(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

COURBEVOIE

(11) **N° de publication :** **3 064 807**

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

(21) **N° d'enregistrement national :** **18 52787**

(51) Int Cl[8] : ***G 21 C 3/344*** *(2017.01)*

(12) DEMANDE DE BREVET D'INVENTION A1

(22) **Date de dépôt :** 30.03.18.

(30) **Priorité :** 31.03.17 US 15475186.

(43) **Date de mise à la disposition du public de la demande :** 05.10.18 Bulletin 18/40.

(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.*

(60) **Références à d'autres documents nationaux apparentés :**

( ) **Demande(s) d'extension :**

(71) **Demandeur(s) :** *WESTINGHOUSE ELECTRIC COMPANY LLC* — US.

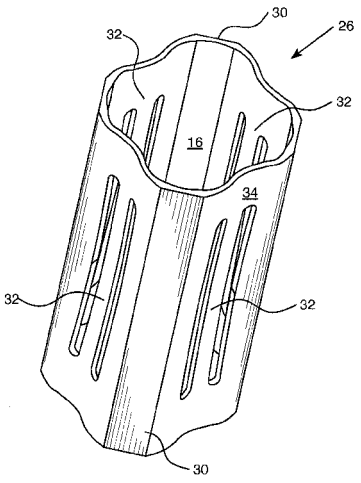
(72) **Inventeur(s) :** CHOI JOONHYUNG, KAROUTAS ZESES et EVANS PAUL M..

(73) **Titulaire(s) :** WESTINGHOUSE ELECTRIC COMPANY LLC.

(74) **Mandataire(s) :** CASALONGA.

(54) GRILLE D'ESPACEMENT A CELLULES TUBULAIRES MUNIES D'AILETTES DE MELANGE.

(57) La présente invention propose une grille d'espacement conçue spécifiquement pour des combustibles tolérant les accidents, utilisant des crayons combustibles avec une gaine en SiC, pour une mise en oeuvre dans des réacteurs à eau sous pression. La conception tubulaire sensiblement carrée de la grille d'espacement permet l'insertion facile de crayons combustibles en SiC pendant le processus de fabrication des assemblages combustibles, en prévoyant une géométrie à contact lisse. Le support coplanaire à orientation verticale permet de faire tourner les crayons combustibles axialement de façon plus libre à l'emplacement de la grille qu'une géométrie classique à six points utilisée dans les conceptions existantes d'assemblages combustibles. Etant donné que le crayon combustible en SiC présente une plus grande rigidité qu'un crayon combustible métallique, la géométrie à six points, qui est constituée de deux ressorts et de deux bossettes, risque d'endommager le crayon combustible en cas de déviation de crayon combustible induite par un événement sismique ou un assemblage combustible courbé. Les cellules (26) de maintien de crayons combustibles sont fixées par leurs angles (30) qui sont partagés entre des cellules (26) de maintien adjacentes.



FR 3 064 807 - A1

Grille d'espacement utilisant des cellules tubulaires avec des ailettes de mélange

La présente invention a pour objet, d'une manière générale, des assemblages combustibles nucléaires et, en particulier, des assemblages combustibles nucléaires qui utilisent des crayons combustibles avec des gaines en céramique.

Un réacteur nucléaire typique comprend une cuve de réacteur renfermant un cœur de réacteur nucléaire. Une enveloppe de cœur sensiblement cylindrique, espacée radialement vers l'intérieur par rapport à la cuve de réacteur, se trouve à l'intérieur de la cuve de réacteur, et dans l'enveloppe, se trouvent un gabarit et un système déflecteur (appelés ci-après « structure déflectrice ») qui permettent la transition de l'enveloppe cylindrique à une périphérie carrée du cœur de réacteur formé par les assemblages combustibles disposés en réseau.

Le cœur de réacteur se compose d'un grand nombre d'assemblages combustibles allongés. Chaque assemblage combustible comprend une pluralité de crayons combustibles contenant la matière fissile qui réagit pour produire de la chaleur. Les crayons combustibles de chaque assemblage combustible sont maintenus dans un réseau espacé organisé, par une pluralité de grilles espacées axialement dans le sens de la longueur des assemblages combustibles et fixées à une pluralité de chaussettes de guidage allongées de barres de commande de l'assemblage combustible.

Pendant le fonctionnement du réacteur, un fluide caloporteur, par exemple de l'eau, est envoyé généralement par une pompe dans la cuve du réacteur, à travers une pluralité de tubulures d'entrée. Le fluide caloporteur s'écoule vers le bas, à travers une zone annulaire définie entre la cuve du réacteur et l'enveloppe du cœur, tourne dans une chambre d'expansion inférieure aménagée dans la cuve du réacteur, puis s'écoule vers le haut à travers les assemblages combustibles du cœur du réacteur et quitte la cuve à travers une

pluralité de tubulures de sortie s'étendant à travers l'enveloppe du cœur. L'énergie thermique que les crayons combustibles transmettent au fluide caloporteur est évacuée du cœur par le fluide. En raison de l'existence de trous dans l'enveloppe du cœur, le fluide caloporteur est également présent entre l'enveloppe et une structure déflectrice et à une pression plus élevée que dans le cœur. Toutefois, la structure déflectrice, conjointement avec l'enveloppe du cœur, sépare le fluide caloporteur des assemblages combustibles, lorsque le fluide s'écoule vers le bas à travers la zone annulaire entre la cuve du réacteur et l'enveloppe du cœur.

D'autre part, la puissance dans le cœur est limitée par la température la plus chaude qui peut être supportée par les composants des assemblages combustibles, sans provoquer une défaillance. Habituellement, cette température limite est la température de la gaine en zirconium du crayon combustible subissant la température la plus chaude dans le cœur. Pour favoriser le mélange latéral du caloporteur dans le cœur afin d'obtenir une température plus uniforme dans le sens radial, les assemblages combustibles utilisent en général des ailettes de mélange qui ont également tendance à générer un mouvement latéral du caloporteur, lequel pourrait à son tour provoquer des vibrations des crayons combustibles, s'il n'est pas contenu. Généralement, des ressorts et des bossettes sont utilisés avec les structures de grilles classiques dans les assemblages combustibles, pour établir un arrangement de contact à six points entre les crayons combustibles et la structure de la grille dans laquelle les ressorts poussent les crayons combustibles contre une paire de bossettes, les ressorts et les bossettes s'étendant à partir de parois opposées des cellules de maintien de crayons combustibles des grilles. Les grilles sont en général espacées axialement en tandem le long des assemblages combustibles, pour maintenir l'espacement latéral entre les crayons combustibles par lequel passe le caloporteur. L'écoulement latéral du caloporteur a pour effet que la répartition radiale des températures dans le cœur est plus uniforme et permet d'obtenir une puissance délivrée plus élevée qu'en l'absence de l'écoulement

transversal du caloporteur ; néanmoins, la puissance délivrée reste limitée par la température maximale à laquelle est soumise la gaine en zirconium des crayons combustibles.

