 37 est réalisée de manière équivalente à la couture 22, de préférence avec des points zig zag qui traversent la couche 31, la couche 15 et le substrat 10.

- [0112] La nouvelle couche 31 recouvre dans cet exemple la totalité de la surface de la couche de fibres 15, à l'exception d'une partie de cette surface. En effet, la préforme 9 formée des couches 15 et 31 de fibres comporte au moins deux bords 34 et 29 dé-finissant chacun une languette de recouvrement 13, l'épaisseur e_1 de chaque languette de recouvrement 13 étant inférieure à l'épaisseur e_2 de la préforme 9 dans une zone 45 bordant cette languette de recouvrement 13 et située en dehors de celle-ci, comme visible sur les figures 7 et 8.
- [0113] A la fin de son dépôt, la couche 15 forme un contour 30 superposé au contour 12 de la préforme à plat 9 dans cet exemple. A la fin de son dépôt, la couche 31 présente un contour 46 en retrait pour partie par rapport au contour 30 pour définir une partie des languettes de recouvrement 13. Le contour 30 est lui aussi pour partie en retrait par rapport au contour 46 afin de définir une autre partie des languettes de recouvrement 13.
- [0114] On note que les languettes de recouvrement 13 ont pour certaines, les languettes de recouvrement 13a, une forme continue, tandis que d'autres, les languettes 13b, ont une forme discontinue.
- [0115] Les fils de couture 18 et 36 peuvent comporter un matériau polymère thermo-plastique. Ils peuvent également comporter d'autres matériaux sans sortir du cadre de l'invention. Dans cet exemple, les fils de couture 18 et 36 comportent les mêmes matériaux.
- [0116] Dans cet exemple, les couches de fibres 15 et 31 ont la même épaisseur sur toute leur surface. Il n'est pas exclu que les couches aient une épaisseur différente, même lo-calement.
- [0117] L'orientation locale des fibres 33 sur la préforme à plat 9 est déterminée de manière à donner une orientation prédéfinie aux fibres 33 dans la préforme tridimensionnelle 35.
- [0118] A la fin du dépôt et de la couture des couches formant la préforme à plat 9, le substrat 10 peut être détaché du cadre S et être découpé selon le contour 12 de la préforme à plat 9.
- [0119] L'étape suivante du procédé selon l'invention consiste, comme illustré sur la figure 9, à déposer la préforme à plat 9 sur un noyau 38, constitué dans cet exemple par une vessie gonflable, pour former une préforme tridimensionnelle 35. Les couches de fibres 15 et 31 se recouvrent alors dans une zone de superposition 39 au niveau des languettes de recouvrement 13. Dans cet exemple, il n'y a pas de surépaisseur dans la zone de superposition 39. La forme des languettes de recouvrement 13a et 13b permet, malgré le passage en 3D de la préforme 9, de ne pas créer de surépaisseur.

- [0120] Dans cet exemple, les languettes de recouvrement 13 sont fixées entre elles par une couture 40 avec au moins un fil de couture 41. Dans ce cas, le fil de couture 41 peut être réalisé dans le même matériau, ou non, que le fil de couture 18 et/ou le fil de couture 36. La couture peut être réalisée manuellement ou de manière automatisée.
- [0121] La fixation des languettes de recouvrement 13 peut être réalisée autrement, par exemple par soudure, collage et/ou par bande adhésive sans sortir du cadre de l'invention.
- [0122] Comme illustré sur la figure 10, la couture 40 s'étend sur la totalité de la longueur de la zone de superposition 39, selon l'axe longitudinal de la préforme tridimensionnelle 35.
- [0123] Sur la figure 11, on voit l'orientation finale de la couche de fibres 15 dans la préforme tridimensionnelle 35.
- [0124] Sur la figure 12, on voit l'orientation finale à 45° de la couche de fibres 31 par rapport à la couche de fibres 15 dans la préforme tridimensionnelle 35.
- [0125] La forme de la préforme à plat 9 est de préférence prédéterminée de manière à ce que, dans l'étape ultérieure de mise en forme sur le noyau 38 de forme tridimensionnelle la préforme 35, dans sa forme tridimensionnelle, épouse au mieux le noyau 38.
- [0126] Le procédé peut ainsi comporter une étape préalable de calcul consistant à calculer la forme, l'orientation des fibres 16 et 32, l'épaisseur des couches 15 et 31 et/ou le nombre des couches de fibres en au moins certaines portions de la préforme à plat 9 afin d'obtenir la préforme tridimensionnelle 35 souhaitée. Par ailleurs, une telle étape de calcul peut comprendre le calcul de l'étendue, incluant la forme, et l'emplacement des languettes de recouvrement 13. Dans ce cas, les étapes de dépôt des couches 15 et 31 peuvent être mises en œuvre en fonction du résultat de cette étape préalable de calcul. Cette étape permet de réaliser la préforme à plat 9, conçue de manière à correspondre à la géométrie de la préforme tridimensionnelle 35, voire la pièce finale en matériau composite désirée.
- [0127] Selon l'invention, on peut réaliser, à partir de la préforme 35, une pièce 42, tridimensionnelle, en matériau composite. Pour ce faire, dans l'exemple illustré, on dispose la préforme tridimensionnelle 35 et le noyau 38 dans un moule puis on ajoute un matériau polymère sous forme liquide dans le moule, par infusion ou, injection, de manière à réaliser la matrice. Le moule peut être chauffé. L'outillage est bien entendu adapté à la mise en forme. Une fois la polymérisation effectuée, on obtient la pièce 42 finale en matériau composite. On retire le noyau 38, par dégonflage de celui-ci.
- [0128] Si le substrat 10, le fil de couture 18, le fil de couture 36 et/ou le fil de couture 41 sont dans un matériau polymère thermoplastique, ils peuvent fondre et se mélanger à la matrice, lorsqu'également en matériau polymère, de la pièce 42.

