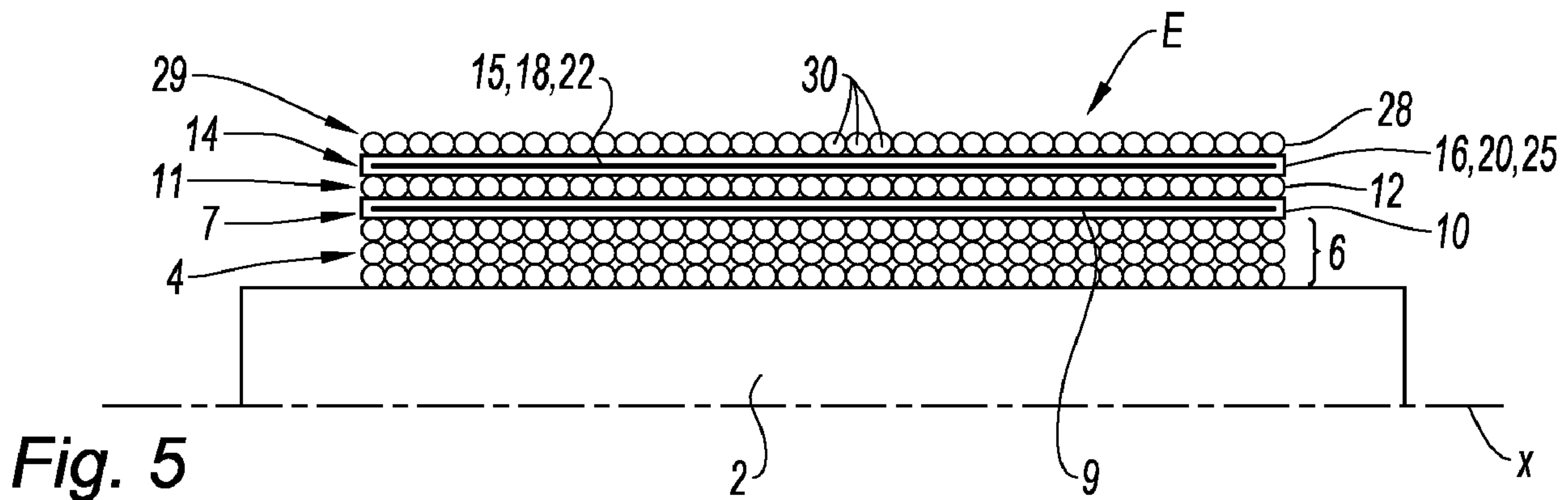




(86) Date de dépôt PCT/PCT Filing Date: 2012/03/15  
 (87) Date publication PCT/PCT Publication Date: 2012/09/20  
 (85) Entrée phase nationale/National Entry: 2013/09/04  
 (86) N° demande PCT/PCT Application No.: FR 2012/050550  
 (87) N° publication PCT/PCT Publication No.: 2012/123686  
 (30) Priorité/Priority: 2011/03/15 (FR1152129)

(51) Cl.Int./Int.Cl. *B22F 3/15* (2006.01),  
*C22C 47/04* (2006.01), *C22C 47/06* (2006.01)  
 (71) Demandeur/Applicant:  
SNECMA, FR  
 (72) Inventeurs/Inventors:  
GODON, THIERRY, FR;  
DAMBRINE, BRUNO JACQUES GERARD, FR  
 (74) Agent: GOUDREAU GAGE DUBUC

(54) Titre : PROCÉDE POUR FABRIQUER UNE PIÈCE MÉTALLIQUE DE RÉVOLUTION MONOBLOC À PARTIR DE  
STRUCTURES FIBREUSES COMPOSITES  
 (54) Title: PROCESS FOR MANUFACTURING A ONE-PIECE AXISYMMETRIC METALLIC PART FROM COMPOSITE  
FIBROUS STRUCTURES



(57) **Abrégé/Abstract:**

Le procédé consiste à fabriquer une pièce de révolution monobloc par superposition, autour d'un mandrin cylindrique rotatif (2), d'au moins deux structures fibreuses composites enduites de métal, respectivement interne (7) et externe (14), enroulées selon des première et seconde directions croisées sur ledit mandrin et à disposer, entre les structures fibreuses interne (7) et externe (14) croisées, au moins une couche de fil métallique (11), puis à placer l'ébauche (E) de ladite pièce, formée par les structures fibreuses (7, 14) et la couche de fil métallique (11), dans un outillage pour appliquer sur l'ébauche un traitement de compaction isostatique à chaud, et obtenir ladite pièce.



## (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  
20 septembre 2012 (20.09.2012)

WIPO | PCT

(10) Numéro de publication internationale  
**WO 2012/123686 A1**

- (51) Classification internationale des brevets :  
B22F 3/15 (2006.01) C22C 47/06 (2006.01)  
C22C 47/04 (2006.01)
- (21) Numéro de la demande internationale :  
PCT/FR2012/050550
- (22) Date de dépôt international :  
15 mars 2012 (15.03.2012)
- (25) Langue de dépôt : français
- (26) Langue de publication : français
- (30) Données relatives à la priorité :  
1152129 15 mars 2011 (15.03.2011) FR
- (71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : SNEC-  
MA [FR/FR]; société anonyme, 2 Boulevard du Général  
Martial Valin, F-75015 Paris (FR).
- (72) Inventeurs; et
- (75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : GODON,  
Thierry [FR/FR]; 8 avenue Henri Dunant, F-93270 Sevran
- (FR). DAMBRINE, Bruno, Jacques, Gérard [FR/FR];  
464 allée Ninon de l'Enclos, F-77820 Le Chatelet En Brie  
(FR).
- (74) Mandataires : DAVID, Daniel et al.; Gevers France, 23-  
bis, rue de Turin, F-75008 Paris (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, BR, BW, BY, BZ,  
CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO,  
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN,  
HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR,  
KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME,  
MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ,  
OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, 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, SZ, TZ,  
UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : PROCESS FOR MANUFACTURING A ONE-PIECE AXISYMMETRIC METALLIC PART FROM COMPOSITE FIBROUS STRUCTURES

(54) Titre : PROCÉDE POUR FABRIQUER UNE PIÈCE METALLIQUE DE REVOLUTION MONOBLOC A PARTIR DE STRUCTURES FIBREUSES COMPOSITES

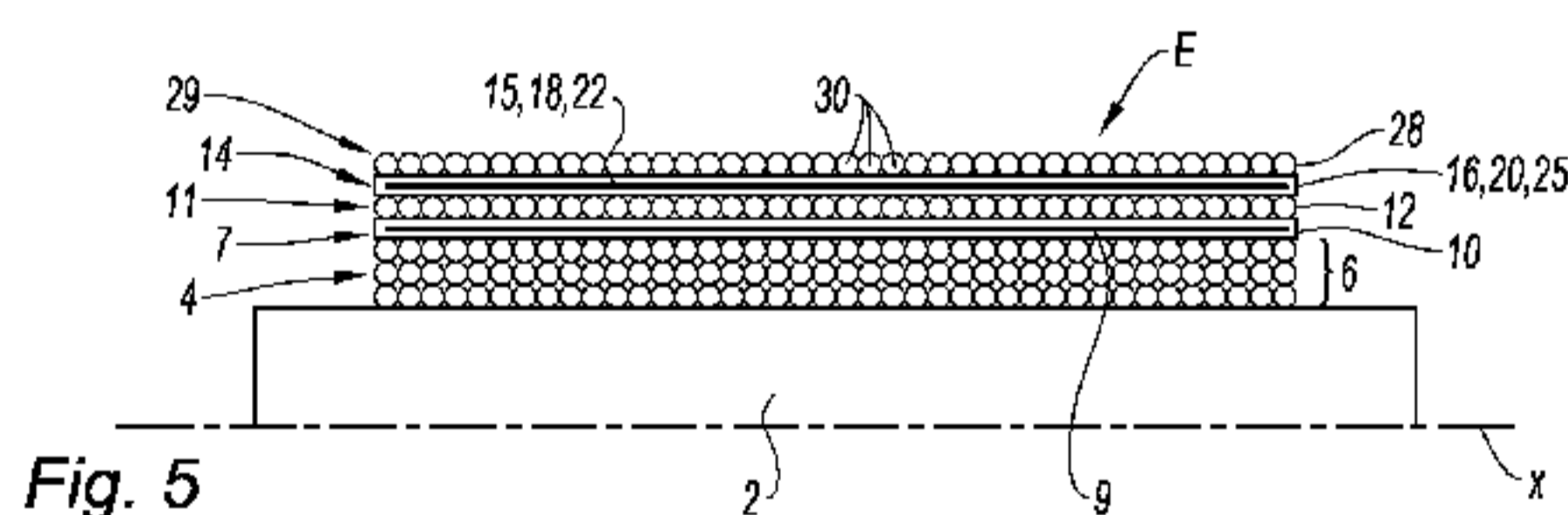


Fig. 5

(57) Abstract : The process consists in manufacturing a one-piece axisymmetric part by superposition, around a rotating cylindrical mandrel (2) of at least two, respectively inner (7) and outer (14) metal-coated composite fibrous structures, wound in first and second crossed directions on said mandrel and in arranging, between the crossed inner (7) and outer (14) fibrous structures, at least one layer of metallic wire (11), then in placing the blank (E) of said part, formed by the fibrous structures (7, 14) and the layer of metallic wire (11), in a tool in order to apply to the blank a hot isostatic pressing treatment, and to obtain said part.