Plus récemment, des gaines en SiC ont été proposées pour les crayons combustibles, car elles sont capables de résister à des températures beaucoup plus élevées que le zirconium. Selon un mode de réalisation, le SiC est formé dans une structure rugueuse pour permettre une certaine souplesse et éviter la rigidité habituelle des céramiques. Compte tenu du fait que les crayons combustibles en SiC ont généralement des surfaces très rugueuses, comme indiqué par la référence 66 dans la figure 3, il est probable que les conceptions des grilles actuelles illustrées dans la figure 1, qui utilisent des systèmes de ressorts/bossettes de grille pour maintenir les crayons combustibles dans l'assemblage combustible, soient endommagées au cours de l'insertion dans le squelette de combustible. Ce risque de détérioration est une des raisons d'inquiétude liées à la conception horizontale des bossettes qui est utilisée dans la plupart des grilles des réacteurs à eau sous pression. Dans le cas de la conception horizontale des bossettes, la surface rugueuse de la gaine en SiC risque d'accrocher sur les bossettes et de les endommager, ou bien elles pourraient endommager la gaine en SiC des crayons combustibles. Par conséquent, la conception actuelle à six points (deux ressorts et quatre bossettes) des grilles n'est peut-être pas appropriée pour les gaines de combustible en SiC. Il est donc souhaitable de disposer d'une nouvelle conception des grilles d'assemblages combustibles, qui soit adaptée spécifiquement au combustible nucléaire à gaine en SiC.

L'invention se rapporte à une grille d'espacement d'assemblage combustible nucléaire, présentant une dimension axiale le long de l'axe vertical d'un assemblage combustible allongé dans lequel elle doit être déployée. La grille d'assemblage combustible nucléaire comprend une pluralité de cellules tubulaires de maintien de crayons combustibles, présentant quatre parois, de section sensiblement carrée. Les parois ont une longueur, dans le sens axial, qui est plus grande que la largeur des parois, et des angles sensiblement plats qui sont reliés, à

l'intérieur de la grille d'espacement, à des cellules adjacentes de maintien de crayons combustibles ou à une cellule de maintien de barre de commande, l'intérieur de chacune des parois portant un ressort vertical. D'autre part, l'invention concerne également une ailette de mélange reliée à l'extérieur d'au moins une des cellules de maintien de crayon combustible, dans une zone située entre des cellules de maintien de crayons combustibles.

Selon un mode de réalisation, chacune des parois de cellule de maintien de crayon combustible est incurvée vers l'intérieur, de préférence autour d'un axe parallèle à l'axe vertical, en direction de l'intérieur de la cellule de maintien de crayon combustible. De préférence, le ressort vertical est formé de deux fentes verticales au centre de chacune des parois des cellules de maintien de crayons combustibles.

D'après encore un autre mode de réalisation, les angles entre des cellules de maintien de crayons combustibles adjacentes reliées font partie intégrante des deux cellules de maintien adjacentes. De préférence, l'épaisseur des angles intégrés n'est pas sensiblement supérieure à 0,018 pouce (0,046 cm).

L'invention sera mieux comprise à l'étude de la description ci-après des modes de réalisation préférés, en référence aux dessins annexés, sur lesquels :

-la FIGURE 1 représente une vue de dessus en plan d'une grille classique d'assemblage combustible d'un réacteur à eau sous pression ;

-la FIGURE 2 représente une vue en élévation, partiellement en coupe, d'un assemblage combustible classique, l'assemblage étant montré sous une forme verticalement raccourcie, et certaines parties ayant été retirées par souci de simplicité ;

-la FIGURE 3 représente une vue en perspective de la gaine en SiC des crayons combustibles ;

-la FIGURE 4 représente une vue schématique en perspective d'une cellule tubulaire de maintien de crayon combustible selon un mode de réalisation de la présente invention ;

-la FIGURE 5 représente une vue schématique en perspective d'une pluralité des cellules tubulaires de maintien de crayons combustibles de la figure 4, qui sont fixées par leurs angles à des parties de la gaine des crayons combustibles maintenus dans les cellules ;

-la FIGURE 6 représente une perspective d'un mode de réalisation d'une configuration d'une ailette de mélange qui peut être utilisée avec la présente invention ;

-la FIGURE 7 représente une vue de côté d'un autre mode de réalisation d'une ailette de mélange qui peut être utilisée avec la présente invention ;

-la FIGURE 8 représente une vue en plan des ailettes de mélange de la figure 7, installées dans la grille tubulaire de la figure 5 ; et

-la FIGURE 9 représente une vue schématique en perspective des ailettes de mélange de la figure 6, installées sur la grille tubulaire de la figure 5.

De nombreuses grilles d'espacement classiques se composent de plaquettes de grille rectilignes qui sont entrecroisées entre elles pour donner une configuration à claire-voie comportant une pluralité de cellules sensiblement carrées, parmi lesquelles un grand nombre maintient des crayons combustibles. Un exemple de ce type de grille 10 classique pour combustible est représenté dans la FIGURE 1. Un réseau parallèle espacé de plaquettes de grille 12 de même longueur est disposé de façon orthogonale à une deuxième pluralité de plaquettes de grille 14 parallèles espacées, de même longueur, et l'ensemble est entouré d'une plaquette de ceinture 18, les plaquettes étant toutes soudées à leurs intersections. Les cellules 16 maintiennent les crayons combustibles, tandis que les cellules 20 maintiennent des tubes guides et un tube d'instrumentation. Compte tenu du fait que les crayons combustibles doivent conserver un espacement ou un pas entre eux, ces plaquettes de grille 12 et 14 rectilignes présentent, aux emplacements qui délimitent les cellules 16 de maintien des crayons combustibles, des ressorts 22 et/ou des bossettes 24 qui sont estampés

dans les côtés des plaquettes 12 et 14 pour faire saillie dans les cellules 16 et entrer en contact avec les crayons combustibles et les maintenir solidement dans leur position. Les éléments estampés sur les plaquettes 12 et 14 des grilles, c'est-à-dire les ressorts 22 et les bossettes 24, doivent faire l'objet d'une étude attentive lors de leur conception, ainsi que d'une fabrication précise pour garantir qu'une force appropriée soit maintenue pour tenir solidement les crayons combustibles, en combinaison avec les autres grilles de l'ensemble de grilles le long de l'assemblage combustible.