- [0129] On peut en variante mettre en forme la pièce 42 finale en ajoutant un matériau métallique.
- [0130] Dans une autre variante, on dépose, par craquage de gaz ou par pyrolyse d'un matériau organique tel qu'un polymère, un brai de houille, une matrice céramique pour mettre en forme la pièce 42 en matériau composite.
- [0131] On a illustré un exemple d'une telle pièce 42 sur la figure 13, formée à partir de la préforme 35, réalisée par moulage par injection de matière polymère dans les couches 15 et 31 de fibres afin de former la matrice. La pièce 42 présente une cavité 43 à la place du noyau 38 qui a été retiré.
- [0132] La figure 14 représente un autre exemple de préforme à plat 9 réalisée avec des fibres de carbone et la figure 15 représente la préforme tridimensionnelle 35 obtenue à partir de celle-ci formée autour d'une âme 60, réalisée en mousse dans cet exemple, laquelle est illustrée de manière dissociée sur cette figure pour être visible.
- [0133] On a représenté sur la figure 16 la préforme tridimensionnelle 35 de la figure 15 lorsque positionnée dans un moule 49 entourant extérieurement la préforme 35, pour l'étape de mise en forme de la pièce en matériau composite réalisée à partir de la préforme 35. Dans cet exemple, l'âme 60 est conservée dans la pièce finale. Dans l'exemple illustré, l'étape de mise en forme consiste en l'ajout d'une matrice, dans cet exemple polymère, par procédé voie liquide, dans cet exemple par infusion de résine.
- [0134] La figure 17 illustre la pièce 42 finale après infusion de résine et polymérisation puis démoulage. La pièce 42 comporte intérieurement l'âme 60 et forme une structure sandwich.
- [0135] Bien évidemment, l'invention n'est pas limitée à deux couches de fibres.
- [0136] On a représenté sur la figure 18 un exemple de préforme à plat 9 comportant n =cinq couches de fibres superposées.
- [0137] Dans le cas d'une préforme à plat 9 comportant au moins trois couches de fibres, l'épaisseur des languettes de recouvrement 13 est avantageusement choisie pour éviter les surépaisseurs dans la zone de superposition 39 de la préforme tridimensionnelle 35.
- [0138] Dans l'exemple illustré sur la figure 18, l'une des languettes de recouvrement 13 comporte $n-1$ =quatre couches de fibres tandis que l'autre languette de recouvrement 13 comporte une couche de fibres. Lorsque superposées entre elles dans la zone de superposition, on obtient $(n-1) + 1=4+1=5$ couches de fibres soit la même quantité de couches de fibres que le reste de la préforme 9, au moins à proximité immédiate des languettes de recouvrement 13.
- [0139] On a représenté sur la figure 19 un autre exemple de substrat 10 pouvant être utilisé. Ce substrat 10 comporte une partie 47 en matériau hydrosoluble, notamment en polymère hydrosoluble, superposée à une grille de drainage 48. On solubilise la partie 47 hydrosoluble du substrat 10 une fois la préforme tridimensionnelle réalisée. Au

cours de l'étape de mise en forme pour réaliser la pièce en matériau composite finale, on peut faire passer un matériau polymère sous forme fluide au travers de la grille de drainage 48, ce qui permet une meilleure imprégnation des fibres avec le matériau polymère de la matrice, ce dernier circulant plus aisément lors de son ajout sous forme fluide.

