

①⑨ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

①① N° de publication :

2 976 996

(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

②① N° d'enregistrement national :

12 56073

⑤① Int Cl⁸ : F 16 J 15/22 (2012.01), F 16 J 15/20

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②② Date de dépôt : 26.06.12.

③③ Priorité : 27.06.11 US 13169365.

④③ Date de mise à la disposition du public de la
demande : 28.12.12 Bulletin 12/52.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Ce dernier n'a pas été
établi à la date de publication de la demande.*

⑥① Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

⑦① Demandeur(s) : GENERAL ELECTRIC COMPANY—
US.

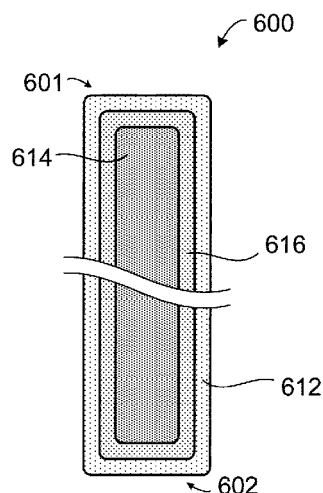
⑦② Inventeur(s) : ZHENG XIAOQING, COUTURE, JR.
BERNARD ARTHUR, BOWMAN MICHAEL JOHN,
ADIS WILLIAM EDWARD, MACK MICHAEL DENNIS et
CLARK KIM JAMES.

⑦③ Titulaire(s) : GENERAL ELECTRIC COMPANY.

⑦④ Mandataire(s) : BUREAU D.A. CASALONGA &
JOSSE.

⑤④ JOINT D'ETANCHEITE.

⑤⑦ Joint d'étanchéité comportant un groupe (600) de
poils avec une première couche de poils (612) et une deu-
xième couche de poils (614). Le groupe de poils a au moins
une extrémité (601, 602) de segment. La première couche
de poils (612) est conçue de manière à sensiblement entou-
rer la deuxième couche de poils (614), et au moins un poil
de la première couche de poils (612) a un premier diamètre.
La deuxième couche de poils (614) est située sensiblement
dans une partie centrale du groupe de poils, et au moins un
poil de la deuxième couche de poils (614) a un deuxième
diamètre. Le premier diamètre est plus grand que le deu-
xième diamètre, et la première couche de poils (612) située
près de la/des extrémité(s) de segment(s) est conçue de
manière à protéger la deuxième couche de poils (614) si-
tuée près de la/des extrémités (601, 602) de segment(s).



FR 2 976 996 - A1



Joint d'étanchéité

La présente invention concerne de façon générale la limitation de l'écoulement d'un fluide entre deux chambres sous pression et, plus particulièrement, un joint à brosse servant à limiter l'écoulement d'un fluide entre des chambres sous pression d'une turbomachine.

Les turbomachines telles que les turbines à gaz et les turbines à vapeur emploient, dans une section turbine, des rotors aubagés pour convertir l'énergie thermodynamique de fluides tels que de la vapeur sous pression, de l'air comprimé et des gaz de combustion en énergie mécanique servant à faire tourner un ou plusieurs arbres montés en position centrale. Les arbres fournissent à leur tour de l'énergie à des aéronefs, des équipements lourds, des véhicules aquatiques et des générateurs électriques. Les interfaces entre pièces adjacentes de moteurs dans les turbomachines sont rendues étanches de diverses manières afin de limiter les fuites de fluides tels que la vapeur sous pression, l'air comprimé et les gaz de combustion. Dans de telles turbomachines, il y a de nombreuses interfaces entre pièces rotatives et fixes. Assurer l'étanchéité de ces interfaces pose de grandes difficultés en raison des températures et pressions extrêmement élevées des fluides, combinées à un mouvement axial et/ou radial relatif entre les pièces des moteurs. Globalement, on assure l'étanchéité de ces interfaces à l'aide de divers types de joints tels que des joints labyrinthes et des joints en matière alvéolaire.

Un joint à brosse constitue un joint très perfectionné qui présente une alternative aux joints labyrinthes ou en matière alvéolaire. Le joint à brosse est constitué de milliers de filaments (poils) en groupes denses, fixés entre deux plaques métalliques. Les

poils à extrémité souple occupent un intervalle entre des pièces adjacentes et tout mouvement relatif est absorbé du fait du fléchissement des poils. Les joints à brosse sont très efficaces car, en fonctionnement normal, ils laissent un espace effectif minime. Le
5 cheminement tortueux à travers les poils assure l'effet de limitation même lorsque change la distance de l'intervalle. Les joints à brosse offrent de nombreux avantages en comparaison de joints traditionnels. A la différence du joint labyrinthe, un joint à brosse est conçu pour venir au contact d'un rotor afin de créer une
10 étanchéité directe.

Les poils des joints à brosse sont également susceptibles de fléchir sous l'effet des efforts de pression exercés par un fluide. C'est pourquoi des plaques arrière supportent les poils sur la majeure partie de leur longueur. Les poils sont poussés contre la
15 plaque arrière par la pression du fluide, ce qui empêche leur déformation permanente.

La plaque arrière doit être maintenue à une certaine distance du rotor afin d'éviter tout frottement dû à une excursion de rotor, un décalage relatif ou une déformation causée par des phénomènes
20 thermiques et dynamiques transitoires. Par conséquent, il y a toujours certaines longueurs de poils qui restent sans soutien et subissent des contraintes de flexion résultant d'efforts de pression. Cependant, l'expérience acquise avec le parc de véhicules existant démontre que, finalement, les fléchissements des poils déforment de
25 manière durable les extrémités des poils, ce qui réduit leur efficacité pour l'étanchéité et les rend impropres à la poursuite de leur utilisation. La réduction de l'efficacité des joints à brosse aggrave les fuites de fluide, accroît la consommation de combustible et, par conséquent, accroît les coûts d'exploitation
30 jusqu'au remplacement du joint à brosse. La dépose et le démontage

d'une turbomachine pour le remplacement de joints à brosse constituent une opération à la fois coûteuse et longue.

Selon un premier aspect de la présente invention, il est proposé un joint d'étanchéité ayant un groupe de poils avec une première couche de poils et une deuxième couche de poils. Le groupe de poil a au moins une extrémité de segment. La première couche de poils est conçue de manière à sensiblement entourer la deuxième couche de poils et au moins un poil de la première couche de poils a un premier diamètre. La deuxième couche de poils se trouve sensiblement dans une partie centrale du groupe de poils et au moins un poil de la deuxième couche de poils a un deuxième diamètre. Le premier diamètre est plus grand que le deuxième diamètre et la première couche de poils située près de la/des extrémité(s) de segment(s) est conçue de manière à protéger la deuxième couche de poils située près de la/des extrémité(s) de segment(s).

Selon un deuxième aspect de la présente invention, il est proposé un joint d'étanchéité ayant un groupe de poils avec une première couche de poils et une deuxième couche de poils. Le groupe de poil a au moins une extrémité de segment. La première couche de poils est conçue de manière à sensiblement entourer la deuxième couche de poils et au moins un poil de la première couche de poils a une première rigidité. La deuxième couche de poils se trouve sensiblement dans une partie centrale du groupe de poils et au moins un poil de la deuxième couche de poils a une deuxième rigidité. La première rigidité est plus grande que la deuxième rigidité et la première couche de poils située près de la/des extrémité(s) de segment(s) est conçue de manière à protéger la deuxième couche de poils située près de la/des extrémité(s) de segment(s).

L'invention sera mieux comprise à l'étude détaillée de quelques modes de réalisation pris à titre d'exemples non limitatifs et illustrés par les dessins annexés sur lesquels :

- 5 - la figure 1 représente un joint à brosse selon la technique antérieure installé sur une plaque arrière pour éviter des fuites depuis un arbre sous l'effet d'une différence de pression vers l'avant ;
- la figure 2 représente une vue radiale latérale en coupe d'un joint à brosse selon un aspect de la présente invention ;
- 10 - la figure 3 représente une vue radiale latérale en coupe d'un joint à brosse selon un aspect de la présente invention ;
- la figure 4 représente une vue radiale latérale en coupe d'un joint à brosse selon un aspect de la présente invention ;
- 15 - la figure 5 représente une vue radiale latérale en coupe d'un joint à brosse selon un aspect de la présente invention ;
- la figure 6 représente une vue en bout d'un groupe de poils suivant la ligne de coupe A-A de la figure 5, selon un aspect de la présente invention ;
- la figure 7 représente une vue en bout d'un groupe de poils
20 selon un aspect de la présente invention ;
- la figure 8 représente une vue en bout d'un groupe de poils selon un aspect de la présente invention ;
- la figure 9 représente une vue en bout d'un groupe de poils selon un aspect de la présente invention ; et
- 25 - la figure 10 représente une vue en bout d'un groupe de poils selon un aspect de la présente invention.

Il doit être entendu que les repères attribués à des pièces sur un dessin peuvent être attribués à des pièces correspondantes sur les dessins suivants.