(57) Abrégé : Le procédé consiste à fabriquer une pièce de révolution monobloc par superposition, autour d'un mandrin cylindrique rotatif (2), d'au moins deux structures fibreuses composites enduites de métal, respectivement interne (7) et externe (14), enroulées selon des première et seconde directions croisées sur ledit mandrin et à disposer, entre les structures fibreuses interne (7) et externe (14) croisées, au moins une couche de fil métallique (11), puis à placer l'ébauche (E) de ladite pièce, formée par les structures fibreuses (7, 14) et la couche de fil métallique (11), dans un outillage pour appliquer sur l'ébauche un traitement de compaction isostatique à chaud, et obtenir ladite pièce.

**WO 2012/123686 A1**



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, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Publiée :**

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

## PROCEDE POUR FABRIQUER UNE PIECE METALLIQUE DE REVOLUTION MONOBLOC A PARTIR DE STRUCTURES FIBREUSES COMPOSITES

5 La présente invention concerne un procédé de fabrication d'une pièce métallique de révolution monobloc à partir de structures fibreuses composites sous forme de fibres, nappe de fibres, tissu de fibres et analogues, enduites de métal.

10 Ces dernières années ont mis en évidence dans de nombreux domaines techniques, notamment aéronautique, spatial, militaire, automobile, etc...., l'importance des matériaux composites dans la réalisation partielle ou totale de pièces en raison de l'optimisation de la résistance de celles-ci, pour une masse et un encombrement minimaux. Pour rappel, une telle structure comporte des fibres composites métalliques composées par une matrice d'alliage métallique, par  
15 exemple d'alliage de titane Ti, au sein de laquelle s'étendent des fibres, par exemple des fibres céramiques de carbure de silicium SiC. De telles fibres présentent une résistance en traction bien supérieure à celle du titane (typiquement, 4000 MPa contre 1000 MPa). Ce sont donc les fibres qui reprennent les efforts, la matrice d'alliage métallique assurant une fonction de  
20 liant pour la pièce, ainsi que de protection et d'isolation des fibres, qui ne doivent pas entrer en contact les unes avec les autres. En outre, les fibres céramiques sont résistantes à l'érosion, mais doivent nécessairement être renforcées par du métal.

25 Ces matériaux composites peuvent être utilisés pour réaliser des pièces de révolution annulaires de turbine à gaz pour avion ou autre application industrielle, comme des bagues, des arbres, des corps de vérin, des carters, des entretoises, des renforts de pièces monolithiques telles des aubes, etc....

30 Les procédés connus pour fabriquer de telles pièces de révolution monoblocs consistent à superposer, autour d'un mandrin cylindrique rotatif, des structures fibreuses (fibres, nappe de fibres ou tissu de fibres) successives puis à disposer les structures fibreuses composites enroulées et sorties du mandrin,

dans un outillage de réception spécifique pour traiter thermiquement celles-ci et obtenir au final la pièce de révolution en matériau composite.

5 Pour que la pièce de révolution soit particulièrement rigide et supporte des efforts dans différentes directions, notamment des efforts de torsion, l'une des structures fibreuses superposées est orientée selon une première direction d'enroulement par rapport à l'axe longitudinal du mandrin, puis l'autre structure fibreuse est enroulée sur la précédente selon une seconde direction d'enroulement différente de la première, de manière à obtenir deux structures  
10 fibreuses composites ayant des directions d'enroulement croisées.

Cependant, on a remarqué que le fait de croiser les fibres composites céramiques enduites de métal des deux structures fibreuses superposées l'une sur l'autre pouvait créer des surcontraintes locales qui apparaissent lors du  
15 refroidissement de la pièce, après fluage de l'enrobage métallique de faible épaisseur des fibres des structures. Ces surcontraintes engendrent une diminution drastique des caractéristiques mécaniques de la pièce.

20 La présente invention a pour but de remédier à ces inconvénients.

A cet effet, le procédé de fabrication d'une pièce de révolution monobloc par superposition, autour d'un mandrin cylindrique rotatif, d'au moins deux structures fibreuses composites enduites de métal, respectivement interne et externe, enroulées selon des première et seconde directions croisées sur ledit  
25 mandrin, est remarquable en ce qu'il consiste :

- à disposer, autour de la structure fibreuse interne agencée sur le mandrin selon la première direction d'enroulement, au moins une couche de fil métallique,
- à enrouler sur ladite couche de fil métallique, la structure fibreuse externe selon la seconde direction d'enroulement,
- 30 - à placer l'ébauche de ladite pièce, formée par les structures fibreuses et la couche de fil métallique, dans un outillage de réception pour appliquer sur l'ébauche un traitement de compaction isostatique à chaud ou de forgeage isotherme, et

- à extraire l'ébauche traitée de l'outillage, le cas échéant, à usiner l'ébauche traitée pour obtenir ladite pièce.

5 Ainsi, grâce à l'invention, la couche de fil métallique fait office d'interface entre les structures fibreuses superposées et croisées et augmente l'épaisseur métallique entre les structures, de sorte que les surcontraintes entre les fibres composites des structures ne se produisent plus.

10 Avantageusement, le fil métallique est obtenu, par exemple, par tréfilage et est de même nature que le métal des structures fibreuses composites, de sorte qu'on obtient, après passage dans l'outillage, une couche métallique intermédiaire et homogène ayant une épaisseur appropriée entre les fibres des structures. Cependant, le fil pourrait être obtenu autrement que par tréfilage. Par fil métallique, on entend aussi bien un même fil continu qu'une pluralité de fils mis  
15 bout à bout. Le fil métallique peut être par ailleurs individuel ou se présenter sous forme d'une nappe ou d'un ruban de plusieurs fils parallèles ou entrelacés, d'un câble, d'un tissu de fils unidirectionnel, etc.. sans sortir du cadre de l'invention.

20 De préférence, on effectue à froid, à la température ambiante, les couches d'enroulement superposées du fil métallique et des structures fibreuses, ce qui ne nécessite pas d'installation complexe pour la mise en œuvre des étapes concernées du procédé.

25 De plus, on enroule le fil métallique sensiblement orthogonalement à l'axe longitudinal du mandrin cylindrique rotatif pour former la couche de spires jointives.

30 Pour isoler et protéger la structure fibreuse interne de l'extérieur, on peut disposer autour dudit mandrin cylindrique, avant la mise en place de la structure fibreuse interne, au moins une couche de fil métallique sur laquelle est par la suite enroulée la structure fibreuse interne.

Dans le même but, on peut disposer, autour de la structure fibreuse externe, au moins une couche de fil métallique, si bien que la pièce obtenue

présente superficiellement une épaisseur de couches métalliques extérieure et intérieure.

5 Selon un exemple de réalisation, la première direction d'enroulement de la structure fibreuse interne est orientée angulairement par rapport à l'axe longitudinal du mandrin cylindrique, la seconde direction d'enroulement de la structure fibreuse externe étant alors orientée symétriquement à la première par rapport à une direction radiale du mandrin, perpendiculaire à son axe longitudinal. A titre de fourchette de valeurs, si la direction d'enroulement de la structure  
10 fibreuse interne est comprise entre  $30^\circ$ -  $60^\circ$  par rapport à l'axe longitudinal du mandrin, la direction d'enroulement de la structure externe sera comprise entre  $30^\circ$ -  $60^\circ + \pi/2$ .

15 Dans cet exemple, les structures fibreuses interne et externe peuvent être sous forme de fibres individuelles et parallèles successivement enroulées autour du mandrin, ou sous forme de nappes ou rubans de fibres parallèles, ou sous forme de tissus de fibres parallèles, lesdites structures étant disposées de façon croisée sur le mandrin.

20 Selon un autre exemple de réalisation, la première direction d'enroulement de la structure fibreuse interne est parallèle à l'axe longitudinal du mandrin cylindrique, la seconde direction d'enroulement de la structure fibreuse externe étant alors orientée angulairement par rapport à l'axe longitudinal du mandrin.

25 Dans cet exemple, la structure fibreuse interne peut être sous la forme d'un tissu de fibres parallèles entre elles et enroulé autour du mandrin cylindrique parallèlement à son axe longitudinal, la structure fibreuse externe pouvant être quelconque mais, bien entendu, avec les fibres orientées angulairement par rapport à celles de la structure interne qui sont parallèles au mandrin.