- [0140] Par ailleurs, le procédé peut comporter l'étape consistant à faire passer la préforme 35 dans de l'eau, de manière à solubiliser la partie 47 en matériau soluble du substrat 10. Dans ce cas, le nombre de corps étrangers dans la pièce en matériau composite finale est réduit puisque le substrat a disparu.
- [0141] Dans les exemples qui précèdent, la préforme tridimensionnelle 35 est réalisée à partir d'une unique préforme à plat 9 repliée sur elle-même autour d'un noyau ou d'une âme. L'invention concerne également la réalisation d'une préforme tridimensionnelle 35 à partir de plusieurs préformes à plat 9 assemblées entre elles, comme dans l'exemple illustré sur la figure 20 qui comporte deux préformes à plat 9 assemblées. Chaque préforme à plat 9 comporte au moins deux bords définissant chacun une languette de recouvrement 13, comme précédemment décrit. Cependant, les deux préformes à plat 9 sont assemblées entre elles autour du noyau 38 pour former la préforme tridimensionnelle 35, les languettes de recouvrement 13 de l'une des préformes à plat 9 venant se superposer sur les languettes de recouvrement 13 de l'autre des préformes à plat 9, comme visible.
- [0142] L'invention n'est pas limitée aux exemples qui viennent d'être décrits.
- [0143] En particulier, le nombre de couches de fibres dans la préforme peut être différent sans sortir du cadre de l'invention, notamment être supérieur à 2, par exemple être compris entre 2 et 500 couches de fibres, de manière non limitative.
- [0144] Les fibres 16 ou 33 peuvent encore comporter des fibres en matériau polymère et/ou des fibres pré-imprégnées. Lorsque les fibres 16 ou 33 comportent un mélange de fibres sèches et de fibres en matériau polymère, ou sont des fibres pré-imprégnées, alors l'étape de mise en forme pour réaliser la pièce finale en matériau composite peut ne pas comprendre l'ajout d'un matériau polymère et comporter uniquement une consolidation dans un autoclave, une étuve ou une presse.
- [0145] Les fibres 16 peuvent être coupées, par exemple aux extrémités des segments 24, à l'aide d'un couteau, après dépose et éventuellement couture de ceux-ci. Dans ce cas, il n'y a pas de courbures 27 et 28 pour les changements de direction, les segments étant disposés côte-à-côte au sein de la couche.
- [0146] L'invention permet de réaliser des pièces en matériau composite creuses avec ou sans noyau et de forme complexe avec un procédé peu coûteux. Elle permet également de limiter les chutes de matière puisque le matériau est positionné au juste besoin. Elle permet encore d'optimiser les performances mécaniques de pièces en matériau

composite puisqu'elle permet d'optimiser l'orientation des fibres de renfort. Elle permet de se passer d'un plan de jointure entre deux peaux et donc de limiter les faiblesses mécaniques locales. Elle permet encore d'imprégner, le cas échéant, les fibres de renfort et d'assembler la pièce avec une âme en mousse en une seule étape, dans le cas d'une pièce finale à structure sandwich. Elle permet encore d'obtenir une préforme qui a une bonne tenue, ce qui facilite sa manipulation et l'étape de déplacement dans un moule.

- [0147] L'invention permet de réaliser des pièces à géométrie complexe, d'optimiser les propriétés mécaniques de telles pièces, de réduire les coûts de fabrication, et d'augmenter l'automatisation des procédés dit voie liquide (RTM ou infusion).

Revendications

- [Revendication 1] Procédé de fabrication d'une préforme tridimensionnelle (35) sous forme de corps creux ou de structure sandwich comportant les étapes suivantes :
- a. déposer et coudre à plat au moins une couche (15, 31) de fibres (16, 33) sur un substrat (10), avec au moins un fil de couture (18), pour obtenir une préforme à plat (9), de telle sorte que la préforme (9) comporte au moins deux bords (29, 34) définissant chacun une languette de recouvrement (13), l'épaisseur de chaque languette de recouvrement (13) étant inférieure à l'épaisseur de la préforme (9) dans une zone bordant cette languette de recouvrement (13) en dehors de celle-ci,
 - b. disposer la préforme (9) ou disposer une pluralité de telles préformes (9) autour d'au moins un noyau (38) ou d'au moins une âme (60) de manière à ce que chaque languette de recouvrement (13) se superpose au moins partiellement à au moins une autre languette de recouvrement (13) dans une zone de superposition (39),
 - c. fixer au moins les languettes de recouvrement (13) entre elles dans ladite zone de superposition (39), de manière à former la préforme tridimensionnelle (35).
- [Revendication 2] Procédé selon la revendication 1, dans lequel les étapes a) et b) sont mises en œuvre de telle sorte que, après l'étape c), la préforme tridimensionnelle (35) ne présente pas de surépaisseur dans la zone de superposition (39).
- [Revendication 3] Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel les épaisseurs des languettes de recouvrement (13) sont choisies afin que leur somme soit sensiblement égale à l'épaisseur de la préforme (9) à proximité immédiate des languettes de recouvrement (13).
- [Revendication 4] Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel, à l'étape c), la fixation des languettes de recouvrement (13) dans ladite zone de superposition (39) est réalisée par au moins une couture (40) avec au moins un fil (41), par soudure, par collage, par agrafage, par capitonnage et/ou par ruban adhésif.
- [Revendication 5] Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans

lequel, à l'étape a), ladite au moins une couche (15, 31) de fibres (16, 33) est disposée pour que, après l'étape b) de disposition autour dudit au moins un noyau (38), les fibres (16, 33) aient au moins une orientation prédéterminée.