La figure 1 représente une vue radiale latérale en coupe d'un joint à brosse 10 selon la technique antérieure, servant à assurer l'étanchéité d'un arbre rotatif. Le joint à brosse 10 comprend un logement 15 destiné au montage d'un support 20 de brosse. Le logement comprend une plaque avant 25 et une plaque arrière 30 servant à installer les poils 22 d'étanchéité de la brosse. La plaque arrière 30 peut comprendre des moyens d'équilibrage de pression tels que des gorges périphériques 32 servant à réduire les frottements résultant de la force de contact. Les poils 22 ont des dimensions uniformes et sont installés contre la plaque arrière 30 lorsqu'une pression P_1 régnant dans une première chambre 40 sur un premier côté axial du joint à brosse 10 est plus grande que la pression P_2 qui règne dans une chambre 45 sur le deuxième côté axial du joint à brosse. Le logement est placé de manière à supporter les poils à proximité de l'arbre rotatif 50. Les poils 22 du joint à brosse sont fixés au support 20 et les extrémités libres sont disposées près de la surface 55 de l'arbre rotatif 50 afin de réduire le flux de fuite 60 créé par cette différence de pression.

L'expérience montre que les fléchissements des poils finissent par déformer de manière permanente les extrémités des poils soumises à de gros efforts de pression, ce qui réduit leur efficacité pour l'étanchéité et les rend impropres à la poursuite de leur utilisation. Dans le passé, des poils de taille et de diamètre uniformes ont été créés et les turbulences de l'écoulement ont provoqué un flottement des poils, en particulier les poils situés le plus en avant (c'est-à-dire en amont), occasionnant une usure rapide. De plus, les rangées arrière du groupe de poils peuvent subir des cassures ou une déformation permanente du fait de fortes contraintes de flexion. En raison de la compressibilité du flux d'air ou de vapeur, les rangées arrière (du côté aval) subissent une forte

chute de pression, disproportionnée. Dans la plupart des cas, ce sont les contraintes de flexion des poils qui établissent la limite de pression pour l'emploi des joints à brosse. Une baisse d'efficacité des joints à brosse, causée par une déformation indésirable et une cassure de poils, aggrave les fuites de fluide, accroît la consommation de combustible et, par conséquent, accroît les coûts d'exploitation jusqu'au remplacement du joint à brosse. La dépose et le démontage d'une turbomachine en vue du remplacement de joints à brosse constituent une opération à la fois coûteuse et longue.

Certains joints à brosse selon la technique antérieure emploient des poils plus fins dans les rangées avant, ce qui aggrave encore le flottement, car des poils plus fins sont moins stables et plus affectés par les turbulences dans le flux entrant. La pratique a démontré que ces joints à brosse s'usent constamment sous une forme conique depuis la rangée avant dans les turbines à gaz et les turbines à vapeur. Réduire l'usure des rangées avant dans les joints à brosse constitue un besoin ressenti depuis longtemps mais non résolu pour préserver les performances des joints à brosse. Selon un aspect de la présente invention, un objectif consiste à réduire l'usure des rangées avant et à réduire les contraintes de flexion des rangées arrière tout en conservant une bonne souplesse du joint à brosse. De ce fait, un aspect de la présente invention utilise des fils épais pour les rangées avant et les rangées arrière et des fils plus fins entre les rangées avant et arrière. Il en résulte, entre autres, qu'un joint à brosse peut résister à de plus grands efforts de pression et aux turbulences provoquées par le flux entrant, car les fils fins du milieu assurent une capacité d'étanchéité parfaite et préservent la souplesse du joint.

Les aspects ci-après de la présente invention offrent de nombreux avantages, dont celui de créer un joint à brosse à capacité

d'étanchéité et durée de vie améliorées. La figure 2 est une vue radiale latérale en coupe d'un joint à brosse 200 pour l'étanchéité d'un arbre rotatif 250, selon un aspect de la présente invention. Le joint à brosse 200 comporte un logement 205 permettant le montage d'un support 220 de brosse pouvant retenir les poils 212, 214, 216 par soudage, brasage, collage à l'époxy ou autre moyen mécanique. Le logement comprend une plaque avant 235 et une plaque arrière 230 pour installer les poils 212, 214, 216 du joint à brosse. La plaque arrière peut être dotée de moyens d'équilibrage de pression tels que des gorges périphériques 232 servant à réduire les frottements résultant de forces de contact. Les poils sont disposés en de multiples couches/groupes, et ces couches/groupes ont des poils de taille et/ou de rigidité différentes en comparaison d'autres couches de poils. La taille peut concerner le diamètre, la section transversale et/ou la rigidité de chaque poil des couches ou groupes respectifs.

La première couche de poils 212 est disposée au voisinage immédiat de la plaque arrière 230 et chaque poil de la première couche de poils 212 a un premier diamètre et/ou une première rigidité. La deuxième couche de poils 214 est disposée au voisinage immédiat de la première couche de poils 212 et chacun des poils de la deuxième couche de poils 214 a un deuxième diamètre et/ou une deuxième rigidité. La troisième couche de poils 216 est disposée au voisinage immédiat de la deuxième couche de poils 214 et chacun des poils de la troisième couche de poils 216 a un troisième diamètre et/ou une troisième rigidité. La première couche de poils 212 comprend les poils les plus épais et/ou les plus rigides, capables de résister aux efforts exercés par le flux à haute pression. La troisième couche de poils 216 comprend des poils moyens destinés à supporter les turbulences dans le flux entrant 260. La

deuxième couche de poils 214, prise entre la première 212 et la troisième 216 couches, comprend des poils fins et/ou dotés de la plus faible rigidité afin d'obtenir de bonnes caractéristiques d'étanchéité entre la première chambre 240 et la seconde chambre 245, dans le but de préserver la souplesse.

Dans certaines applications, il peut être souhaitable de concevoir le joint à brosse de façon que le premier diamètre soit plus grand que le deuxième diamètre et/ou le troisième diamètre, et/ou que le troisième diamètre soit plus grand que le deuxième diamètre. Dans d'autres applications, le premier diamètre pourrait être plus grand ou le même que le troisième diamètre. De plus, il peut être souhaitable de concevoir le joint à brosse de façon que la première rigidité soit plus grande que la deuxième rigidité et/ou la troisième rigidité et/ou que la troisième rigidité soit plus grande que la deuxième rigidité. Dans d'autres applications, la première étanchéité pourrait être plus grande, la même ou plus petite que la troisième rigidité. Si cela est souhaitable dans une application spécifique, le premier diamètre/la première rigidité pourrait être le/la même que le troisième diamètre/la troisième rigidité, car cela permettrait au groupe de poils d'être basculé pour créer des joints à brosse dans le sens horaire et le sens anti-horaire.

Selon un aspect de la présente invention, la deuxième couche peut être composée de poils ayant le plus petit diamètre, la troisième couche peut être composée de poils ayant un diamètre moyen et la première couche peut être composée de poils ayant le plus grand diamètre. Selon un autre aspect, la deuxième couche peut être composée de poils ayant la plus faible rigidité, la troisième couche peut être composée de poils ayant une rigidité moyenne et la première couche peut être composée de poils ayant la plus grande rigidité. Cet agencement peut être souhaitable si la rigidité globale

du joint à brasse constitue une préoccupation majeure. Dans les joints à brosse, la souplesse peut d'ordinaire être caractérisée par un antonyme, la rigidité. La rigidité d'un poil est définie par la force nécessaire pour faire fléchir le poil sur une distance unitaire prédéterminée dans une direction radiale. Pour un poil d'une matière donnée, plus le diamètre du poil est grand, plus la rigidité du poil est généralement grande. Cependant, si on utilise des matières différentes dans des joints à brosse, une matière souple d'un plus grand diamètre peut être moins rigide qu'une matière rigide d'un diamètre plus petit.

En outre, la deuxième couche peut être constituée de couches secondaires à diamètre variable des poils. Cependant, dans certaines applications, il peut être souhaitable que le diamètre des poils de la deuxième couche ait une dimension telle que les poils sont plus souples que ceux des première et troisième couches.

Uniquement à titre d'exemple, la première couche de poils 212 peut comprendre des poils individuels d'un diamètre d'environ 0,15 mm (0,006 ") à environ 0,25 mm (0,010 "). La deuxième couche de poils 214 peut comprendre des poils individuels d'un diamètre d'environ 0,05 mm (0,002 ") à environ 0,15 mm (0,006 "). La troisième couche de poils 216 peut comprendre des poils individuels d'un diamètre d'environ 0,10 mm (0,004 ") à environ 0,20 mm (0,008 "). Cependant, n'importe quel diamètre approprié de poils/fils peut être utilisé de la manière souhaitable dans l'application spécifique.

La figure 3 est une vue radiale latérale en coupe d'un joint à brosse 300 pour l'étanchéité d'un arbre rotatif 250, selon un aspect de la présente invention. Le joint à brosse 300 comporte un logement 305 pour le montage d'un support 320 de brosse. Le logement comprend une plaque avant 335 et une plaque arrière 330

pour installer des poils 312, 314, 316 de joints à brosse. Les poils sont disposés en de multiples couches/groupes et ces couches/groupes ont des poils de taille et/ou de dimensions différentes en comparaison des autres couches de poils.