La FIGURE 2 montre une vue en élévation d'un assemblage combustible classique représenté sous une forme verticalement raccourcie et désigné d'une manière globale par la référence 40. L'assemblage combustible 40 est du type utilisé dans un réacteur à eau sous pression et comprend fondamentalement une structure d'extrémité inférieure ou embout inférieur 42, destiné à porter l'assemblage combustible sur une plaque de cœur inférieure (non représentée) dans la région du cœur du réacteur, et un certain nombre de chaussettes ou tubes de guidage 44 qui s'étendent dans le sens longitudinal, vers le haut à partir de l'embout inférieur 42. L'assemblage 40 comprend en outre une pluralité des grilles 10 transversales représentées dans la figure 1. La présente invention remplace les cellules 16 de maintien de crayons combustibles, montrées dans la figure 1, par les cellules tubulaires 26 à crayons combustibles, représentées dans les figures 4 et 5. Les grilles 10 sont espacées axialement le long des chaussettes de guidage 44 et supportées par celles-ci. Les grilles 10, qui sont supportées par les chaussettes de guidage 20 de barres de commande, dans un agencement espacé en tandem, et accouplées par leurs extrémités inférieures à l'embout inférieur 42, sont désignées d'une manière générale comme la structure squelette de l'assemblage combustible. L'assemblage 40 comprend également une pluralité de crayons combustibles 36 allongés qui sont espacés dans le sens transversal et supportés par les grilles 10 dans un réseau organisé. D'autre part, l'assemblage 40 comporte un tube d'instrumentation 46, situé en son centre, et une structure d'extrémité supérieure ou embout

supérieur 48 qui est fixé aux extrémités supérieures des chaussettes de guidage 44. Avec cette disposition des éléments, l'assemblage combustible 40 forme une unité monobloc qui peut être manipulée de façon appropriée, sans endommager l'assemblage des éléments.

Comme évoqué plus haut, les crayons combustibles 36 et leur réseau dans l'assemblage 40 sont maintenus dans une disposition espacée les uns par rapport aux autres par les grilles 10 espacées sur la longueur de l'assemblage combustible. Chaque crayon combustible 36 comprend des pastilles 50 de combustible nucléaire, et les extrémités opposées des crayons 36 sont entourées de bouchons d'extrémité supérieurs et inférieurs 52 et 54, afin de sceller hermétiquement les crayons. Généralement, un ressort de chambre d'expansion 56 est disposé entre le bouchon d'extrémité supérieur 52 et les pastilles 50 pour les maintenir empilées dans le crayon 36. Les pastilles 50 de combustible se composent de matière fissile et sont responsables de la génération de la puissance réactive du réacteur à eau sous pression (PWR). Un modérateur/caloporteur liquide, par exemple de l'eau ou de l'eau contenant du bore, est pompé vers le haut, à travers les assemblages combustibles du cœur, en vue d'extraire la chaleur générée par eux, pour produire du travail utile.

Pour contrôler le processus de fission, un certain nombre de barres de commande 58 peuvent être déplacées en un mouvement de va-et-vient dans les chaussettes de guidage 44 situées à des emplacements prédéterminés dans l'assemblage combustible 40. Plus précisément, un mécanisme 60 de commande de grappe de barres est associé à l'embout supérieur 48 et comprend un élément 62 cylindrique taraudé qui est doté d'une pluralité de pattes ou bras 64 s'étendant radialement, de sorte que le mécanisme de commande 60 peut être actionné pour déplacer les barres de commande 58 verticalement dans les chaussettes de guidage 44 et contrôler ainsi le processus de fission dans l'assemblage combustible 40, d'une manière bien connue.

Comme le montrent les figures 4 et 5, un mode de réalisation préféré de la grille d'espacement 10 de la présente invention comprend une pluralité de cellules tubulaires 26 avec des ailettes de mélange 28

(montrées dans les figures 7, 8 et 9), les cellules étant fixées entre elles par leurs angles 30 qui sont de préférence formés d'une bande verticale plate de la plaquette entourant les cellules 16 de maintien de crayons combustibles. La cellule tubulaire 26 montrée dans la figure 3 présente quatre ressorts 32 verticaux, à savoir un au centre de chaque paroi de cellule 34, pour éviter des détériorations des ressorts pendant l'insertion des crayons combustibles. Toutefois, les ressorts 32 coplanaires n'empêchent pas la rotation locale des crayons combustibles qui risque de provoquer la rupture des crayons combustibles en raison de la flexion des crayons. Dans un mode de réalisation, la surface des ressorts verticaux est revêtue d'un matériau dur qui est au moins aussi dur ou plus dur que la gaine en SiC, par exemple le revêtement de type diamant commercialisé par Techmetals à Dayton Ohio, ou un autre matériau similaire, pour empêcher que la gaine en SiC ne provoque l'usure du ressort. Ce revêtement peut être appliqué par dépôt physique en phase vapeur ou un autre procédé de revêtement similaire. De préférence, chaque paroi 34 des cellules 16 de maintien de crayons combustibles est incurvée vers l'intérieur, en direction du crayon combustible 36 correspondant, la courbure étant centrée autour d'un axe vertical s'étendant le long du ressort 32 vertical. Les cellules tubulaires 26 de maintien de crayons combustibles prennent la place des cellules de maintien classiques à six points de contact, et à d'autres égards, la grille de support tubulaire, par exemple aux emplacements de support de barres de commande, peut prendre la forme d'une grille traditionnelle ou reproduire des cellules tubulaires de maintien de crayons combustibles, avec ou sans les ressorts verticaux.

A titre d'exemple, un modèle typique d'ailette de mélange fendue peut être fixé en utilisant la géométrie proposée dans la figure 4. L'ailette se situera à l'endroit du sous-canal 68 entre des crayons combustibles, c'est-à-dire dans la zone ouverte entre les cellules tubulaires 26 de maintien de crayons combustibles, comme montré dans les figures 7 et 8. Un chanfrein peut être formé sous l'ailette pour réduire la baisse de pression de la grille. L'ailette de mélange de la

grille sera intégrée d'une seule pièce à la cellule tubulaire. D'autre part, des modèles perfectionnés d'ailettes de mélange, par exemple des ailettes à angles multiples, des ailettes non planes (convexes ou concaves), ou des ailettes à turbulence (figure 7), peuvent être réalisés par fabrication additive, sous forme de structure de corps monobloc. En introduisant la fabrication additive (impression 3D), la grille d'espacement proposée peut être imprimée sans processus d'assemblage ou de soudage supplémentaires. De plus, il n'y aura qu'une seule paroi mince (0,018 pouce (0,046 cm)) entre les cellules, de sorte que le coefficient de perte de pression devrait être inférieur à celui d'une grille de conception classique.