- [Revendication 6] Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la préforme tridimensionnelle (35) comporte plusieurs couches (15) de fibres (16), l'étape a) étant réalisée de manière à ce que les orientations des fibres (16, 33) de deux couches (15, 31) superposées et en contact l'une avec l'autre soient différentes.
- [Revendication 7] Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, le substrat (10) comportant un matériau soluble, notamment hydrosoluble.
- [Revendication 8] Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le substrat (10) comporte une grille de drainage (48).
- [Revendication 9] Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel, lorsqu'on dispose la préforme autour d'au moins un noyau (38), ce dernier) est choisi dans le groupe constitué par les mandrins, notamment les mandrins démontables, les vessies gonflables, les noyaux microbilles ou solubles et, lorsqu'on dispose la préforme autour d'au moins une âme (60), cette dernière est choisie dans le groupe constitué par les mousses, les nids d'abeille, toute autre structure métallique, polymère, ou en matériau composite et leurs assemblages.
- [Revendication 10] Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel les fibres (16, 33) comportent des fibres sèches de renfort, notamment des fibres d'aramide, notamment des fibres de Kevlar.
- [Revendication 11] Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel les fibres (16, 33) sont sous une forme choisie dans le groupe constitué par les mèches, les tresses, de préférence les mèches, et un mélange de ceux-ci.
- [Revendication 12] Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'étape a) est mise en œuvre à l'aide d'une machine de placement de fibres (TFP).
- [Revendication 13] Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, comportant une étape préalable de calcul consistant à calculer la forme, l'orientation des fibres (16, 33), l'épaisseur de la ou des couches (15, 31) et/ou le nombre des couches (15, 31) en au moins certaines portions de la préforme à plat (9) afin d'obtenir la préforme tridimensionnelle (35) souhaitée et à mettre en œuvre les étapes a), b) et éventuellement c) en fonction du résultat de cette étape préalable de calcul.

- [Revendication 14] Procédé de fabrication d'une pièce tridimensionnelle (42) en matériau composite comportant les étapes suivantes :
- réaliser une préforme (35) sous forme de corps creux ou de structure sandwich en mettant en œuvre le procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes,
 - mettre en forme la pièce (42) en matériau composite par consolidation ou ajout de matrice.
- [Revendication 15] Procédé selon la revendication précédente, dans lequel l'étape de mise en forme consiste, lorsque la préforme (35) comporte des fibres sèches, à disposer la préforme (35) et ledit au moins un noyau (38) ou ladite au moins une âme (60) dans un moule puis à ajouter une matrice, notamment par un procédé voie liquide, de type moulage par transfert de résine RTM ou par infusion, et polymériser de manière à obtenir la pièce (42) finale après démoulage.
- [Revendication 16] Procédé selon l'une quelconque des revendications 14 à 15, le substrat (10) comportant une grille de drainage (48), dans lequel au cours de l'étape de mise en forme, on fait passer un matériau polymère sous forme fluide au travers de ladite grille de drainage.
- [Revendication 17] Procédé selon l'une quelconque des revendications 14 à 16, comportant l'étape consistant à retirer ledit au moins un noyau (38) après l'étape de mise en forme de la pièce (42).

[Fig. 1]

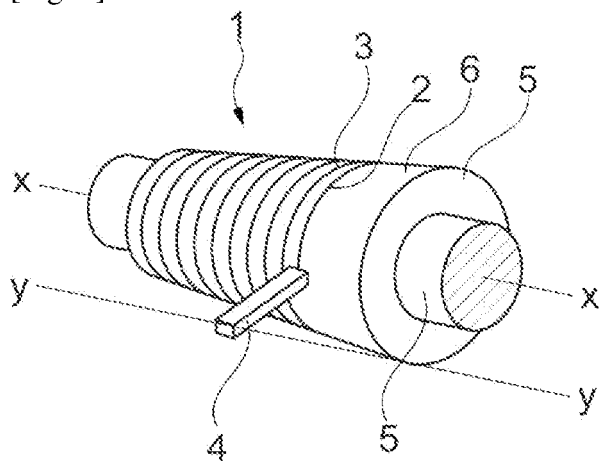


Fig. 1

[Fig. 2]

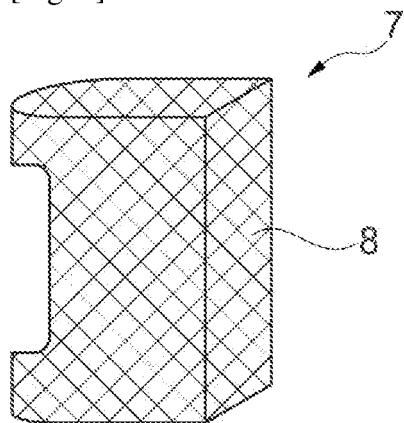


Fig. 2

[Fig. 3]