30 Par ailleurs, les fils métalliques utilisés peuvent avoir des diamètres différents, et des couches à plusieurs enroulements superposés de ces fils peuvent être prévues en alternance avec les structures fibreuses superposées dont le nombre peut être supérieur à deux.

Les figures du dessin annexé feront bien comprendre comment l'invention peut être réalisée. Sur ces figures, des références identiques désignent des éléments semblables.

5

Les figures 1, 2, 3, 4A, 4B, 4C1, 4C2, 5, 6A, 6B et 7 montrent schématiquement les principales étapes du procédé conformément à l'invention, pour fabriquer une pièce de révolution monobloc à partir de structures fibreuses composites, les figures 4A, 4B, 4C1 et 4C2 proposant différentes possibilités de structures fibreuses externes utilisées après l'étape du procédé illustrée sur la figure 3, tandis que les figures 6A et 6B représentent schématiquement des outillages de traitement de l'ébauche pour obtenir la pièce.

10

Le procédé a pour but la fabrication d'une pièce de révolution monobloc, annulaire 1 illustrée sur la figure 7, uniquement à partir d'éléments allongés sous forme de fils, fibres ou analogues, comme on le verra ci-après.

15

Pour cela, le procédé consiste à utiliser un mandrin cylindrique rotatif 2 d'axe longitudinal X et à enrouler tout d'abord, autour de la surface latérale 3 de celui-ci, dans une première étape illustrée sur la figure 1, au moins un fil métallique 4. Compte tenu de l'application de la pièce 1 au domaine aéronautique, le fil métallique 4 est réalisé notamment en un alliage de titane de type TA6V ou 6242 assurant résistance thermomécanique et légèreté, et il est obtenu dans cet exemple non limitatif par tréfilage de manière à pouvoir être disponible sous forme de bobine ou de dévidoir duquel est tiré le fil. Dimensionnellement, son diamètre dépend de la pièce à obtenir et peut-être, par exemple, de l'ordre de quelques dixièmes de millimètre.

20

25

Dans l'exemple illustré sur la figure 1, le fil tréfilé métallique 4 est issu d'une bobine non représentée et est entraîné, de façon sensiblement perpendiculaire à l'axe X, autour de la surface latérale 3 du mandrin cylindrique 2 sur une étendue prédéterminée correspondant à la longueur que l'on souhaite obtenir, après fabrication, pour la pièce de révolution 1, en formant ainsi plusieurs spires jointives 5, et sur plusieurs couches superposées prédéterminées 6. On

30

voit, sur la figure 2, les trois couches 6 formées par les enroulements de spires jointives 5 du même fil métallique 4 autour du mandrin. On pourrait également utiliser un fil métallique 4' tel que celui montré en coupe sur la figure 1, avec un diamètre différent, inférieur dans ce cas au diamètre du fil métallique 4. Cela pour  
5 montrer que l'on peut enrouler des fils métalliques ayant des diamètres distincts.

Le procédé se poursuit par une deuxième étape montrée sur la figure 2 et consistant à disposer une structure fibreuse composite 7 autour du fil tréfilé métallique 4.

10 Dans cet exemple, la structure fibreuse composite 7 se présente sous la forme d'un tissu 8 de fibres 9 associées parallèlement entre elles et réalisées en céramique (SiC) ou en un matériau analogue enduit de métal. Ce dernier et le métal du fil tréfilé sont de nature identique (à titre d'exemple en alliage de titane  
15 de type TA6V ou 6242) pour optimiser l'étape ultérieure du procédé relative à l'opération de compaction isostatique à chaud ou de forgeage isotherme. Le tissu 8 de la structure fibreuse 7 qualifiée d'interne, puisque tournée vers le mandrin, est enroulé autour du fil métallique 4 de façon que les fibres 9 soient agencées  
20 parallèlement à l'axe longitudinal X du mandrin 2 (avec un angle d'hélice nul), en définissant ainsi une première direction D1 d'orientation des fibres du tissu 8.

Comme le montre la figure 2, une seule couche 10 du tissu 8 est formée autour du fil 4. Bien entendu, un enroulement de plusieurs couches 10 pourrait être prévu à partir du même tissu, voire à partir d'un ou de plusieurs autres tissus  
25 distincts enroulés concentriquement.

Puis, selon une troisième étape du procédé illustrée en regard de la figure 3, on dispose, autour du tissu 8 de la structure fibreuse composite interne 7, un fil métallique tréfilé 11 qui provient d'une bobine non représentée et qui est amené  
30 sensiblement orthogonalement à l'axe longitudinal X du mandrin cylindrique rotatif 2. Le fil métallique 11 forme une seule couche 12 de spires jointives 13 autour du tissu 8. Un enroulement de plusieurs couches est là aussi possible, fonction du diamètre du fil utilisé, et de la séparation à donner entre la structure fibreuse

composite interne 7 et une structure fibreuse composite alors externe 14 à superposer comme on le verra ci-après.

5 Le fil métallique tréfilé 11 peut être le même (diamètre, nature) que celui utilisé pour former les couches 6 sur le mandrin 2 et être issu de la même bobine. Mais, il pourrait aussi avoir un diamètre différent.

10 Du fait de la mise en place, en tant que structure fibreuse interne 7, d'un tissu 8 à fibres en céramique 9 parallèles à l'axe longitudinal X du mandrin 2, plusieurs possibilités sont envisageables en ce qui concerne la structure fibreuse externe 14 pour réaliser à ce stade une ébauche E de la pièce monobloc à obtenir 1, et ces possibilités sont montrées en regard des figures 4A, 4B, 4C1 et 4C2.

15 Comme le montre la figure 4A, la structure fibreuse externe 14 se compose de fibres composites 15 en céramique, enduites de métal, pouvant être identique ou non aux fibres précédentes. Ces fibres 15 sont enroulées successivement autour des spires 13 de la couche 12 de fil métallique intermédiaire 11, lequel se trouve selon l'invention entre les deux structures fibreuses 7 et 14. Les fibres 15  
20 sont jointives et orientées selon une seconde direction D2 par rapport à l'axe X du mandrin 2, en formant un angle d'hélice A par rapport à celui-ci. Ainsi, les fibres enroulées 15 et les fibres 9 du tissu 8 ont des directions d'orientation respectives D1 et D2 différentes et croisées pour permettre la réalisation de pièces de révolution composites monoblocs, rigides. Certaines des fibres 15 ne sont que  
25 partiellement représentées.

30 Le nombre de fibres enroulées 15 est variable et est fonction de l'angle d'hélice A à donner, qui est par exemple de l'ordre de 30° à 60°, et du diamètre des fibres. Une seule couche 16 des fibres 15 est effectuée autour du fil métallique 11. Néanmoins, plusieurs couches sont envisageables.

Ainsi, à ce stade du procédé de fabrication, les deux structures fibreuses interne 7 et externe 14 ne sont pas en contact direct l'une avec l'autre, en étant séparées par la couche d'enroulement du fil tréfilé métallique intermédiaire 11

faisant office d'interface, en vue de supprimer toute surcontrainte pouvant apparaître entre celles-ci lors du refroidissement de l'ébauche E formée par les structures et les fils métalliques.

5           En lieu et place des fibres composites individuelles 15, la structure fibreuse externe 14 peut être constituée de l'enroulement successif de nappes ou rubans 17 composés chacun de fibres composites parallèles 18 (six dans cet exemple), c'est-à-dire ayant une âme en céramique ou en un matériau analogue enduite de métal, identique de préférence au fil tréfilé 11. Pour maintenir parallèlement entre  
10           elles les fibres 18 d'une nappe 17, on prévoit de façon régulièrement espacée des fils transversaux métalliques de tissage 19, de nature identique au fil tréfilé. Là aussi, le nombre de nappes 17 pour couvrir la couche 12 de fil métallique intermédiaire 11 est fonction de la largeur de la nappe et de l'angle d'hélice A de celle-ci par rapport à l'axe d'enroulement X du mandrin cylindrique rotatif 2.  
15           L'angle d'hélice A des nappes définit la seconde direction D2 de la structure fibreuse externe 14, croisant la direction D1 de la structure fibreuse interne 7. On voit, sur la figure 4B, que deux nappes identiques successives 17 sont utilisées pour former une couche unique 20 de la structure fibreuse externe 14. Plus d'une couche 20 pourrait bien sûr être envisagée. Et il va de soi que la structure  
20           fibreuse externe 14 recouvre la totalité de la couche de fil métallique 11.

          Selon une autre conception montrée en regard des figures 4C1 et 4C2, la structure fibreuse externe 14 se présente sous la forme d'un tissu 21 à fibres composites métalliques 22, assemblées parallèlement entre elles.