Par conséquent, la présente invention propose une conception de cellules tubulaires qui permet une insertion uniforme de crayons combustibles de type SiC, tout en obtenant une faible baisse de pression par rapport aux types de grilles existantes. Une telle conception de grille d'espacement réalisée par fabrication additive permet 1) la mise en œuvre d'éléments de mélange hautement détaillés et néanmoins monoblocs qui améliorent la performance thermique et hydraulique, 2) la réduction à un minimum de la baisse de pression globale (paroi unique), et 3) l'augmentation de la résistance globale de la grille en termes sismiques.

Bien que des modes de réalisation spécifiques de l'invention aient été décrits en détail, l'homme du métier comprendra que diverses modifications et variantes de ces détails peuvent être apportées dans le cadre de l'ensemble des enseignements de l'exposé. En conséquence, les modes de réalisation particuliers divulgués ici sont destinés à servir d'illustration et ne doivent pas être interprétés comme limitant la portée de l'invention, laquelle doit être considérée dans toute l'étendue des revendications annexées et de toutes leurs équivalences.

Nomenclature des pièces

10	Grille
12	Plaquettes de grille
14	Plaquettes de grille orthogonales
16	Cellules maintenant des crayons combustibles
18	Plaquette ceinture de grille
20	Cellules de maintien de tubes guides
22	Ressorts
24	Bossettes
26	Cellules tubulaires pour crayons combustibles
28	Ailettes de mélange
30	Angles des cellules tubulaires
32	Ressorts verticaux
34	Paroi de cellule à crayon combustible
36	Crayons combustibles
38	Sous-canaux
40	Assemblage combustible
42	Embout inférieur
44	Tubes chaussettes de barres de commande
46	Chaussette d'instrumentation
48	Embout supérieur
50	Pastilles de combustible
52	Bouchon d'extrémité supérieur
54	Bouchon d'extrémité inférieur
56	Ressort de chambre d'expansion
58	Barres de commande
60	Mécanisme de grappe de barres de commande
62	Moyeu d'assemblage de barres de commande
64	Pattes
66	Gaine en SiC
68	Sous-canal

REVENDICATIONS

1. Grille d'espacement (10) d'assemblage combustible nucléaire, présentant une dimension axiale le long d'un axe vertical d'un assemblage combustible (40) allongé dans lequel elle doit être déployée, la grille d'assemblage combustible nucléaire comprenant :

une pluralité de cellules tubulaires (16) de maintien de crayons combustibles, présentant quatre parois (34), de section sensiblement carrée, ayant une longueur, dans le sens axial, qui est plus grande que la largeur des parois, et des angles (30) sensiblement plats qui sont reliés, à l'intérieur de la grille d'espacement, à des cellules (16) adjacentes de maintien de crayons combustibles ou à une cellule (20) de maintien de barre de commande, l'intérieur de chacune des parois (34) des cellules de maintien de crayons combustibles portant un ressort vertical (32) ; et

une ailette de mélange (28) reliée à l'extérieur d'au moins une des cellules (16) de maintien de crayon combustible, dans une zone (38) située entre des cellules de maintien de crayons combustibles,

le ressort vertical (32) étant revêtu d'un matériau dur qui est aussi dur ou plus dur que la gaine en SiC d'un crayon combustible (36).

2. Grille d'espacement (10) d'assemblage combustible nucléaire selon la revendication 1, caractérisée en ce que chacune des parois (34) de cellule de maintien de crayon combustible est incurvée vers l'intérieur, en direction de l'intérieur de la cellule (16) de maintien de crayon combustible.

3. Grille d'espacement (10) d'assemblage combustible nucléaire selon la revendication 2, caractérisée en ce que les parois (34) de cellule de maintien de crayon combustible sont incurvées de façon symétrique autour d'un axe parallèle à l'axe vertical.

4. Grille d'espacement (10) d'assemblage combustible nucléaire selon la revendication 1, caractérisée en ce que le ressort vertical (32) est formé de deux fentes verticales dans une partie

centrale de chacune des parois (34) des cellules (16) de maintien de crayons combustibles.

5. Grille d'espacement (10) d'assemblage combustible nucléaire selon la revendication 1, caractérisée en ce que les angles (30) entre des cellules (16) de maintien de crayons combustibles adjacentes reliées font partie intégrante des deux cellules de maintien adjacentes.

6. Grille d'espacement (10) d'assemblage combustible nucléaire selon la revendication 5, caractérisée en ce que l'épaisseur des angles (30) intégrés n'est pas sensiblement supérieure à 0,018 pouce (0,046 cm).

7. Grille d'espacement (10) d'assemblage combustible nucléaire selon la revendication 1, caractérisée en ce que le matériau dur est un revêtement de type diamant.

8. Assemblage combustible nucléaire (40) allongé comportant une grille d'espacement (10) présentant une dimension axiale le long d'un axe vertical de l'assemblage combustible allongé dans lequel elle est déployée, la grille d'assemblage combustible nucléaire allongé comprenant :

une pluralité de cellules tubulaires (16) de maintien de crayons combustibles, présentant quatre parois (34), de section sensiblement carrée, ayant une longueur, dans le sens axial, qui est plus grande que la largeur des parois, et des angles (30) sensiblement plats qui sont reliés, à l'intérieur de la grille d'espacement, à des cellules (16) adjacentes de maintien de crayons combustibles ou à une cellule (20) de maintien de barre de commande, l'intérieur de chacune des parois (34) des cellules de maintien de crayons combustibles portant un ressort vertical (32) ; et

une ailette de mélange (28) reliée à l'extérieur d'au moins une des cellules (16) de maintien de crayons combustibles, dans une zone (38) située entre des cellules de maintien de crayons combustibles,

le ressort vertical (32) étant revêtu d'un matériau dur qui est aussi dur ou plus dur que la gaine en SiC d'un crayon combustible (36).

9. Assemblage combustible nucléaire (40) selon la revendication 8, caractérisé en ce que chacune des parois (34) de cellule de maintien de crayon combustible est incurvée vers l'intérieur, en direction de l'intérieur de la cellule (16) de maintien de crayon combustible.

10. Assemblage combustible nucléaire (40) selon la revendication 9, caractérisé en ce que les parois (34) de cellule de maintien de crayon combustible sont incurvées de façon symétrique autour d'un axe parallèle à l'axe vertical.

11. Assemblage combustible nucléaire (40) selon la revendication 8, caractérisé en ce que le ressort vertical (32) est formé de deux fentes verticales dans une partie centrale de chacune des parois (34) des cellules (16) de maintien de crayons combustibles.