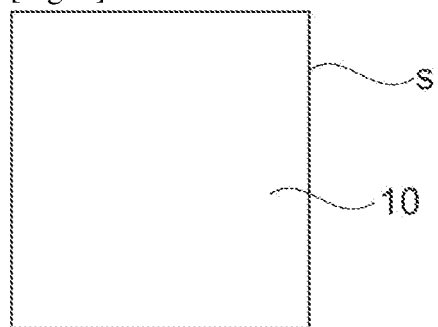
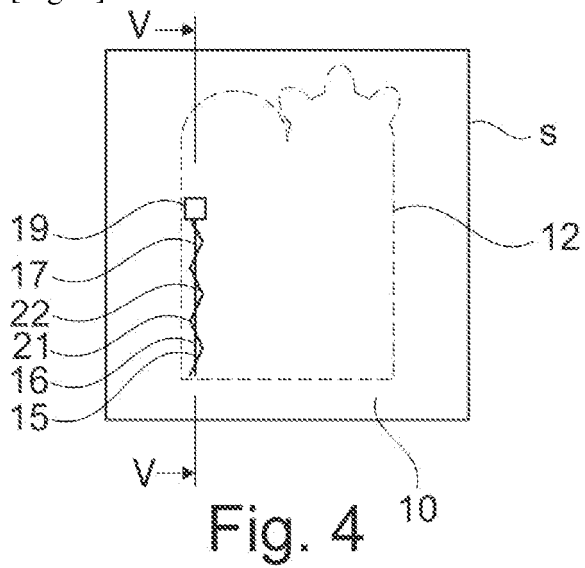
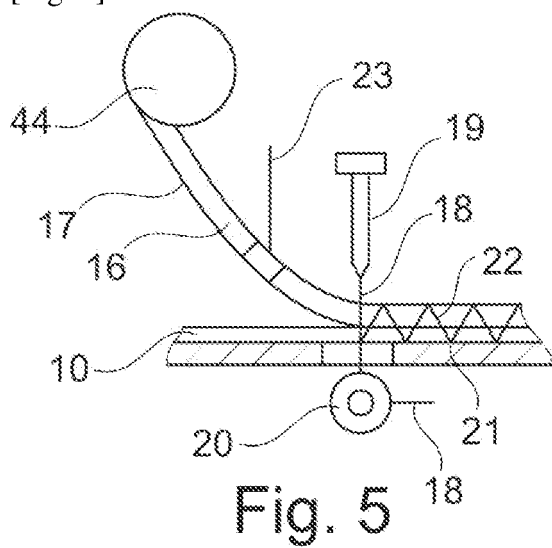


Fig. 3

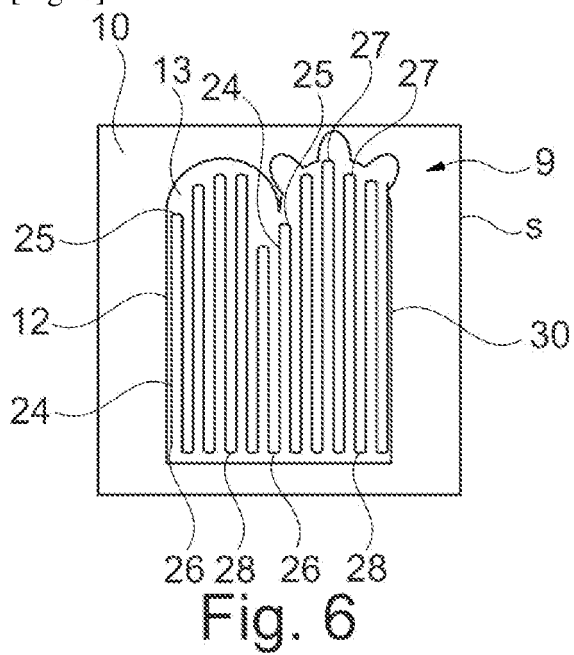
[Fig. 4]



[Fig. 5]



[Fig. 6]



[Fig. 7]

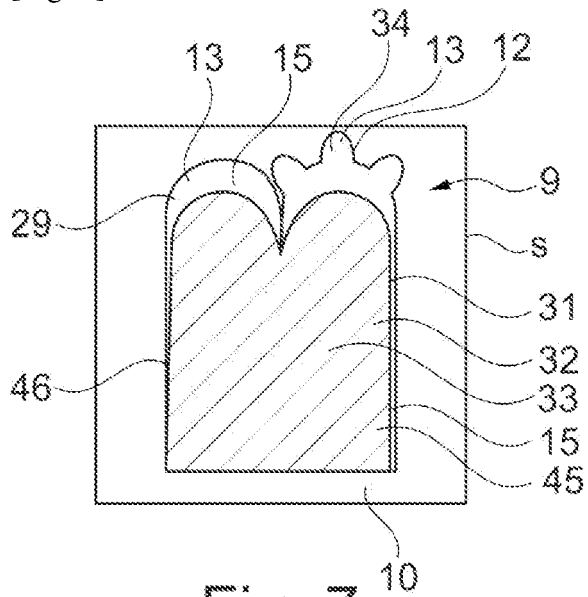


Fig. 7

[Fig. 8]

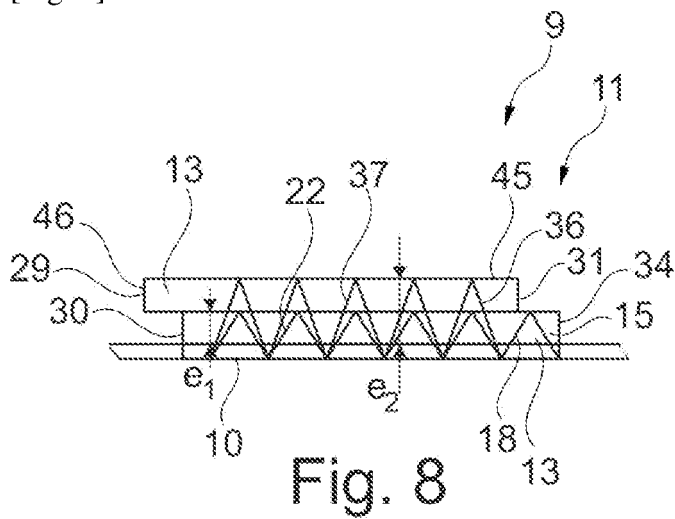


Fig. 8

[Fig. 9]