25           Dans l'exemple de la figure 4C1, les fibres 22 sont orientées obliquement par rapport aux côtés perpendiculaires 23, 24 du tissu 21 sous forme d'une bande rectangulaire. De la sorte, lorsque le tissu 21 est présenté par son côté correspondant 23 (petit côté) parallèlement à l'axe longitudinal X du mandrin cylindrique 2, il s'enroule, par la rotation de ce dernier, sur la couche 12 de fil tréfilé intermédiaire 11 et ces fibres composites parallèles obliques 22 forment  
30           l'angle d'hélice souhaité A définissant la seconde direction D2 de la structure fibreuse externe 14, croisée avec la première direction D1 de la structure fibreuse interne 7. La dimension du tissu 21 est suffisante pour recouvrir en totalité la

couche de fil tréfilé. Une couche 25 (ou plusieurs couches si nécessaire) de tissu 21 est ainsi enroulée sur le fil tréfilé intermédiaire 11.

Dans l'exemple de la figure 4C2, les fibres 22 sont parallèles au côté 23 du tissu 21 à enrouler et sont reliées entre elles par des fils 27. Aussi, pour avoir une direction d'orientation D2 des fibres différente de celle D1 de la structure interne, le tissu 21 lui-même est présenté obliquement par l'un de ses coins 26 par rapport au mandrin cylindrique rotatif 2, de manière à former l'angle d'hélice souhaité A. Ainsi, les fibres parallèles 22 du tissu 21 s'enroulent autour de la couche 12 de fil métallique tréfilé 11 selon la seconde direction voulue D2 croisée avec la première direction D1 de la structure fibreuse interne 7, parallèle à l'axe X du mandrin cylindrique 2. La dimension du tissu 21 est telle qu'elle permet de recouvrir en totalité la couche 12 de fil tréfilé par l'enroulement dudit tissu sur une ou plusieurs couches 25.

Ainsi, quelles que soient les solutions retenues, les deux structures fibreuses 7 et 14 ont des directions D1, D2 croisées et sont séparées l'une de l'autre par au moins une couche 12 de spires jointives 13 du fil métallique 11 jouant le rôle d'interface, conformément à l'invention. Quant aux couches successives composant les deux structures fibreuses 7 et 14, leurs fibres sont toujours parallèles d'une couche à l'autre avec une orientation D1 ou D2.

A ce stade, comme le montre la figure 5, une étape ultérieure du procédé consiste à enrouler, sur la structure fibreuse externe 14, au moins une couche 28 de fil métallique tréfilé 29 qui peut être issu de la même bobine d'alimentation que précédemment. Ainsi, un enroulement à spires jointives 30 du fil 29, effectué sensiblement orthogonalement à l'axe X du mandrin cylindrique 2, est obtenu (pour rappel, fil et/ou tissu de fils métalliques).

Bien évidemment, avant cette étape ultérieure, d'autres structures fibreuses superposées pourraient être agencées en prenant soin d'alterner entre celles-ci, selon l'invention, des couches de fil métallique intermédiaire.

On obtient une ébauche E de la pièce de révolution à réaliser, qui est constituée uniquement à partir de fils tréfilés métalliques 4, 11, 29 et de structures interne et externe 7, 14 à fibres composites sous forme individuelle, en nappe, en tissu ou autre.

5

Puis, comme le montre la figure 6, l'ébauche E est transférée vers un outillage de compaction 31, schématiquement représenté, où l'on réalise l'étape de compression isostatique à chaud (CIC) dans une presse isotherme ou dans un autoclave (le choix dépendant notamment du nombre de pièces à produire).

10

Cependant, avant son transfert, on peut procéder à une étape de liaison ou tenue des enroulements du fil métallique pour assurer une cohésion à l'ensemble des couches superposées de spires lors du transfert au poste de compaction. Pour cela, on peut réaliser une étape de soudage, par exemple un soudage électrique par points, sur les enroulements des spires apparentes internes et externes. Au lieu du soudage, on pourrait disposer des clinquants ou feuillard, non représentés, maintenant en place les enroulements de l'ébauche E, soudés ou pas. Ceux-ci, s'ils sont dans un matériau compatible peuvent alors participer à la fabrication de la pièce.

15

20

Après le transfert et la mise en place de l'ébauche E dans l'outillage 31 à presse sous vide, figure 6A, plus particulièrement dans un réceptacle cylindrique ouvert 32 de la presse, dont le volume de réception, défini par ses parois 33, correspond à celui de la pièce à obtenir, on ferme le réceptacle par un couvercle 34 de forme complémentaire à l'ouverture du réceptacle et de la face transversale de l'ébauche E en regard.

25

Sous l'action de la compression exercée par les plateaux de la presse symbolisés par les flèches F sur l'outillage, et sous une température élevée appropriée, le métal identique des fils tréfilés 4, 11, 29 et de l'enrobage des fibres composites des structures 7, 14 devient pâteux supprimant tous les espaces vides entre les spires compressées, et densifiant au final la pièce en cours d'obtention par le déplacement du couvercle par rapport au réceptacle, sans agir sur les matrices au carbure de silicium des fibres.

30

Dans la variante représentée sur la figure 6B de l'outillage 31 à autoclave, le réceptacle 32 et le couvercle 34 avec l'ébauche E à l'intérieur sont placés dans une poche déformable 36 en acier doux laquelle est ensuite introduite dans l'autoclave de l'outillage 31. A titre d'exemple, cet autoclave est porté à une pression isostatique de 1000 bars et une température de 940°C (pour le TA6V), de sorte que la totalité de la poche 36 se déforme, flèches F1, en se rétractant par l'évacuation de l'air expulsé via le trou 37 et s'applique contre le réceptacle 32 et le couvercle 34 qui, à leur tour, compriment sous une pression uniforme les enroulements de fils et fibres jusqu'au fluage du métal les constituant (soudage diffusion), comme précédemment.

Ainsi, après arrêt du traitement CIC, refroidissement et retrait du réceptacle, on obtient la pièce de révolution monobloc composite 1, représentée sur la figure 7, qui est réalisée en alliage de titane de type TA6V ou 6242, avec en son cœur les matrices en céramique (carbone de silicium, par exemple) des fibres 9-15 ou 18 ou 22 formant des inserts de renfort croisés, mais séparés par la couche métallique issu du fil intermédiaire, et dont l'épaisseur est telle qu'elle évite l'apparition de contrainte entre les fibres en céramique croisées, superposées. La pièce 1 peut subir bien entendu des opérations d'usinage postérieures au traitement CIC.

Bien évidemment, la direction d'orientation des fibres de la structure interne pourrait être différente de celle décrite ci-dessus (parallèle à l'axe du mandrin), de même que le choix d'un tissu en tant que structure fibreuse interne n'est nullement obligatoire, tout autre choix pouvant être envisagé. Il en va aussi pour la structure fibreuse externe. Il convient également de préciser que les étapes d'enroulement des fils et des structures fibreuses s'effectuent à la température ambiante sans avoir recours à une installation complexe.

A titre d'exemples, les fibres composites enduites peuvent être, outre en SiC/Ti comme décrit ci-dessus, en SiC/Al, SiC/SiC, SiC/B, etc..

Dimensionnellement, le rayon minimal du mandrin est fonction du diamètre du fil métallique et doit être supérieur à ce dernier. Concernant la longueur de la pièce, elle peut atteindre plusieurs mètres si nécessaire.

## REVENDEICATIONS

- 5 1. Procédé pour fabriquer une pièce de révolution monobloc par superposition, autour d'un mandrin cylindrique rotatif (2), d'au moins deux structures fibreuses composites enduites de métal, respectivement interne (7) et externe (14), enroulées selon des première et seconde directions croisées sur ledit mandrin, caractérisé en ce qu'il consiste :
- 10 - à disposer, autour de la structure fibreuse interne (7) agencée sur le mandrin (2) selon la première direction d'enroulement (D1), au moins une couche de fil métallique (11),
- à enrouler sur ladite couche de fil métallique (11), la structure fibreuse externe (14) selon la seconde direction d'enroulement (D2),
- 15 - à placer l'ébauche (E) de ladite pièce, formée par les structures fibreuses (7, 14) et la couche de fil métallique (11), dans un outillage de réception (31) pour appliquer sur l'ébauche un traitement de compaction isostatique à chaud ou de forgeage isotherme, et
- à extraire l'ébauche traitée de l'outillage, le cas échéant, usiner l'ébauche traitée pour obtenir ladite pièce (1).
- 20
2. Procédé selon la revendication 1, dont le fil métallique (11) est obtenu par tréfilage et est de même nature que celui des structures fibreuses composites interne (7) et externe (14).
- 25 3. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dont on effectue à froid, à la température ambiante, les couches d'enroulement superposées du fil métallique (11) et des structures fibreuses (7, 14).
- 30 4. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dont on enroule la couche (12) de fil métallique (11) sensiblement orthogonalement à l'axe longitudinal du mandrin cylindrique rotatif (2).
5. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dont on dispose autour dudit mandrin cylindrique (2), avant la mise en place de la structure fibreuse

interne (7), au moins une couche de fil métallique (4) sur laquelle est par la suite enroulée la structure fibreuse interne (7).