12. Assemblage combustible nucléaire (40) selon la revendication 8, caractérisé en ce que les angles (30) entre des cellules (16) de maintien de crayons combustibles adjacentes reliées font partie intégrante des deux cellules de maintien adjacentes.

13. Assemblage combustible nucléaire (40) selon la revendication 12, caractérisé en ce que l'épaisseur des angles (30) intégrés n'est pas sensiblement supérieure à 0,018 pouce (0,046 cm).

14. Assemblage combustible nucléaire (40) selon la revendication 8, caractérisé en ce que le matériau dur est un revêtement de type diamant.

15. Grille d'espacement d'assemblage combustible nucléaire, comprenant :

une pluralité de cellules de maintien de crayons combustibles ;

un ressort porté par une paroi de chacune de la pluralité de cellules de maintien de crayons combustibles, qui s'étend au moins en partie dans la cellule de maintien de crayon combustible, le ressort ayant une surface de contact qui est en contact avec un crayon combustible lorsque ce dernier est chargé dans la cellule de maintien de crayon combustible ; et

un revêtement en matériau dur sur la surface de contact, qui est aussi dur ou plus dur qu'une gaine sur le crayon combustible.

16. Grille d'espacement d'assemblage combustible nucléaire selon la revendication 15, caractérisée en ce que le matériau dur est un revêtement de type diamant.

17. Assemblage combustible nucléaire présentant une grille d'espacement comprenant :

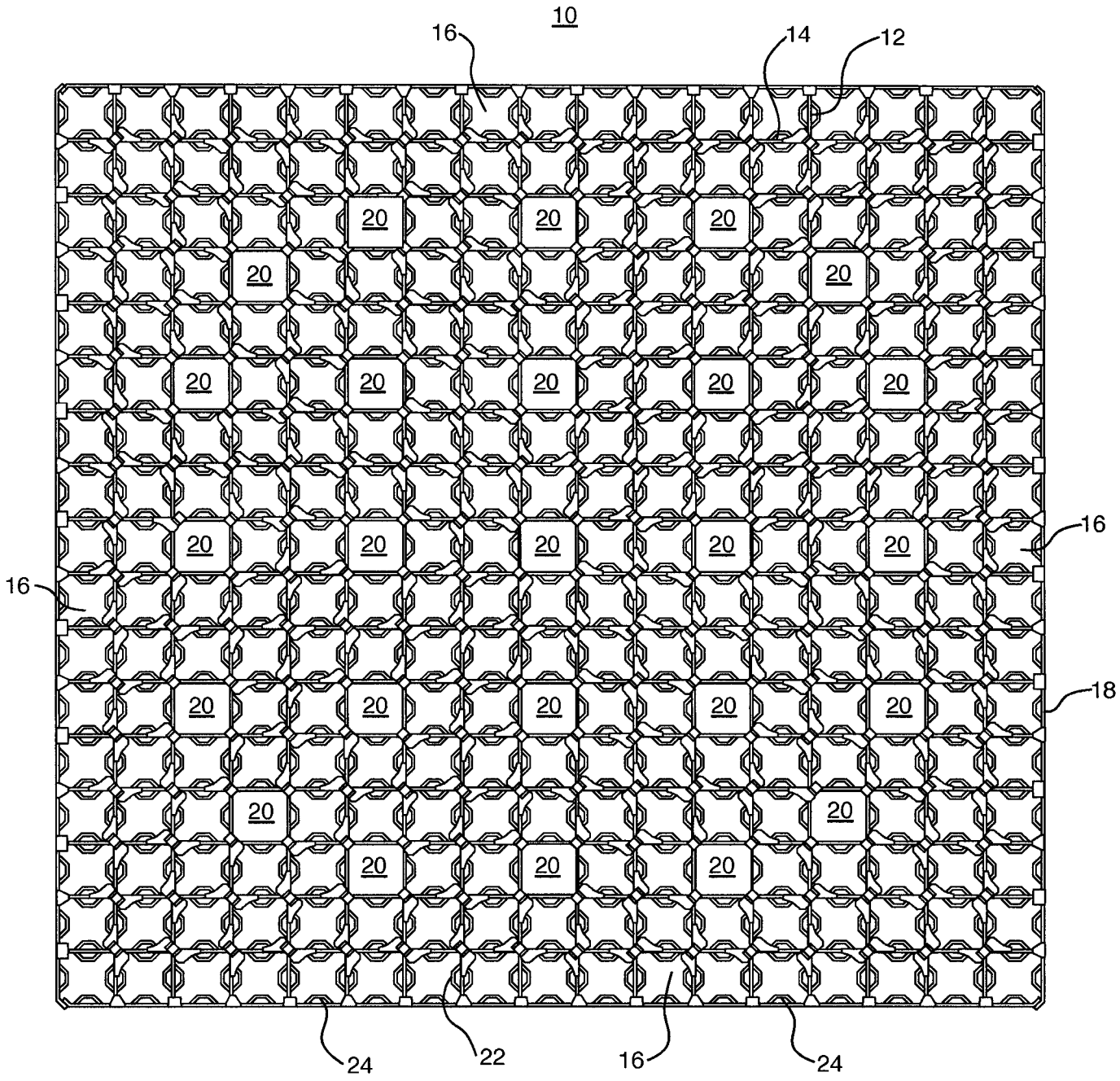
une pluralité de cellules de maintien de crayons combustibles ;

un ressort porté par une paroi de chacune de la pluralité de cellules de maintien de crayons combustibles, qui s'étend au moins en partie dans la cellule de maintien de crayon combustible, le ressort ayant une surface de contact qui est en contact avec un crayon combustible lorsque ce dernier est chargé dans la cellule de maintien de crayon combustible ; et

un revêtement en matériau dur sur la surface de contact, qui est aussi dur ou plus dur qu'une gaine sur le crayon combustible.

18. Assemblage combustible nucléaire selon la revendication 17, caractérisé en ce que le matériau dur est un revêtement de type diamant.