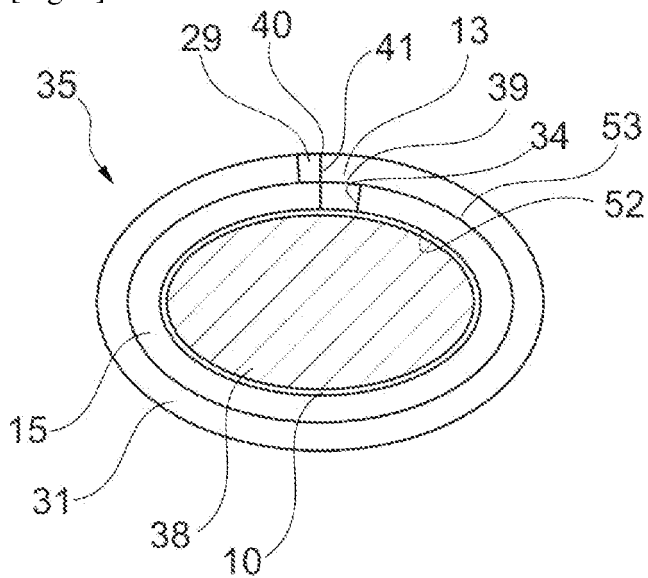
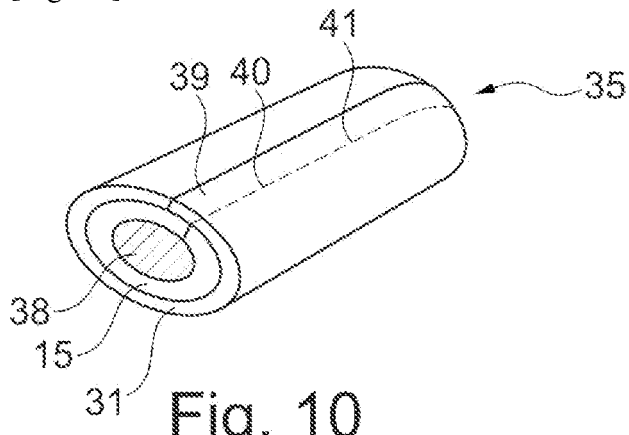
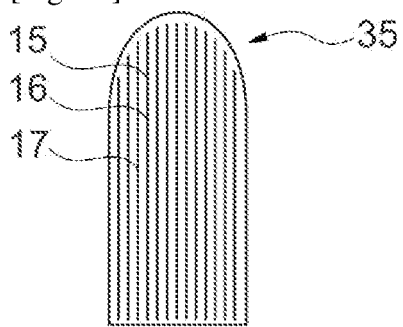


Fig. 9

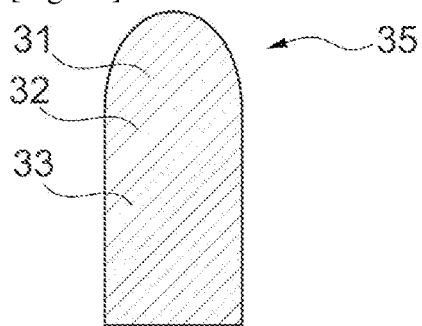
[Fig. 10]



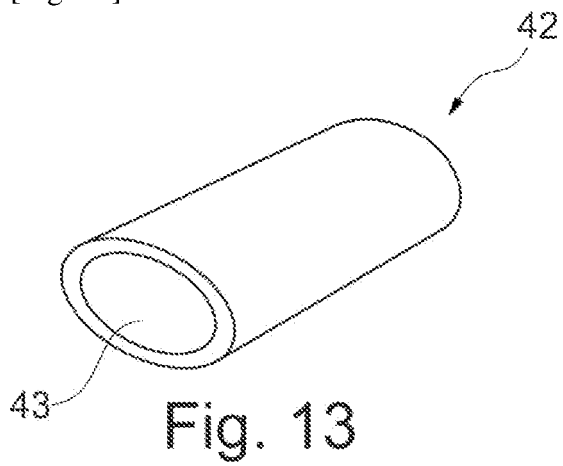
[Fig. 11]



[Fig. 12]



[Fig. 13]



[Fig. 14]