5 6. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dont on dispose autour de la structure fibreuse externe (14), au moins une couche de fil métallique (29).

10 7. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dont la première direction d'enroulement (D1) de la structure fibreuse interne (7) est orientée angulairement par rapport à l'axe longitudinal (X) du mandrin cylindrique (2), la seconde direction d'enroulement (D2) de la structure fibreuse externe (14) étant orientée symétriquement à la première par rapport à une direction perpendiculaire à l'axe longitudinal du mandrin.

15 8. Procédé selon la revendication précédente, dont les structures fibreuses interne (7) et externe (14) sont sous forme de fibres individuelles et parallèles (15) successivement enroulées autour du mandrin, ou sous forme de nappes ou rubans (17) de fibres parallèles, ou sous forme de tissus (21) de fibres parallèles, lesdites structures étant disposées de façon croisée sur le mandrin.

20 9. Procédé selon l'une des revendications 1 à 6, dont la première direction d'enroulement (D1) de la structure fibreuse interne (7) est parallèle à l'axe longitudinal (X) du mandrin cylindrique (2), la seconde direction d'enroulement (D2) de la structure fibreuse externe (14) étant orientée angulairement par rapport à l'axe longitudinal du mandrin.

25 10. Procédé selon la revendication précédente, dont la structure fibreuse interne (7) est sous la forme d'un tissu de fibres parallèles entre elles et enroulé autour du mandrin cylindrique (2) parallèlement à son axe longitudinal, la structure fibreuse externe (14) ayant les fibres orientées angulairement par rapport à celles  
30 de la structure interne qui sont parallèles au mandrin.