- 5 La première couche de poils 312 est disposée au voisinage immédiat de la plaque arrière 330 et chacun des poils de la première couche de poils 312 a un premier diamètre et/ou une première rigidité. Uniquement à titre d'exemple, la première couche de poils 312 peut comprendre des poils individuels d'un diamètre d'environ
- 10 0,15 mm (0,006 ") à environ 0,25 mm (0,010 "). Les extrémités des poils peuvent être coupées afin de former une partie de surface conique 370 près du bas de la première couche de poils. La deuxième couche de poils 314 est disposée au voisinage immédiat de la première couche de poils 312 et chacun des poils de la
- 15 deuxième couche de poils 314 a un deuxième diamètre et/ou une deuxième rigidité. Par exemple, la deuxième couche de poils 314 peut comprendre des poils individuels d'un diamètre d'environ 0,025 mm (0,001 ") à environ 0,15 mm (0,006 "). Les extrémités des poils peuvent être coupées afin de former une partie de surface
- 20 conique 370 vers le bas de la première couche de poils. Dans la couche 314, la totalité ou seulement une partie du bas des poils de la couche 314 peut être coupée afin de former une partie de surface conique 370. La surface conique 370 peut contribuer à réduire l'incidence des poils plus épais et/ou plus rigides de la couche 312
- 25 sur le dégagement de chaleur et la dynamique du rotor. La surface conique 370 forme efficacement un intervalle conique entre les extrémités des poils et l'arbre rotatif 250. Comme évoqué plus haut, la surface conique 370 peut être conçue pour s'étendre sur toutes les couches de poils ou sur des parties de couches de poils.

La troisième couche de poils 316 est disposée au voisinage immédiat de la deuxième couche de poils 314 et chacun des poils de la troisième couche de poils 316 a un troisième diamètre et/ou une troisième rigidité. Par exemple, la troisième couche de poils 316 peut comprendre des poils individuels d'un diamètre d'environ 0,10 mm (0,004 ") à environ 0,20 mm (0,008 "). Cependant, n'importe quel diamètre approprié de poils/fils peut être utilisé de la manière souhaitable dans l'application spécifique.

La première couche de poils 312 comprend les poils les plus épais et/ou les plus rigides pour résister aux efforts du flux à haute pression. La troisième couche de poils 316 comprend des poils moyens destinés à supporter les turbulences dans le flux entrant. La deuxième couche de poils 314, intercalée entre la première 312 et la troisième 316 couches, comprend des poils fins et/ou ayant la plus faible rigidité de manière à obtenir de bonnes caractéristiques d'étanchéité entre la première chambre 340 et la seconde chambre 345, ainsi que pour préserver la souplesse. Les poils individuels peuvent être constitués de fils métalliques ou non métalliques. On citera parmi les matières métalliques possibles le cuivre, l'acier, des alliages métalliques (parmi lesquels peuvent figurer Haynes 25 et Hastelloy C-276) ou n'importe quelle autre matière adéquate souhaitable dans l'application spécifique. Les alliages métalliques peuvent comprendre des alliages de cobalt ou des alliages de nickel, et on citera comme exemples nullement limitatifs $\text{Co}^a_{51}\text{Ni}_{10}\text{Cr}_{20}\text{W}_{15}\text{Fe}_{3*}\text{Mn}_{1,5}\text{Si}_{0,4*}\text{C}_{0,10}$, où "a" signifie "le reste" et "*" signifie "maximum" et les nombres sont en pourcentage de poids, ou $\text{Ni}_{57}\text{Co}_{2,5}\text{Cr}_{16}\text{W}_4\text{Fe}_5\text{Si}_{0,08}\text{Mn}_1\text{C}_{0,01}$, où les nombres désignent des pourcentages de poids. Les alliages de cobalt et de nickel peuvent également comprendre l'alliage Haynes® 25 et l'alliage Hastelloy® C-276 (Haynes® et Hastelloy® sont des

marques commerciales déposées de Haynes International, Inc.). Les matières non métalliques peuvent comprendre des fibres synthétiques de para-amide (par exemple du Kevlar®, une marque déposée de E.I. du Pont de Nemours and Company), des fibres de carbone ou des combinaisons de celles-ci. Les matières et les diamètres des poils sont choisis en fonction de compromis entre des propriétés telles que la rigidité, la résistance au fluage, la résistance à l'usure et l'inertie chimique en présence d'huile, par exemple. Les diamètres des poils sont choisis de façon à assurer une stabilité de structure en présence de forces aérodynamiques exercées sur celle-ci par le fluide de travail tout en considérant des facteurs de compromis tels que la stabilité de la structure et la déformabilité souhaitable. Par exemple, des diamètres plus petits de poils métalliques ou non métalliques créent un jeu effectif moindre à l'interface entre le joint et la pièce rotative ainsi qu'une plus faible rigidité aboutissant à un moindre dégagement de chaleur.

Chaque poil comprend une première extrémité montée sur le support 320 de brosse et une seconde extrémité disposée tout près de l'arbre rotatif 250. Selon certains aspects de l'invention, la totalité ou une partie de la seconde extrémité ou extrémité inférieure des poils est conçue de manière à être au contact de l'arbre rotatif 250. Le support 320 de brosse peut également comprendre un dispositif de montage tel qu'une matière époxy 321 disposée entre la plaque avant 335 et la plaque arrière 305. La matière époxy 321 est conçue pour monter des poils non métalliques sur le support 320 de brosse. Selon d'autres aspects, la zone 321 pourrait être conçue sous la forme d'une soudure servant à fixer les extrémités de poils métalliques. La plaque avant 335 et la plaque arrière 305 peuvent comprendre une matière métallique ou un matériau composite ou une combinaison de ceux-ci. Les poils

peuvent être serrés entre la plaque avant 335 et la plaque arrière 305. La première extrémité de chaque poil peut être montée sur la matière époxy/la soudure 321 et la seconde extrémité fait saillie vers l'arbre rotatif 250. Selon certains autres aspects, les poils
5 peuvent être thermosoudés sur la plaque avant 335 et la plaque arrière 305, ou encore ils pourraient être fixés à la plaque avant 335 et à la plaque arrière 305 à l'aide de fils annulaires et de colliers de retenue (décrits plus loin).

La figure 4 est une vue radiale latérale en coupe d'un joint à
10 brosse 400 pour l'étanchéité d'un arbre rotatif 250 selon un aspect de la présente invention. Le joint à brosse 400 comprend un logement 405 pour le montage d'un support 420 de brosse. Le logement comprend une plaque avant 435 et une plaque arrière 430 pour installer des poils 412, 414, 416 de joints à brosse. Les poils
15 sont disposés en de multiples couches/groupes et ces couches/groupes ont des poils de taille et/ou de rigidité différentes en comparaison d'autres couches de poils.

La première couche de poils 412 est disposée au voisinage immédiat de la plaque arrière 430 et chacun des poils de la première
20 couche de poils 412 a un premier diamètre et/ou une première rigidité. Uniquement à titre d'exemple, la première couche de poils 412 peut comprendre des poils individuels ayant un diamètre d'environ 0,15 mm (0,006 ") à environ 0,25 mm (0,010 "). La deuxième couche de poils 414 est disposée au voisinage immédiat
25 de la première couche de poils 412 et chacun des poils de la deuxième couche de poils 414 a un deuxième diamètre et/ou une deuxième rigidité. Par exemple, la deuxième couche de poils 414 peut comprendre des poils individuels d'un diamètre d'environ 0,025 mm (0,001 ") à environ 0,15 mm (0,006 "). La troisième couche de
30 poils 416 est disposée au voisinage immédiat de la deuxième couche

de poils 414 et chacun des poils de la troisième couche de poils 416 a un troisième diamètre et/ou une troisième rigidité. Par exemple, la troisième couche de poils 416 peut comprendre des poils individuels d'un diamètre d'environ 0,10 mm (0,004 ") à environ 0,20 mm (0,008 "). Cependant, n'importe quel diamètre ou rigidité adéquat de poils/fils peut être utilisé de la manière souhaitable dans l'application spécifique.

La première couche de poils 412 peut avoir les poils les plus épais et/ou les plus rigides pour résister aux efforts du flux à haute pression. La troisième couche de poils 416 peut avoir des poils moyens destinés à supporter les turbulences dans le flux entrant. Cependant, la première couche de poils 412 et la troisième couche de poils 416 peuvent avoir des poils d'un diamètre et/ou d'une rigidité sensiblement similaires. La deuxième couche de poils 414, qui est intercalée entre la première 412 et la troisième 416 couches, comprend des poils plus fins et/ou à rigidité plus faible afin d'obtenir de bonnes caractéristiques d'étanchéité entre la première chambre 440 et la seconde chambre 445, ainsi que pour préserver la souplesse.

Chaque poil comprend une première extrémité montée sur le support 420 de brosse et une seconde extrémité disposée tout près de l'arbre rotatif 250. Selon certains aspects de l'invention, la totalité ou une partie de la seconde extrémité, ou extrémité inférieure, des poils est conçue pour venir au contact de l'arbre rotatif 250. Le support 420 de brosse peut également comprendre un dispositif de montage tel que des rails latéraux 421 et 422, qui peuvent être fixés respectivement à la plaque avant 435 et à la plaque arrière 430. Une partie supérieure des poils (c'est-à-dire distante de l'arbre 250 et proche du haut du groupe de poils) peut être soudée à la partie supérieure des autres poils ainsi qu'aux rails

latéraux 421, 422, par une soudure 423. La soudure peut être conçue comme représentée sur la figure 4, ou encore la soudure peut débiter tout en haut des poils et s'étendre vers le bas sur une distance appropriée (non représenté).