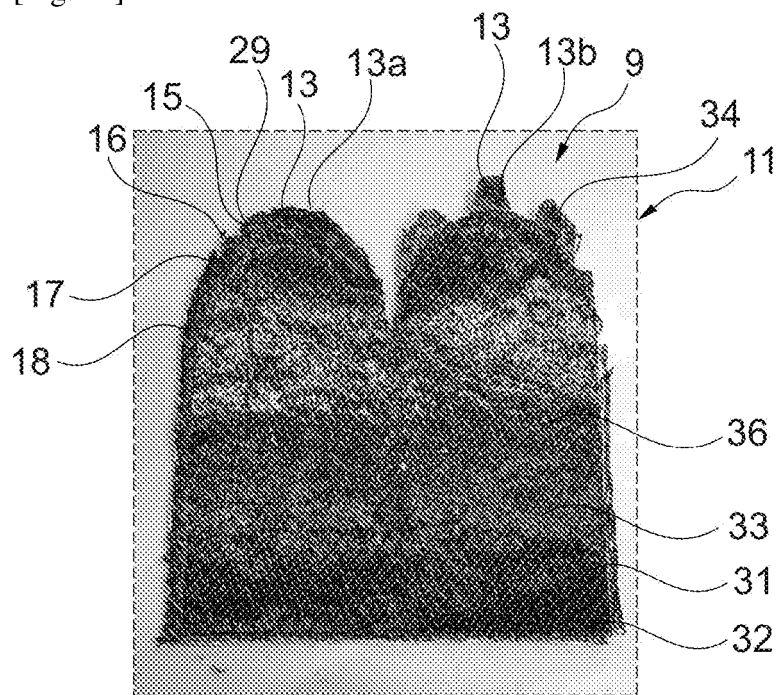


Fig. 14

[Fig. 15]

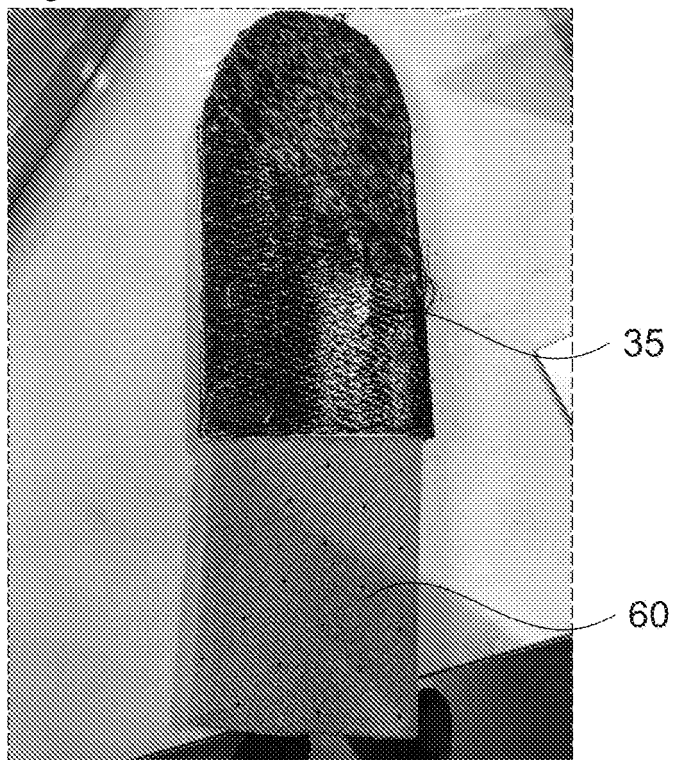


Fig. 15

[Fig. 16]

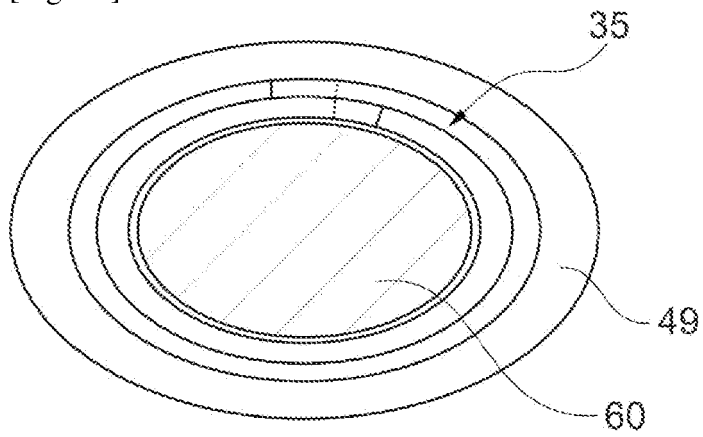


Fig. 16

[Fig. 17]

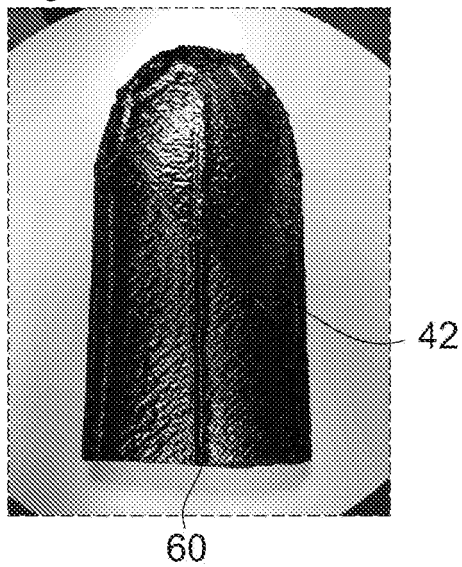


Fig. 17

[Fig. 18]