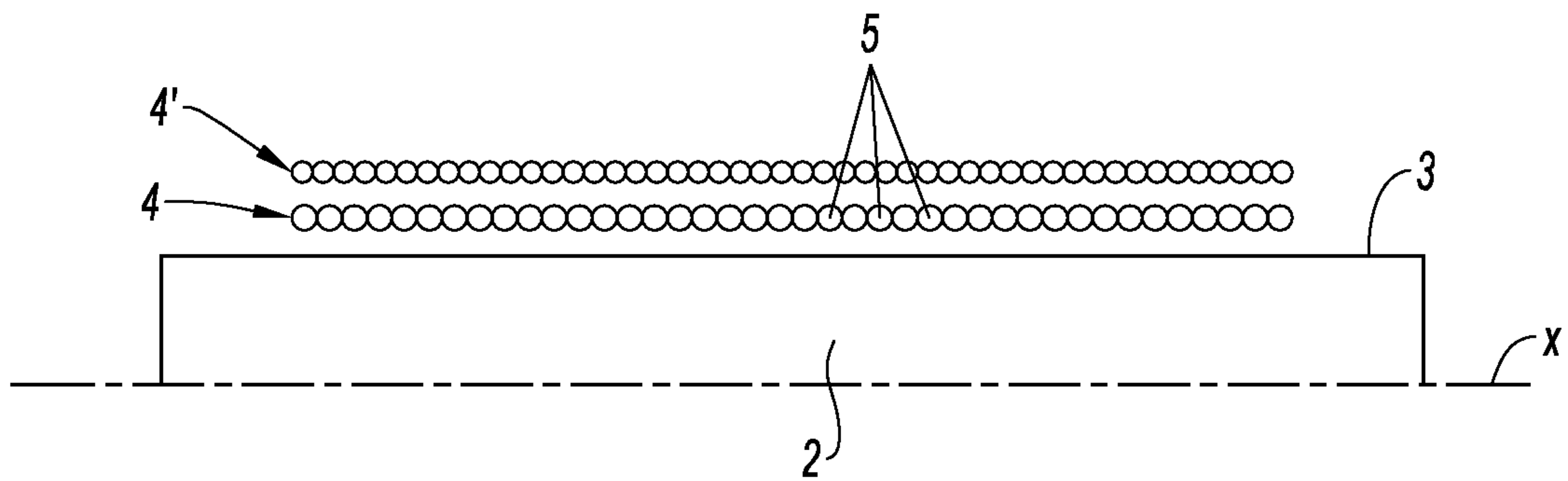


Fig. 1

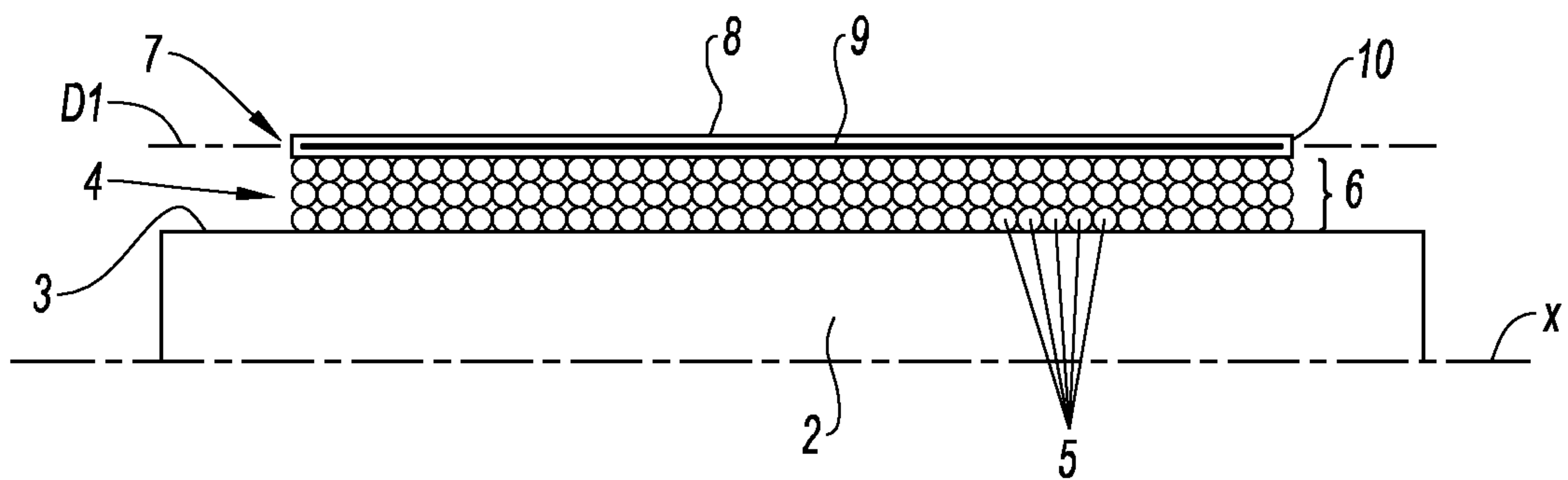


Fig. 2

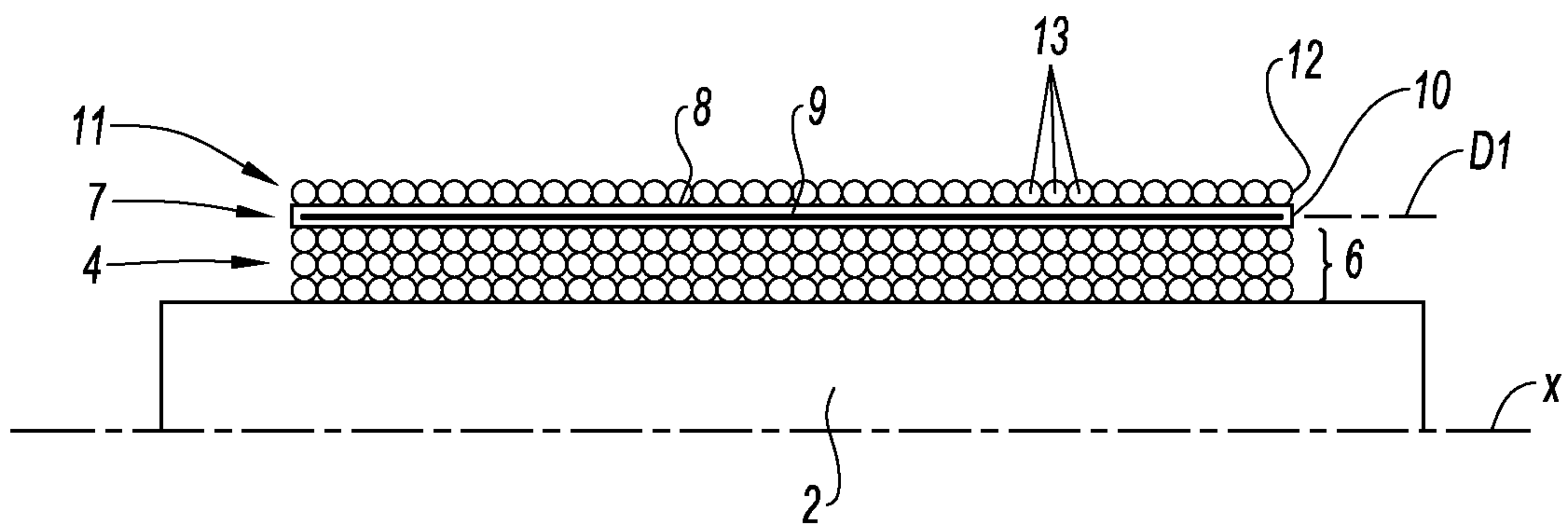


Fig. 3

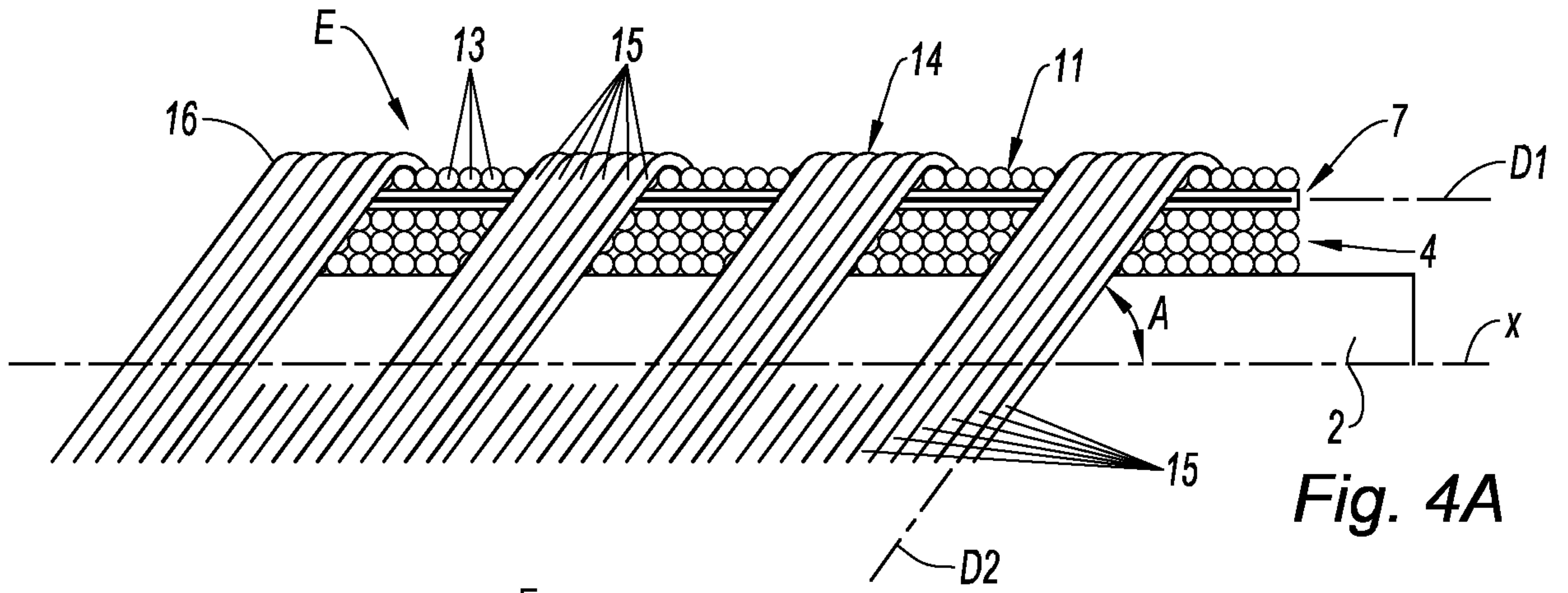


Fig. 4A