5 La figure 5 est une vue radiale latérale en coupe d'un joint 500 à brosse pour l'étanchéité d'un arbre rotatif 250 selon un aspect de la présente invention. Le joint 500 à brosse comporte un logement 505 pour le montage d'un support 520 de brosse. Le logement comprend une plaque avant 535 et une plaque arrière 530
10 pour l'installation de poils 512, 514, 516 de joints à brosse. Les poils sont disposés en de multiples couches/groupes et ces couches/groupes peuvent avoir des poils d'une taille et/ou d'une rigidité différente(s) en comparaison des autres couches de poils.

 La première couche de poils 512 est disposée au voisinage
15 immédiat de la plaque arrière 530 et chaque poil de la première couche de poils 512 a un premier diamètre et/ou une première rigidité. Uniquement à titre d'exemple, la première couche de poils 512 peut comprendre des poils individuels d'un diamètre d'environ 0,15 mm (0,006 ") à environ 0,25 mm (0,010 "). La deuxième
20 couche de poils 514 est disposée au voisinage immédiat de la première couche de poils 512 et chacun des poils de la deuxième couche de poils 514 a un deuxième diamètre et/ou une deuxième rigidité. Par exemple, la deuxième couche de poils 514 peut comprendre des poils individuels d'un diamètre d'environ 0,025 mm
25 (0,001 ") à environ 0,15 mm (0,006 "). La troisième couche de poils 516 est disposée au voisinage immédiat de la deuxième couche de poils 514 et chaque poil de la troisième couche de poils 516 a un troisième diamètre et/ou une troisième rigidité. Par exemple, la troisième couche de poils 516 peut comprendre des poils individuels
30 d'un diamètre d'environ 0,10 mm (0,004 ") à environ 0,20 mm

(0,008 "). Cependant, n'importe quel diamètre ou rigidité adéquat de poils/fils peut être utilisé de la manière souhaitable dans l'application spécifique.

5 La première couche de poils 512 peut avoir les poils les plus épais et/ou les plus rigides pour résister aux efforts du flux à haute pression. La troisième couche de poils 516 peut avoir des poils moyens afin de supporter les turbulences dans le flux entrant. Cependant, la première couche de poils 512 et la troisième couche de poils 516 peuvent avoir un diamètre et/ou une rigidité
10 sensiblement similaires ou identiques. La deuxième couche de poils 514, qui est intercalée entre la première 512 et la troisième 516 couches, comprend des poils plus fins et/ou d'une plus faible rigidité (en comparaison de la première et de la troisième couches de poils) afin d'obtenir de bonnes caractéristiques d'étanchéité entre
15 la première chambre 540 et la seconde chambre 545, ainsi que pour préserver la souplesse.

Le support 520 de brosse peut comprendre un fil annulaire 521. Les poils 512, 514 et 516 sont disposés autour de ce fil annulaire 521 et sont maintenus en place à l'aide d'un collier 522.
20 Le collier 522 exerce une force de compression afin de maintenir fermement en place les poils. Selon cet aspect de l'invention, de multiples couches de poils sensiblement symétriques peuvent être conçues. Par exemple, la couche de poils 514 se trouverait au centre du groupe de poils et la couche de poils 516 serait située de part et
25 d'autre de la couche de poils 514. La couche de poils 512 se trouverait sur la partie extérieure de la couche de poils 514. En fait, une structure en sandwich est formée, ce qui donne une série de couches et, en progressant de l'amont vers l'aval (ou de gauche à droite sur la figure 5), le groupe de poils pourrait être composé des
30 couches suivantes : 512, 516, 514, 516, 512.

La figure 6 représente une vue en bout du groupe de poils 600, qui peut être prise suivant la ligne de coupe A-A de la figure 5, selon un aspect de la présente invention. Dans les applications à de grosses turbomachines, les joints à brosse sont généralement segmentés pour faciliter leur installation ou en raison de contraintes de fabrication. De petits intervalles entre extrémités sont ménagés entre les segments afin d'éviter un cintrage susceptible d'ouvrir des brèches dans le joint du fait de différences de dilatation thermique entre un segment de joint et une pièce de montage de joint. L'intervalle entre extrémités induit des fuites plus localisées qui créent de fortes turbulences pour les poils proches des extrémités de segments, et réduit également l'équilibre de pression du groupe de poils, conduisant à une intensification de l'usure et de l'endommagement. L'expérience acquise par la pratique a montré que les poils situés près des extrémités 601, 602 de segment sont souvent nettement plus usés que les poils du milieu du groupe de poils. Un aspect de la présente invention propose un joint à brosse perfectionné avec un groupe de poils 600 ayant les poils les plus épais et/ou les plus rigides situés aux extrémités 601, 602 du segment, et ces poils plus épais/plus rigides entourent des poils plus fins et/ou moins rigides au centre ou au milieu du groupe de poils.

Les poils du groupe de poils 600 sont disposés en de multiples couches ou groupes, et ces couches/groupes peuvent avoir des poils d'une taille et/ou d'une rigidité différentes en comparaison des autres couches de poils. Par exemple, la première couche de poils 612 est conçue comme la couche de poils les plus à l'extérieur et chaque poil de la première couche de poils 612 a un premier diamètre et/ou une première rigidité. Uniquement à titre d'exemple, la première couche de poils 612 peut comprendre des poils individuels d'un diamètre d'environ 0,15 mm (0,006 ") à environ

0,25 mm (0,010 "). Une deuxième couche de poils 614 est disposée au centre ou au milieu du groupe de poils 600 et chaque poil de la deuxième couche de poils 614 a un deuxième diamètre et/ou une deuxième rigidité. Par exemple, la deuxième couche de poils 614 peut comprendre des poils individuels d'un diamètre d'environ 0,025 mm (0,001 ") à environ 0,15 mm (0,006 "). La troisième couche de poils 616 est disposée entre la première couche de poils 612 et la deuxième couche de poils 614 et chaque poil de la troisième couche de poils 616 peut avoir un troisième diamètre et/ou une troisième rigidité. Par exemple, la troisième couche de poils 616 peut comprendre des poils individuels d'un diamètre d'environ 0,10 mm (0,004 ") à environ 0,20 mm (0,008 "). Cependant, n'importe quel diamètre ou rigidité approprié de poils/fils peut être utilisé de la manière souhaitable dans l'application spécifique.

La première couche de poils 612 peut avoir les poils les plus épais et/ou les plus rigides pour résister aux efforts du flux à haute pression. La troisième couche de poils 616 peut avoir des poils moyens pour supporter les turbulences dans le flux entrant. Cependant, la première couche de poils 612 et la troisième couche de poils 616 peuvent comprendre des poils d'un diamètre et/ou d'une rigidité sensiblement similaires ou identiques. La deuxième couche de poils 614 comprend des poils plus fins et/ou d'une plus faible rigidité (en comparaison de la première et de la troisième couches de poils) afin d'obtenir de bonnes caractéristiques d'étanchéité et de préserver la souplesse.

Un avantage de la présente configuration est que les poils les plus fins et/ou les moins rigides 614 sont protégés par les poils les plus épais et/ou les plus rigides 612, 616. Un flux de fuite ou des turbulences d'écoulement peuvent provoquer une plus grande usure des poils les plus fins exposés, et les poils les plus fins/les

moins rigides assurent une meilleure étanchéité, aussi serait-il avantageux de protéger ces poils "plus fragiles". Les poils les plus épais et/ou les plus rigides 612, 614 sont plus robustes et résistent mieux aux efforts de pression et aux turbulences de flux subis pendant la marche. Cependant, ces poils "plus robustes" 612, 614 assurent une étanchéité moindre que ceux de la deuxième couche de poils 614.

La figure 7 est une vue en bout du groupe de poils 700 selon un aspect de la présente invention. Un aspect de la présente invention propose un joint à brosse perfectionné avec un groupe de poils 700 comprenant des poils plus épais et/ou plus rigides situés aux extrémités 701, 702 du segment, et ces poils plus épais/plus rigides entourent des poils plus fins et/ou moins rigides au centre ou au milieu du groupe de poils.

Les poils du groupe de poils 700 sont disposés en de multiples couches ou groupes et ces couches/groupes peuvent avoir des poils d'une taille et/ou d'une rigidité différentes en comparaison des autres couches de poils. Par exemple, la première couche de poils 712 est conçue sous la forme des poils les plus à l'extérieur et chacun des poils de la première couche de poils 712 a un premier diamètre et/ou une première rigidité. Une deuxième couche de poils 714 est disposée au centre ou au milieu du groupe 700 de poils et chaque poil de la deuxième couche de poils 714 a un deuxième diamètre et/ou une deuxième rigidité. La première couche de poils 712 peut avoir les poils les plus épais et/ou les plus rigides afin de résister aux efforts du flux à haute pression. La deuxième couche de poils 714, qui est sensiblement entourée par la première couche de poils 712, comprend des poils plus fins et/ou d'une rigidité plus faible (en comparaison de la première couche de poils 712) afin d'obtenir de bonnes caractéristiques d'étanchéité et de préserver la

souplesse. Un avantage de cette configuration est que les poils les plus fins et/ou les moins rigides 714 sont protégés par les poils les plus épais et/ou les plus rigides 712.