FIG. 1
ART ANTERIEUR



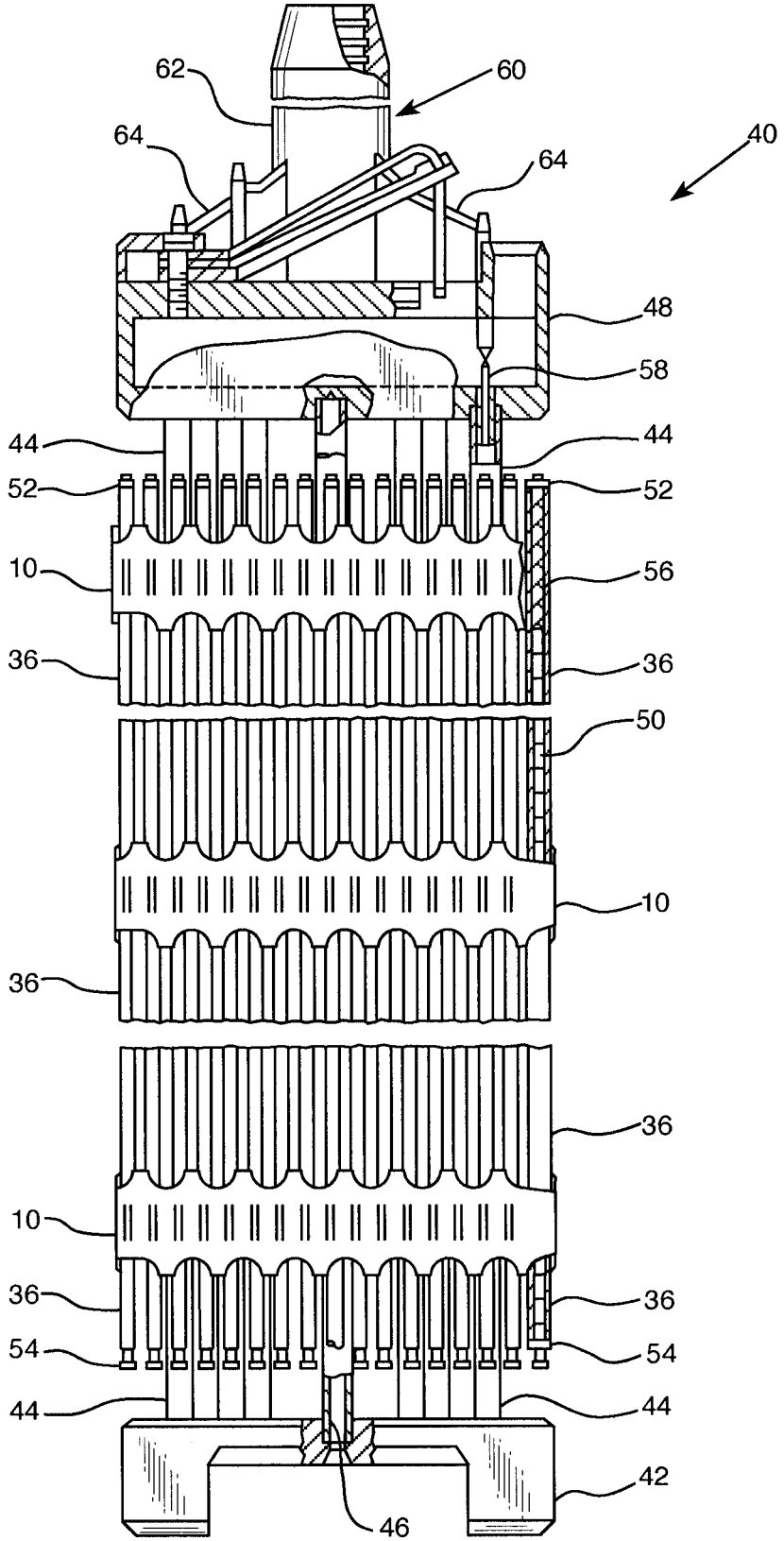


FIG. 2
ART ANTERIEUR

FIG. 3

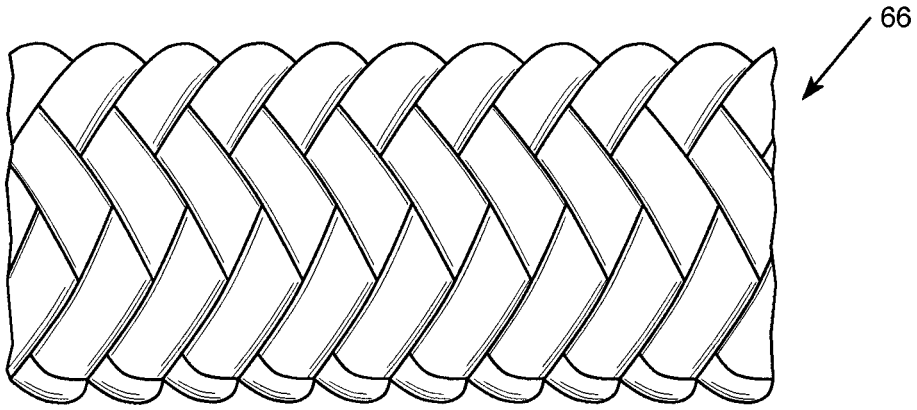