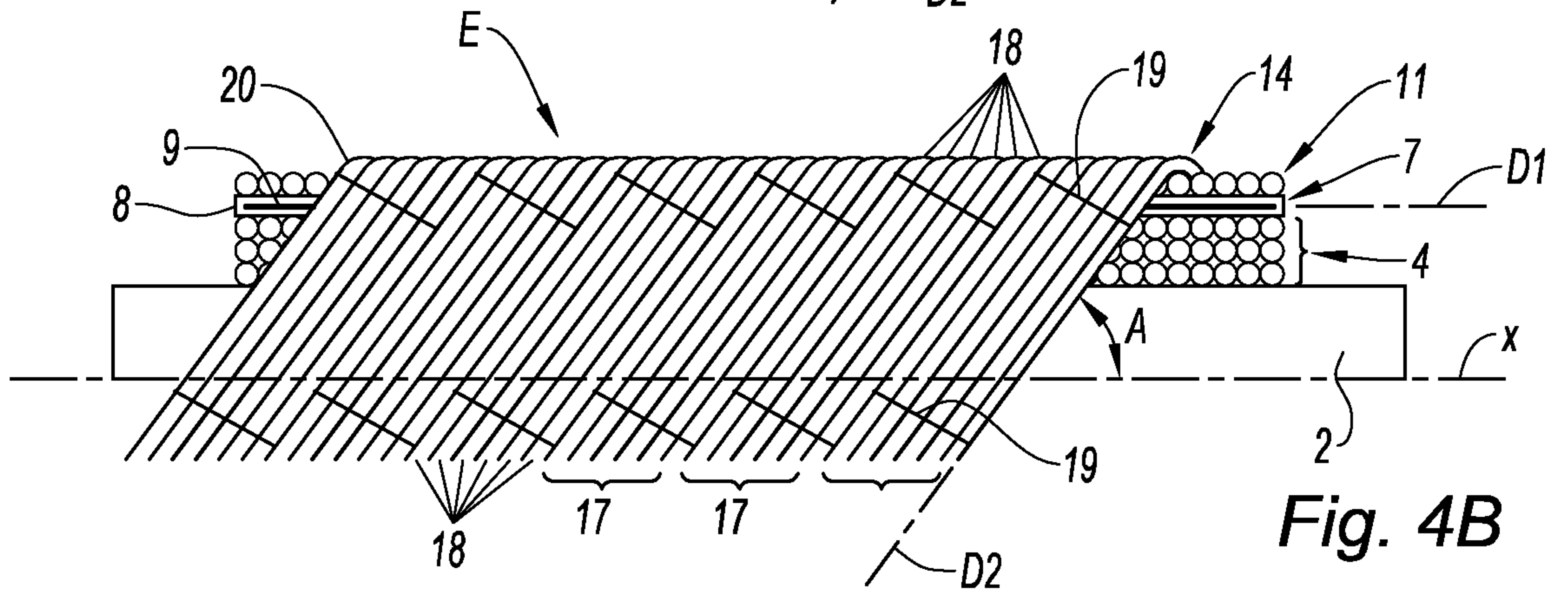


Fig. 4B

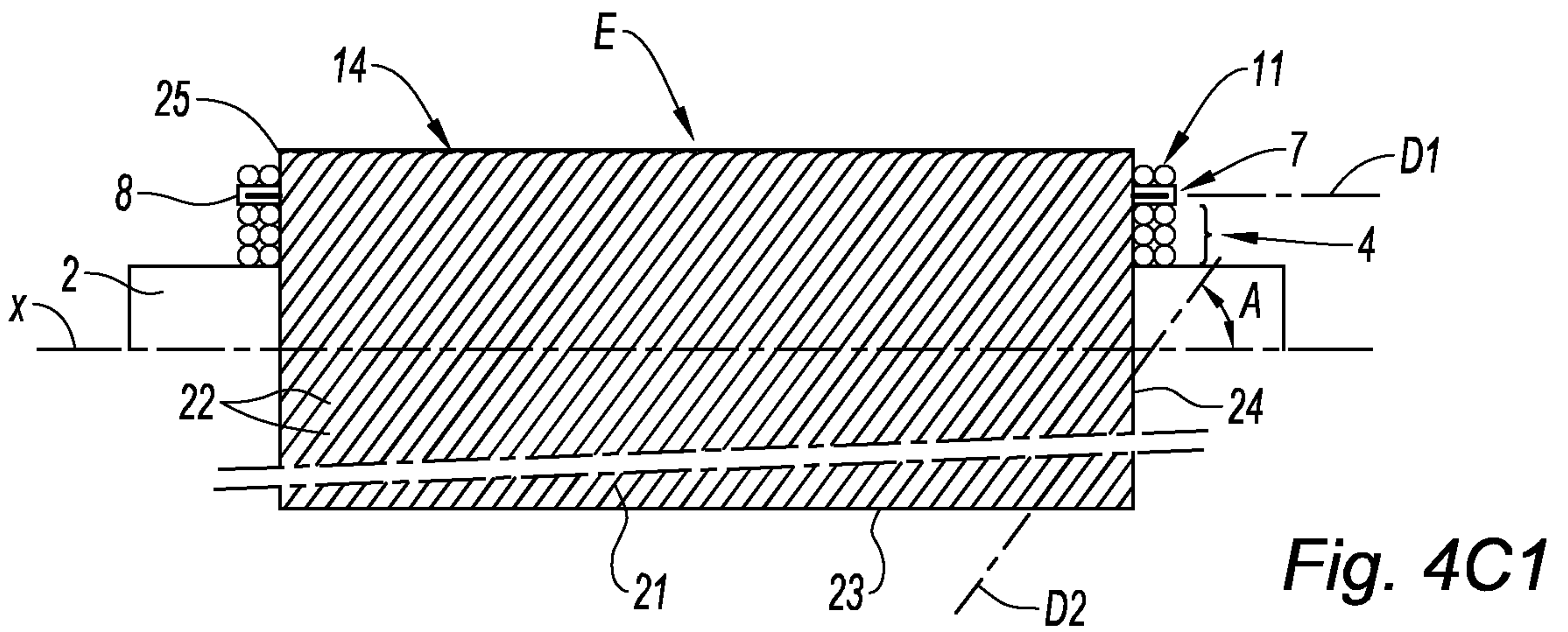


Fig. 4C1

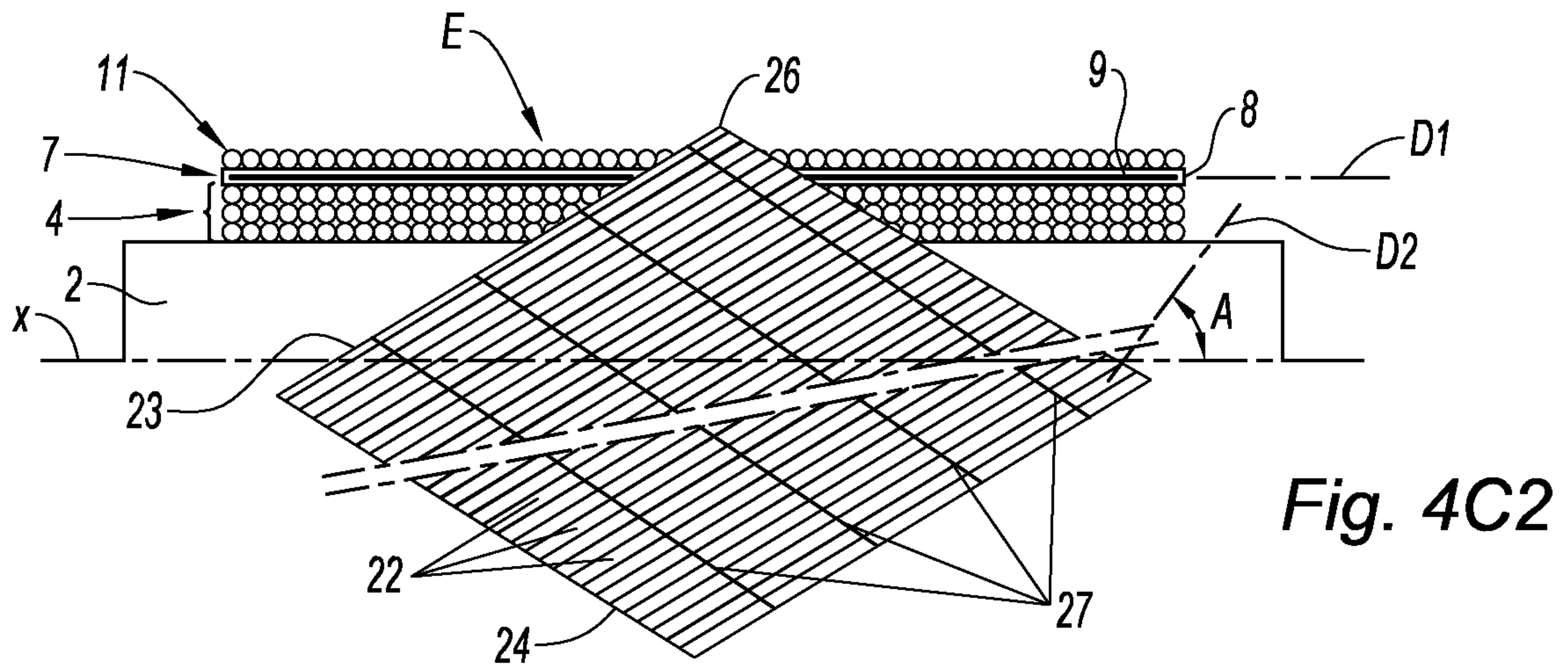


Fig. 4C2

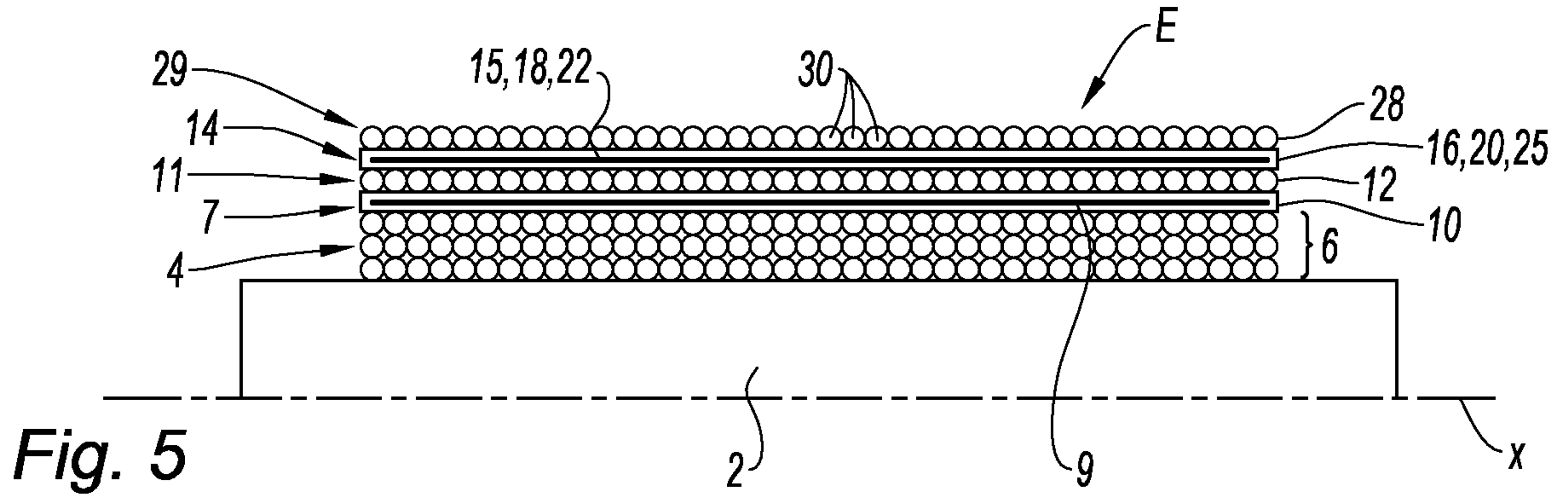


Fig. 5