La figure 8 est une vue en bout du groupe de poils 800, selon un aspect de la présente invention. Les poils du groupe de poils 800 sont disposés en de multiples couches ou groupes et ces couches/groupes peuvent avoir des poils d'une taille et/ou d'une rigidité différente(s) en comparaison des autres couches de poils. Uniquement à titre d'exemple, la présente configuration pourrait servir de variante du joint à brosse représenté sur la figure 5. Par exemple, la première couche de poils 812 est conçue sous la forme des poils les plus à l'extérieur et chaque poil de la première couche de poils 812 a un premier diamètre et/ou une première rigidité. A titre d'exemple nullement limitatif, la première couche de poils 812 peut comprendre des poils individuels d'un diamètre d'environ 0,15 mm (0,006 ") à environ 0,25 mm (0,010"). Une deuxième couche de poils 814 est disposée au centre ou au milieu du groupe de poils 800 de poils et chacun des poils de la deuxième couche de poils 814 a un deuxième diamètre et/ou une deuxième rigidité. Par exemple, la deuxième couche de poils 814 peut comprendre des poils individuels d'un diamètre d'environ 0,025mm (0,001 ") à environ 0,15 mm (0,006 "). La troisième couche de poils 816 est disposée entre la première couche de poils 812 et la deuxième couche de poils 814 et chacun des poils de la troisième couche de poils 816 peut avoir un troisième diamètre et/ou une troisième rigidité. Par exemple, la troisième couche de poils 816 peut comprendre des poils individuels d'un diamètre d'environ 0,10 mm (0,004 ") à environ 0,20 mm (0,008 "). Cependant, n'importe quel diamètre ou rigidité adéquat de poils/fils peut être utilisé de la manière souhaitable dans l'application spécifique.

La première couche de poils 812 peut avoir les poils les plus épais et/ou les plus rigides pour résister aux efforts du flux à haute pression. La troisième couche de poils 816 peut avoir des poils moyens pour supporter les turbulences dans le flux entrant.

5 Cependant, la première couche de poils 812 et la troisième couche de poils 816 peuvent avoir un diamètre et/ou une rigidité sensiblement similaires ou identiques. La deuxième couche de poils 814, située sensiblement au milieu du groupe 800 de poils, comprend les poils les plus fins et/ou ayant la rigidité la plus faible

10 (en comparaison de la première et de la troisième couches de poils) afin d'obtenir de bonnes caractéristiques d'étanchéité et de préserver la souplesse. Dans cette configuration, chaque couche de poils s'étend sensiblement jusqu'aux extrémités du segment du groupe de poils.

15 La figure 9 est une vue en bout du groupe 900 de poils selon un aspect de la présente invention. Les poils du groupe 900 de poils sont organisés en multiples couches ou groupes et ces couches/groupes peuvent avoir des poils d'une taille et/ou d'une rigidité différente en comparaison des autres couches de poils. Par

20 exemple, les poils 912 de la première couche se présentent comme les poils les plus externes aux extrémités 901, 902 de segments et en aval. Chacun des poils 912 de la première couche a un premier diamètre et/ou une première rigidité. Uniquement à titre d'exemple, la première couche de poils 912 peut comprendre des poils d'un

25 diamètre individuel d'environ 0,15 mm à environ 0,25 mm (0,006 " à 0,010 "). Une deuxième couche de poils 914 est disposée au centre ou au milieu du groupe 900 de poils et chacun des poils 914 de la deuxième couche a un deuxième diamètre et/ou une seconde rigidité. Par exemple, la deuxième couche de poils 914 peut

30 comprendre des poils d'un diamètre individuel d'environ 0,025 mm

à environ 0,15 mm (0,001" à 0,006 "). La troisième couche de poils 916 est disposée en avant (ou en amont) de la première couche de poils 912 et de la deuxième couche de poils 914, et chacun des poils 916 de la troisième couche peut avoir un troisième diamètre et/ou une troisième rigidité. Par exemple, la troisième couche de poils 916 peut comprendre des poils d'un diamètre individuel d'environ 0,1 mm à environ 0,2 mm (0,004" à 0,008 "). Cependant, il est possible d'utiliser n'importe quel diamètre ou rigidité adéquat de poils/fils souhaitable dans l'application spécifique.

La figure 10 est une vue en bout du groupe 1000 de poils selon un aspect de la présente invention. Les poils du groupe 1000 de poils sont organisés en multiples couches ou groupes et ces couches/groupes peuvent avoir des poils de dimensions et/ou de rigidité différente(s) en comparaison des autres couches de poils. Par exemple, les poils 1012 de la première couche se présentent comme les poils les plus externes en aval. Chacun des poils 1012 de la première couche a un premier diamètre et/ou une première rigidité. Uniquement à titre d'exemple, la première couche de poils 1012 peut comprendre des poils d'un diamètre individuel d'environ 0,15 mm à environ 0,25 mm (0,006 " à 0,010 "). Une deuxième couche de poils 1014 est disposée au centre ou au milieu du groupe 1000 de poils et chacun des poils 1014 de la deuxième couche a un deuxième diamètre et/ou une seconde rigidité. Par exemple, la deuxième couche de poils 1014 peut comprendre des poils d'un diamètre individuel d'environ 0,025 mm à environ 0,15 mm (0,001" à 0,006 "). La troisième couche de poils 1016 est disposée aux extrémités 1001, 1002 de segments et en avant (ou en amont) de la première couche de poils 1012 et de la deuxième couche de poils 1014, et chacun des poils 1016 de la troisième couche peut avoir un troisième diamètre et/ou une troisième rigidité. Par exemple, la

troisième couche de poils 1016 peut comprendre des poils d'un diamètre individuel d'environ 0,1 mm à environ 0,2 mm (0,004" à 0,008 "). Cependant, il est possible d'utiliser n'importe quel diamètre ou rigidité adéquat de poils/fils souhaitable dans l'application spécifique. L'orientation de tous les groupes de poils décrits ici peut être basculée de 180 degrés, si cela est souhaitable dans l'application spécifique.

Dans des applications pour joints à brosse sur des turbines à vapeur, des aspects de la présente invention réduisent les fuites de flux depuis les arbres pendant des conditions d'écoulement et réduisent les besoins en vapeur auxiliaire pendant des régimes transitoires tels que les démarrages, les arrêts, les déclenchements et le fonctionnement d'organes rotatifs, ce qui abaisse le coût d'une chaudière auxiliaire pour l'exploitant.

Liste des repères

	10	Joint à brosse
5	15	Logement
	20	Support de brosse
	22	Poils
	25	Plaque avant
	30	Plaque arrière
10	32	Gorges
	40	Première chambre
	45	Seconde chambre
	50	Arbre rotatif
	55	Surface de l'arbre 50
15	60	Flux de fuite
	200	Joint à brosse
	205	Logement
	212	Poils – épais
	214	Poils – fins
20	216	Poils – moyens
	220	Support de brosse
	230	Plaque arrière
	232	Gorges
	235	Plaque avant
25	240	Première chambre
	245	Seconde chambre
	250	Arbre rotatif
	260	Flux
	300	Joint à brosse
30	305	Logement

	312	Poils – épais
	314	Poils – fins
	316	Poils – moyens
	320	Support de brosse
5	321	Dispositif de montage, époxy ou soudure
	330	Plaque arrière
	335	Plaque avant
	340	Première chambre
	345	Seconde chambre
10	370	Surface conique
	400	Joint à brosse
	405	Logement
	412	Poils – épais
	414	Poils – fins
15	416	Poils – moyens
	420	Support de brosse
	421	Rails latéraux
	422	Rails latéraux
	423	Soudure
20	430	Plaque arrière
	435	Plaque avant
	440	Première chambre
	445	Seconde chambre
	500	Joint à brosse
25	505	Logement
	512	Poils – épais
	514	Poils – fins
	516	Poils – moyens
	520	Support de brosse
30	521	Fil annulaire

	522	Collier
	530	Plaque arrière
	535	Plaque avant
	540	Première chambre
5	545	Seconde chambre
	600	Groupe de poils
	601	Extrémité de segment
	602	Extrémité de segment
	612	Poils – épais
10	614	Poils – fins
	616	Poils – moyens
	700	Groupe de poils
	701	Extrémité de segment
	702	Extrémité de segment
15	712	Poils – épais
	714	Poils – fins
	800	Groupe de poils
	812	Poils – épais
	814	Poils – fins
20	816	Poils – moyens
	900	Groupe de poils
	901	Extrémité de segment
	902	Extrémité de segment
	912	Poils
25	914	Poils
	916	Poils
	1000	Groupe de poils
	1001	Extrémité de segment
	1002	Extrémité de segment
30	1012	Poils

1014 Poils

1016 Poils

REVENDICATIONS

1. Joint d'étanchéité, comportant :

un groupe (600, 700, 800) de poils ayant une première
couche de poils (612, 712, 812) et une deuxième couche de poils
5 (614, 714, 814), le groupe (600, 700, 800) de poils ayant au moins
une extrémité (601, 602, 701, 702) de segment ;

la première couche de poils (612, 712, 812) étant conçue
pour sensiblement entourer la deuxième couche de poils (614, 714,
814), au moins un des poils (612, 712, 812) de la première couche
10 ayant un premier diamètre ;

la deuxième couche de poils (614, 714, 814) étant située
sensiblement dans une partie centrale du groupe de poils, au moins
un poil de la deuxième couche de poils (614, 714, 814) ayant un
deuxième diamètre ;

15 le premier diamètre étant plus grand que le deuxième
diamètre et la première couche de poils (612, 712, 812) étant située
près d'au moins une extrémité de segment et étant conçue de,
manière à protéger la deuxième couche de poils (614, 714, 814)
située près de la/des extrémité(s) (601, 602, 701, 702) de
20 segment(s).