FIG. 4

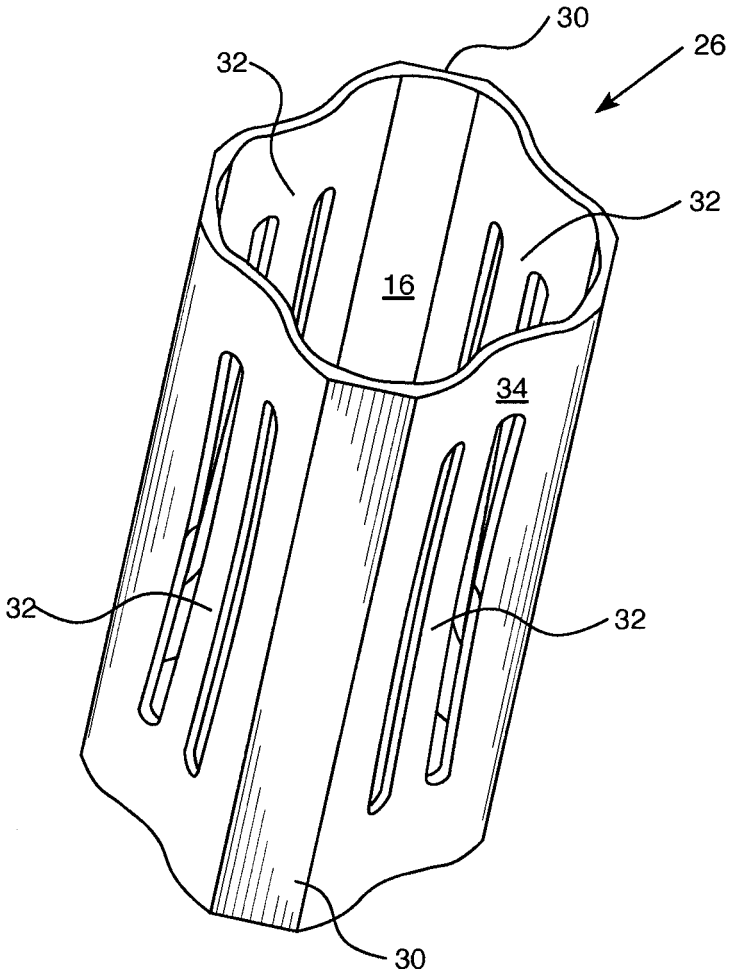


FIG. 5

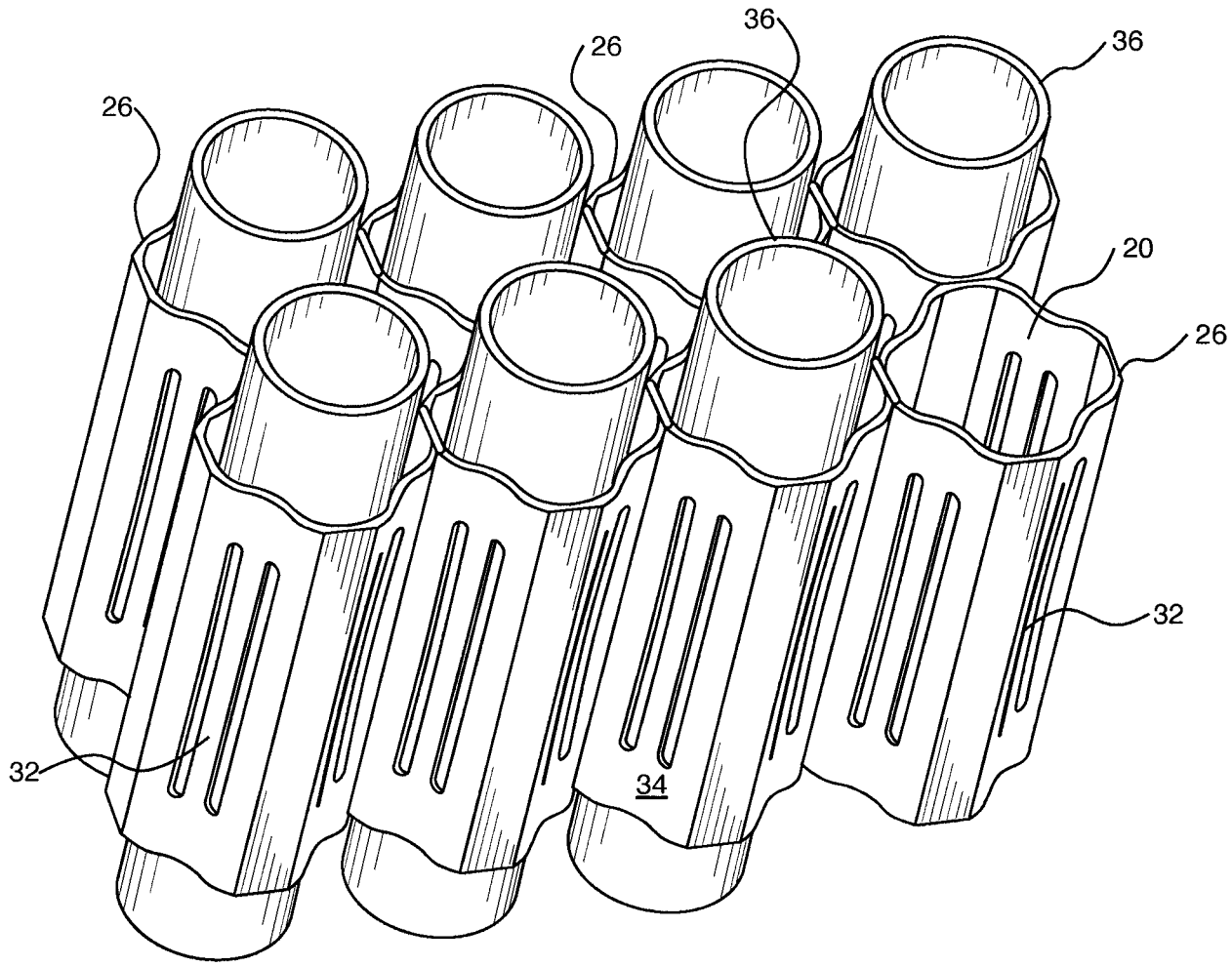


FIG. 6