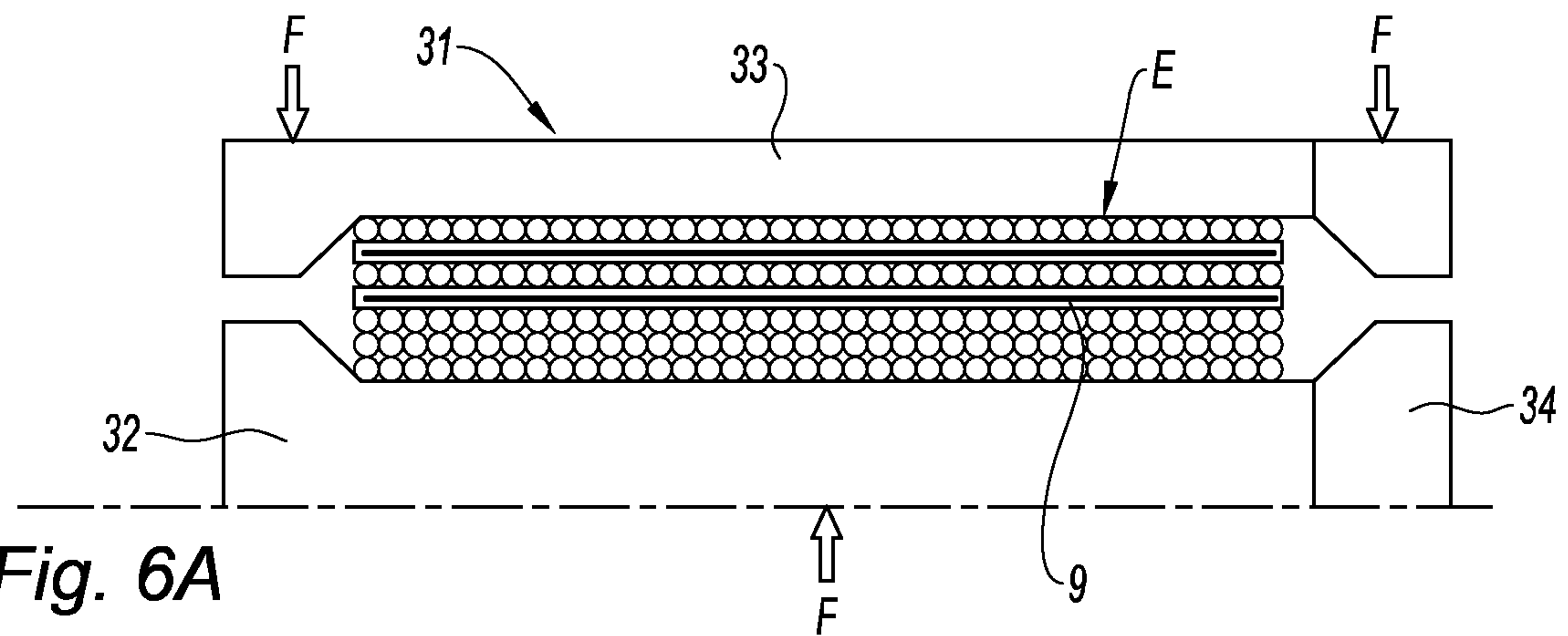


Fig. 6A

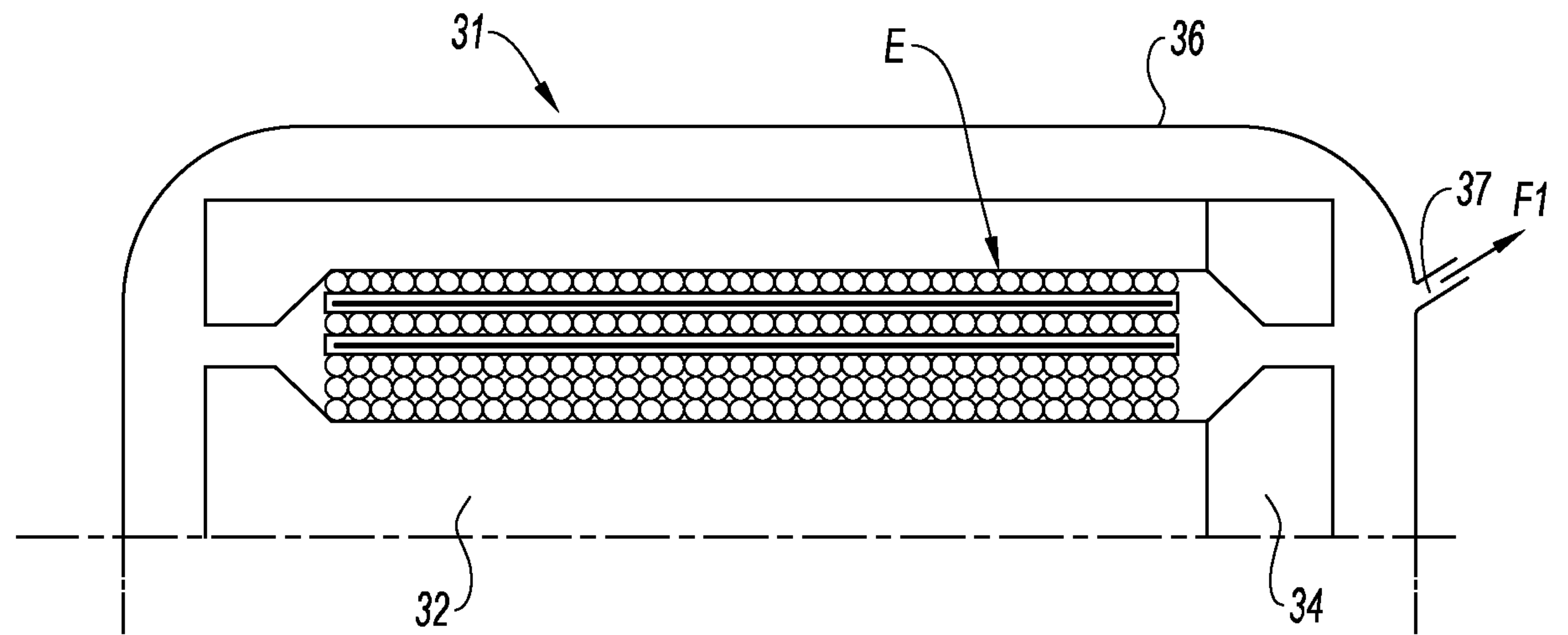


Fig. 6B

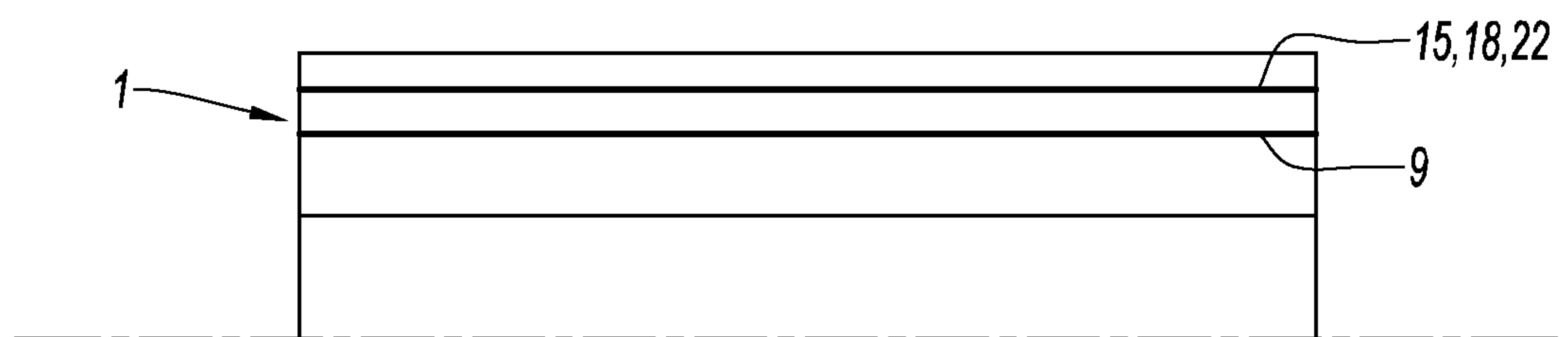
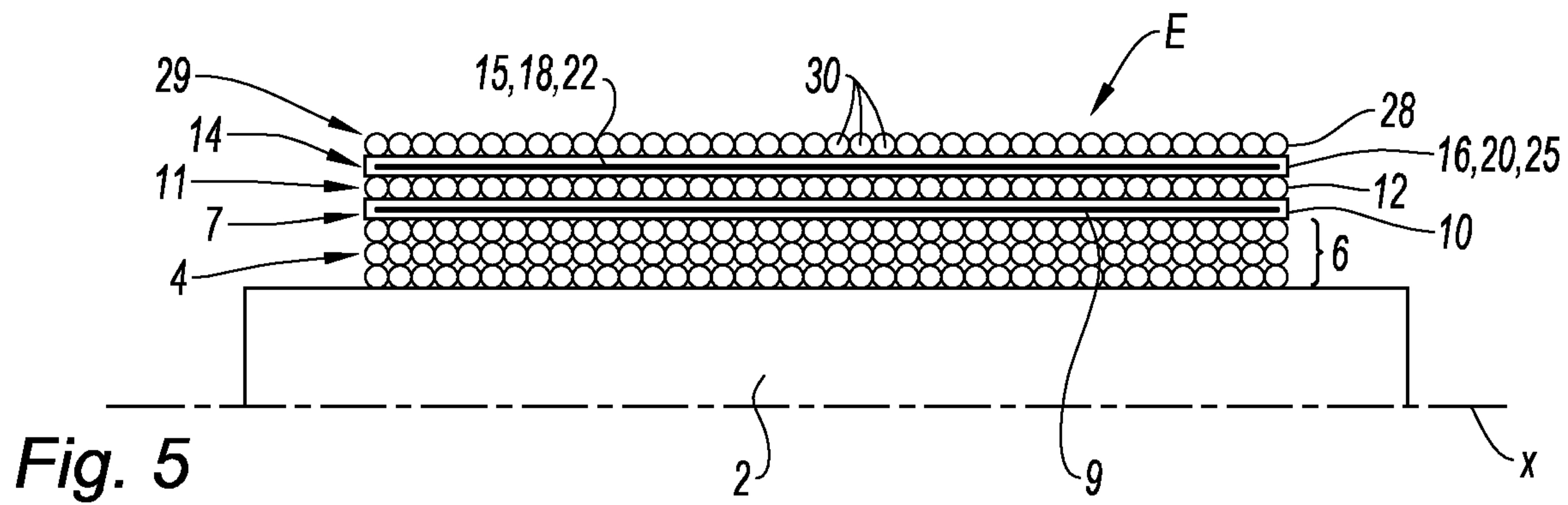


Fig. 7



**Fig. 5**