2. Joint d'étanchéité selon la revendication 1, dans lequel
une rigidité de la première couche de poils (612, 712, 812) est plus
grande qu'une rigidité de la deuxième couche de poils.

3. Joint d'étanchéité selon la revendication 1, dans lequel le
25 premier diamètre est d'environ 0,15 mm à environ 0,25 mm
(0,006 " à 0,010 ") et le deuxième diamètre est d'environ 0,05 mm à
environ 0,15 mm (0,002 " à 0,006 ").

4. Joint d'étanchéité selon la revendication 1, comportant en
outre :

un logement (205, 305, 405, 505) de brosse ayant une plaque arrière (230, 330, 430, 530) et une plaque avant (235, 335, 435, 535) ; et

5 dans lequel la première couche de poils (612, 712, 812) est disposée au voisinage immédiat de la plaque arrière (230, 330, 430, 530).

5. Joint d'étanchéité selon la revendication 4, dans lequel la première couche de poils (612, 712, 812) et la deuxième couche de poils (614, 714, 814) sont montées dans le logement (205, 305, 405, 505) de brosse par au moins un des moyens suivants :

une matière époxy (321) ;

une soudure (321) ; et

10 un fil annulaire (521) et un collier (522), la première couche de poils (612, 712, 812) et la deuxième couche de poils (614, 714, 814) passant par-dessus le fil annulaire (521) et étant retenues par le collier (522).

6. Joint d'étanchéité selon la revendication 1, comportant en outre :

20 une troisième couche de poils (616, 816) disposée au voisinage immédiat de la deuxième couche de poils (614, 714, 814) et au moins un poil de la troisième couche de poils (616, 816) ayant un troisième diamètre ; et

dans lequel le troisième diamètre est plus grand que le deuxième diamètre.

25 7. Joint d'étanchéité selon la revendication 6, dans lequel le premier diamètre est plus grand que le troisième diamètre.

8. Joint d'étanchéité selon la revendication 6, dans lequel la première couche de poils (612, 712, 812) est conçue de manière à sensiblement entourer la troisième couche de poils (616, 816), et

dans lequel la troisième couche de poils (616, 816) est conçue de manière à sensiblement entourer la deuxième couche de poils.

5 9. Joint d'étanchéité selon la revendication 6, dans lequel une rigidité de la troisième couche de poils (616, 816) est plus grande qu'une rigidité de la deuxième couche de poils (614, 714, 814).

10 10. Joint d'étanchéité selon la revendication 6, dans lequel une rigidité de la première couche de poils (612, 712, 812) est plus grande que la rigidité de la troisième couche de poils (616, 816).

11. Joint d'étanchéité selon la revendication 6, dans lequel le troisième diamètre est d'environ 0,1 mm à environ 0,2 mm (0,004" à 0,008 ").

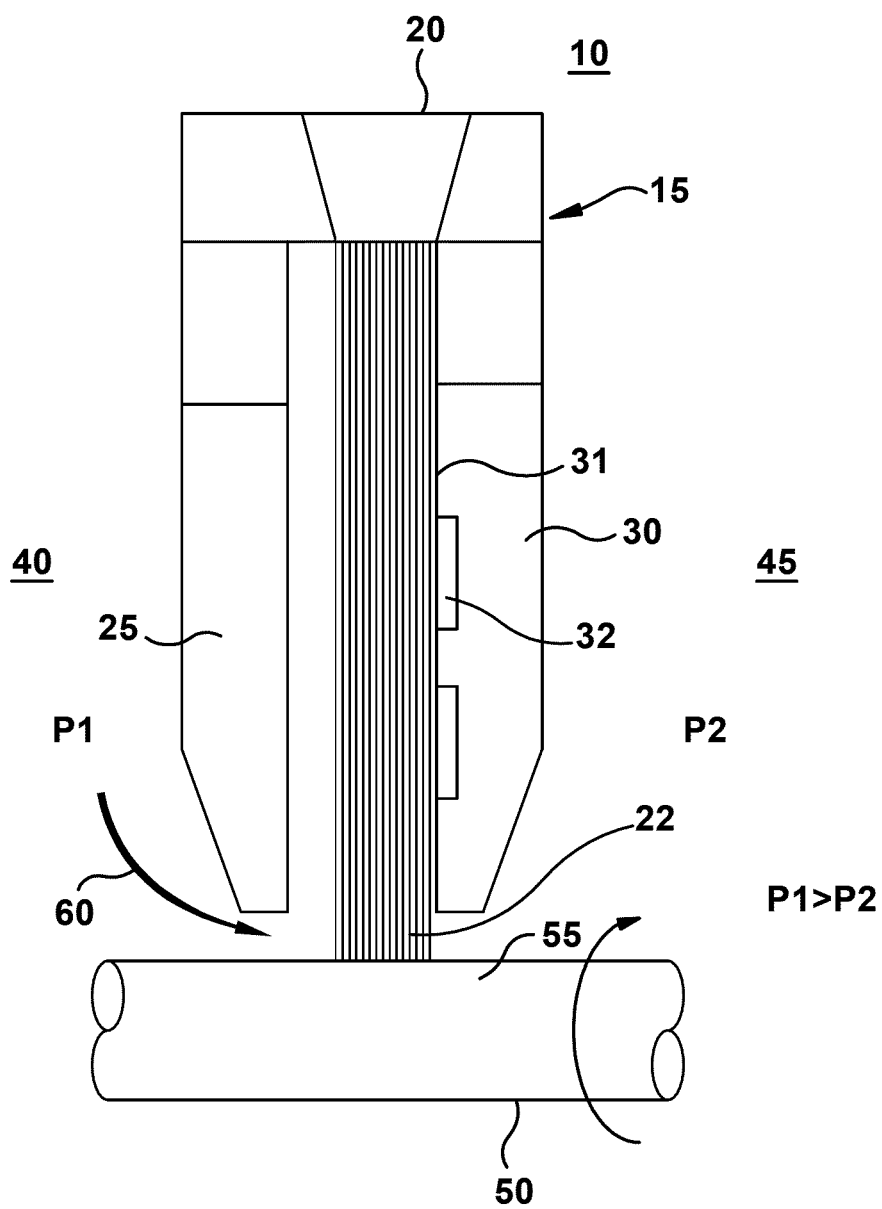
12. Joint d'étanchéité selon la revendication 6, dans lequel la première couche de poils (612, 712, 812), la deuxième couche de poils (614, 714, 814) et la troisième couche de poils (616, 816) sont constituées d'une matière métallique et/ou d'une matière non métallique, et dans lequel :

la matière métallique est constituée d'au moins une matière parmi le cuivre, l'acier et des alliages métalliques ou des combinaisons de ceux-ci ; et

la matière non métallique est constituée d'au moins une matière parmi des fibres synthétiques para-aramides, des fibres de carbone ou des combinaisons de celles-ci.

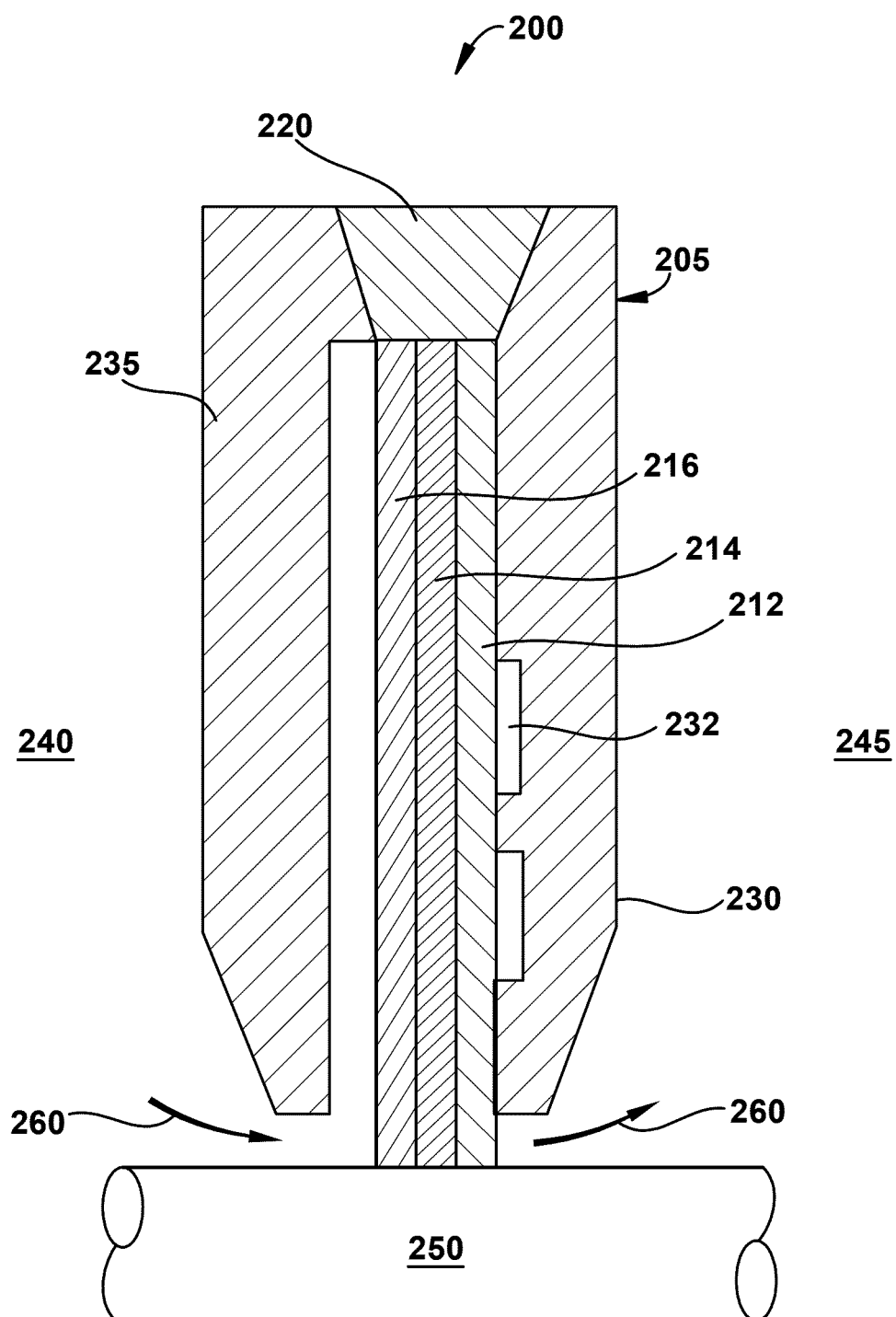
13. Joint d'étanchéité selon la revendication 12, dans lequel les alliages métalliques sont constitués par des alliages de cobalt et/ou des alliages de nickel ou des combinaisons de ceux-ci.