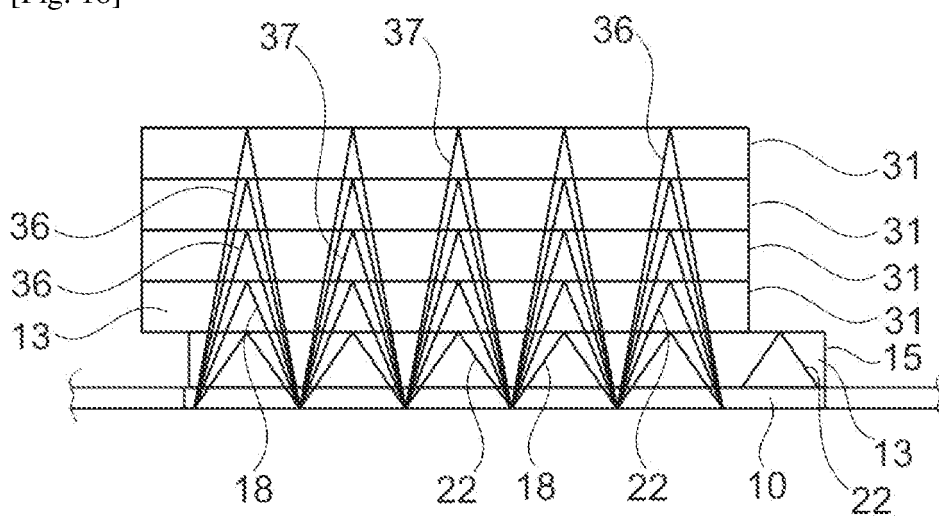


Fig. 18

[Fig. 19]

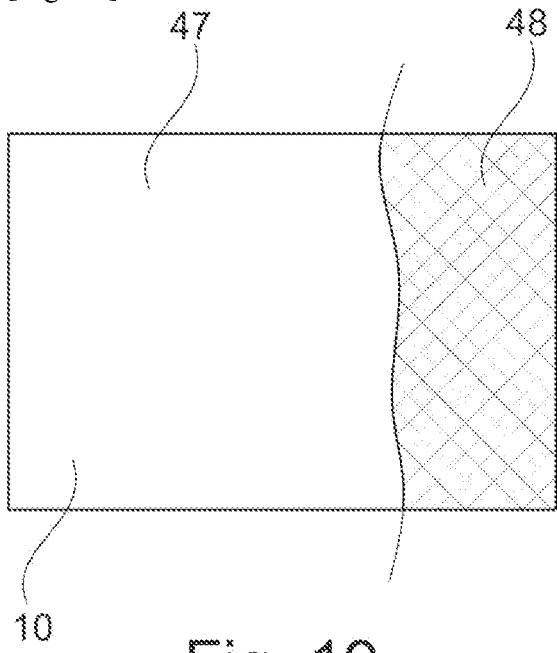


Fig. 19

[Fig. 20]

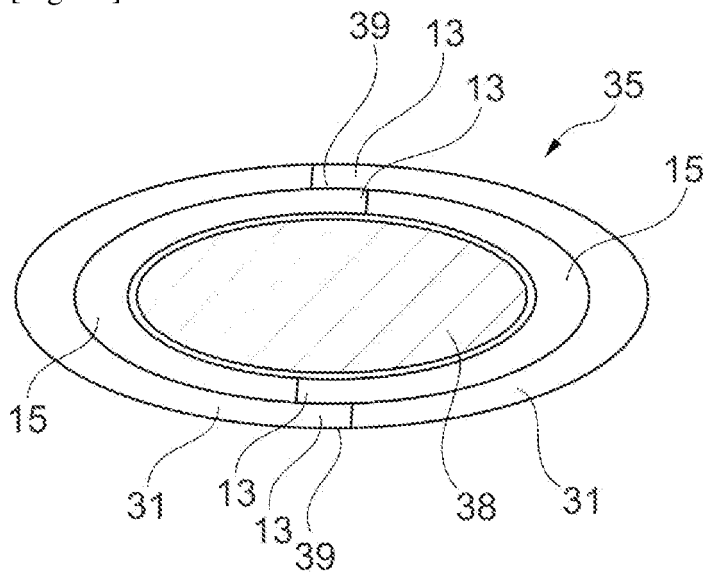


Fig. 20

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

WO 2010/000990 A2 (AIRCELLE SA [FR];
DESJOYAUX BERTRAND [FR])
7 janvier 2010 (2010-01-07)

WO 2007/010052 A1 (AIRBUS GMBH [DE]; JOERN
PAUL [DE]; EBERTH ULRICH [DE])
25 janvier 2007 (2007-01-25)

ANONYMOUS: "Erläuterung zur
TFP-Technologie",
INTERNET CITATION,
7 mars 2005 (2005-03-07), XP002400709,
Extrait de l'Internet:
URL: <http://www.hightex-dresden.de/tfptech.pdf>
[extrait le 2006-09-27]

WO 2010/001003 A1 (AIRCELLE SA [FR];
DESJOYAUX BERTRAND [FR])
7 janvier 2010 (2010-01-07)

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

NEANT

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

NEANT