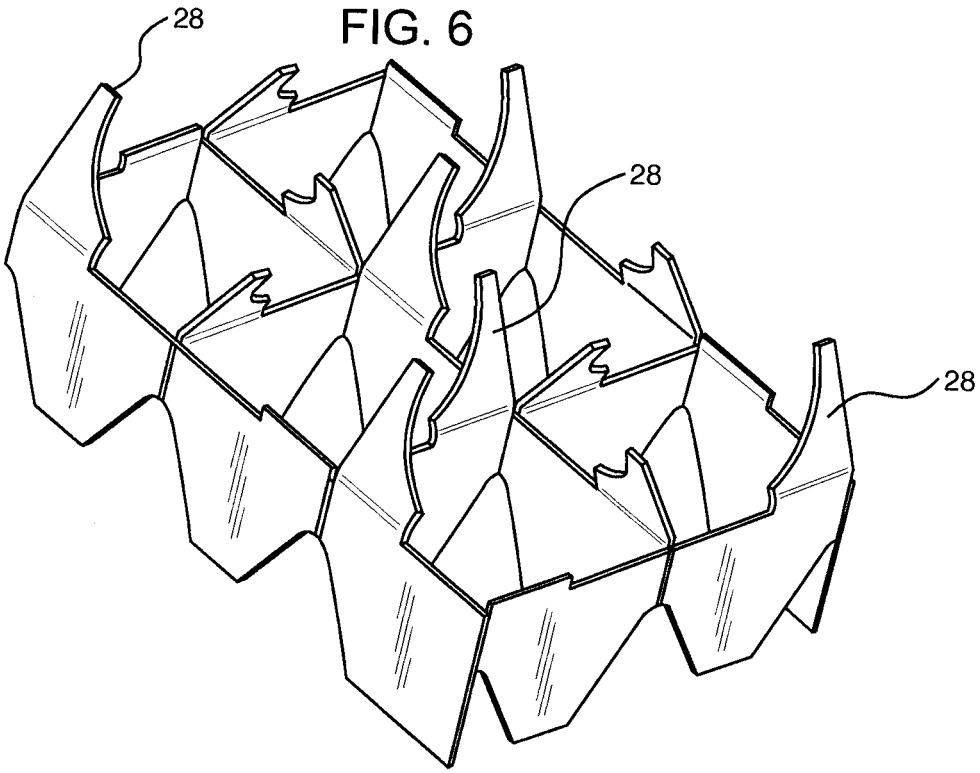


FIG. 7

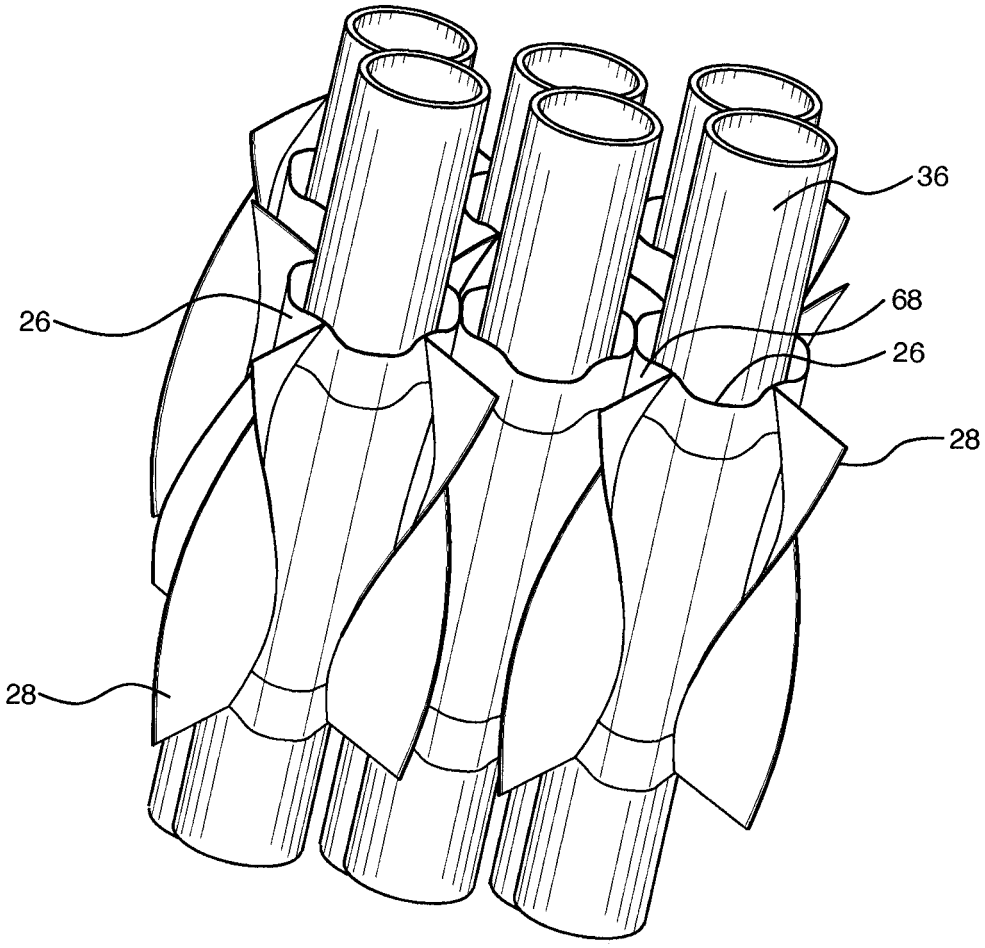


FIG. 8

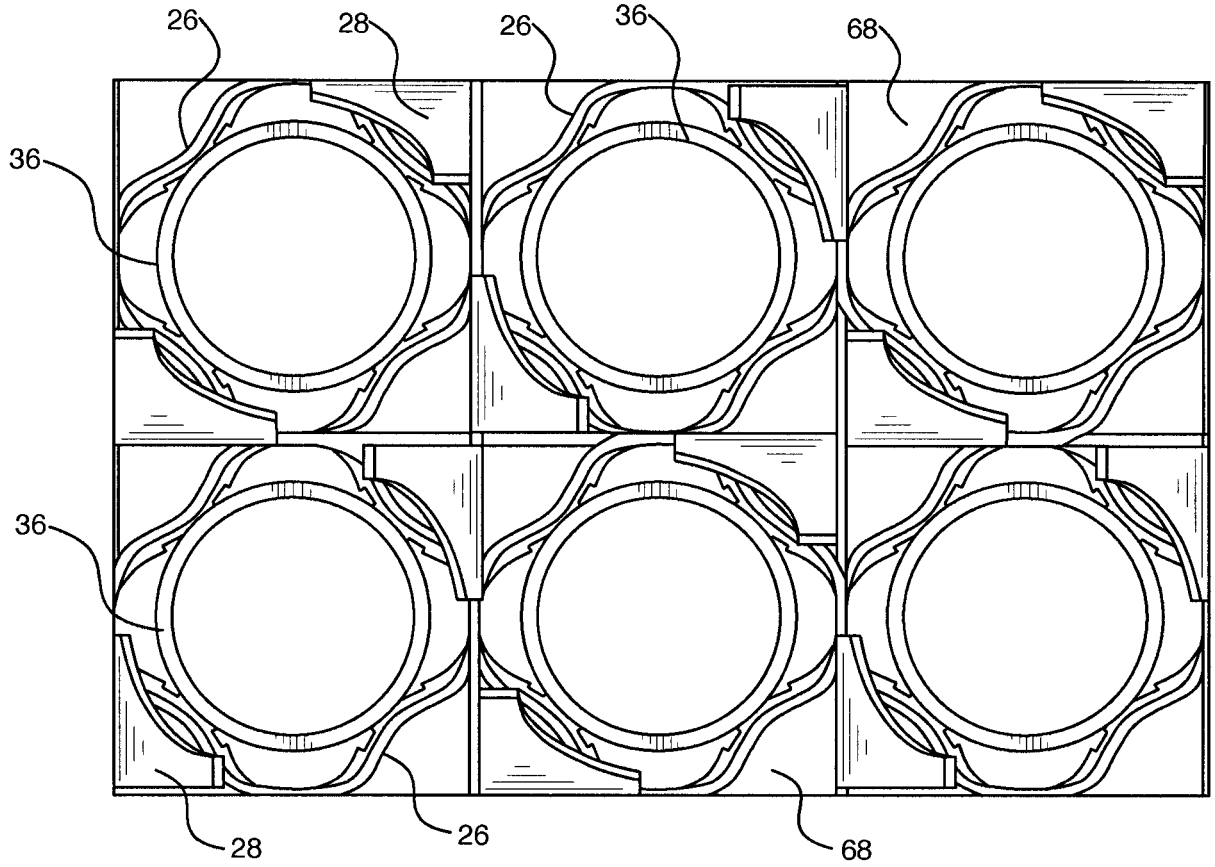


FIG. 9