FIG. 1
ART ANTERIEUR



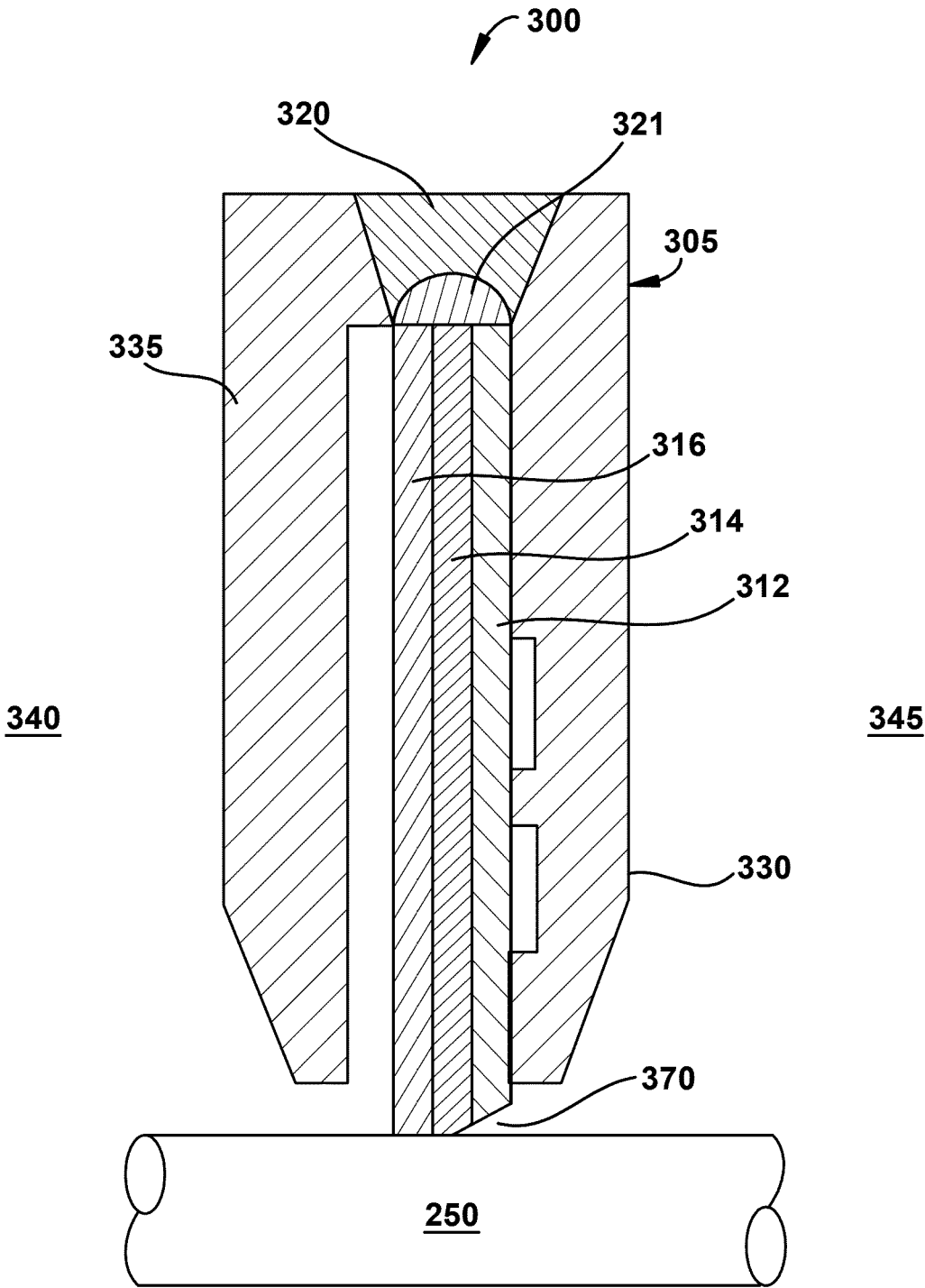
2/7

FIG. 2



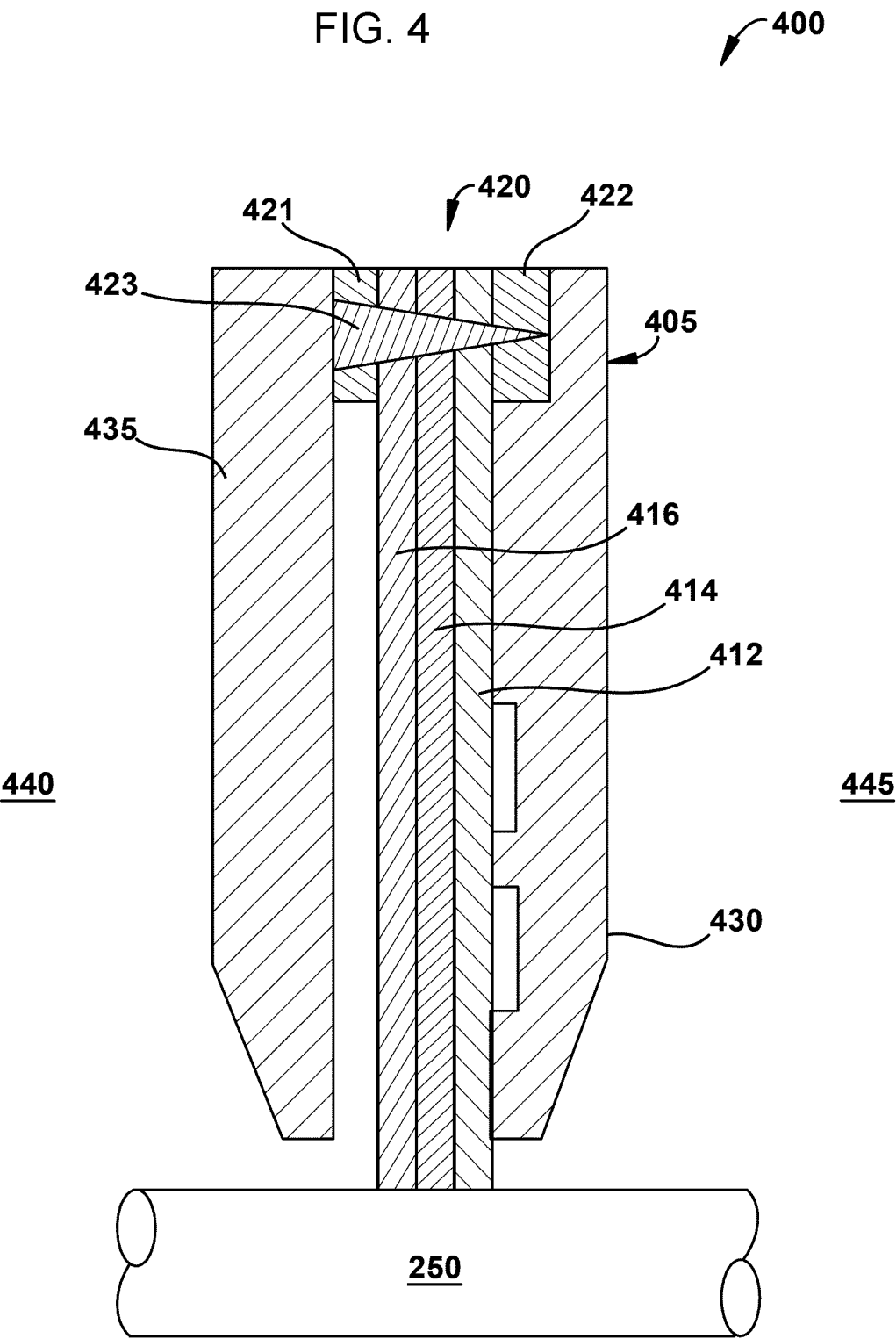
3/7

FIG. 3



4/7

FIG. 4



5/7

FIG. 5

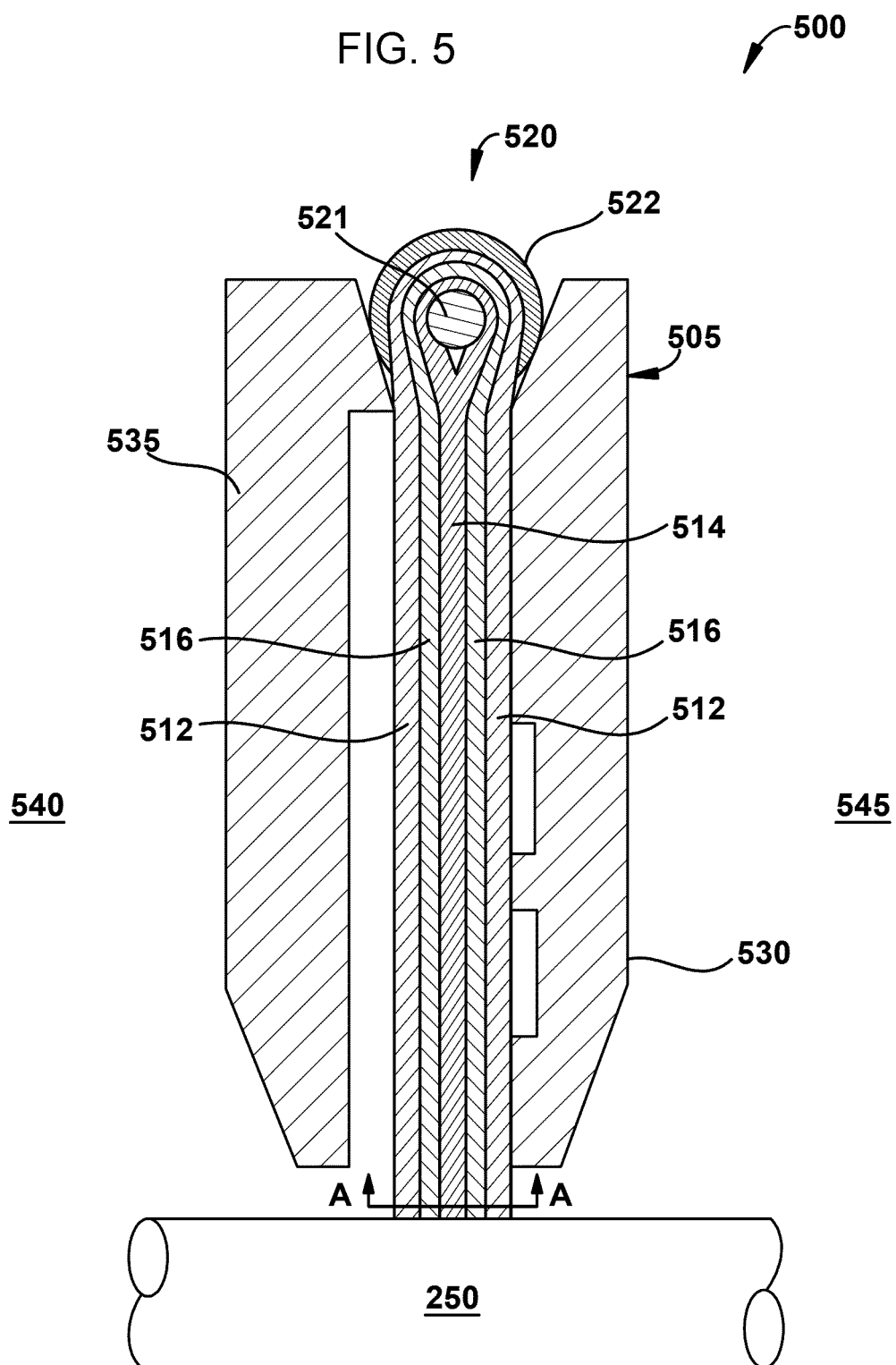


FIG. 6

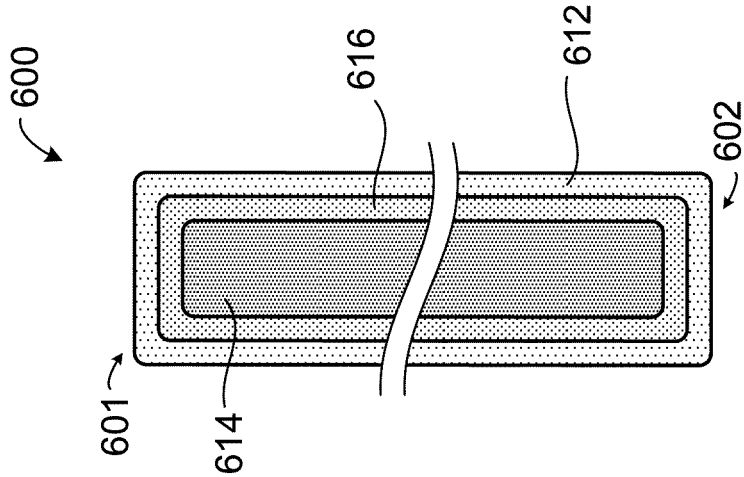


FIG. 7

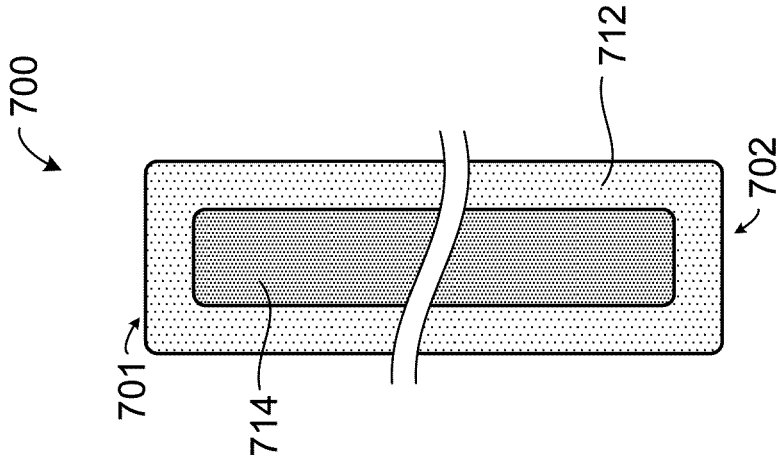


FIG. 8

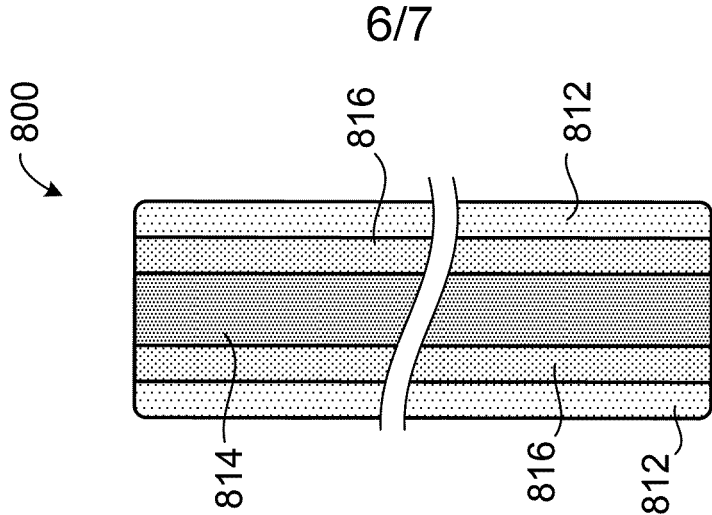


FIG. 9

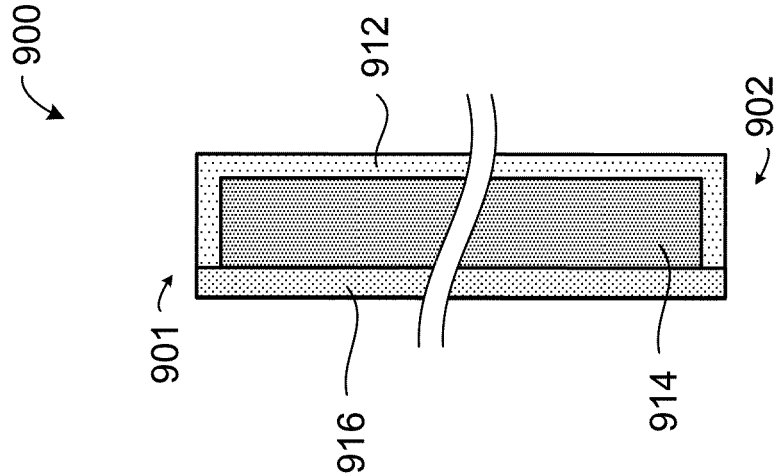


FIG. 10

