



República Federativa do Brasil
Ministério do Desenvolvimento, Indústria
e do Comércio Exterior
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(21) **PI0612277-9 A2**

(22) Data de Depósito: 21/06/2006
(43) Data da Publicação: 04/01/2011
(RPI 2087)



(51) *Int.Cl.:*
B29C 70/24
B29C 70/48
F16C 7/00
D03D 25/00

(54) Título: **ESTRUTURA FIBROSA DE REFORÇO
TECIDA EM UMA ÚNICA PEÇA PARA A
FABRICAÇÃO DE PEÇA DE MATERIAL COMPÓSITO,
E, PEÇA DE MATERIAL COMPÓSITO**

(30) Prioridade Unionista: 24/06/2005 FR 0506441

(73) Titular(es): Snecma , Snecma Propulsion Solide

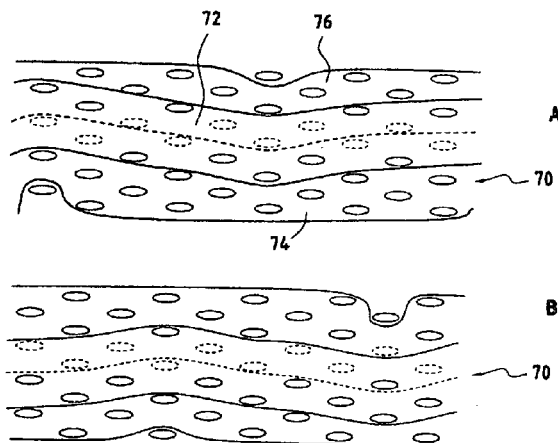
(72) Inventor(es): Bruno Dambrine, Dominique Coupe, Eric
Bouillon, François Charleux, Jean Noel Mahieu

(74) Procurador(es): Momsen, Leonardos & CIA.

(86) Pedido Internacional: PCT FR2006050617 de 21/06/2006

(87) Publicação Internacional: WO 2006/136755 de 28/12/2006

(57) **Resumo:** ESTRUTURA FIBROSA DE REFORÇO TECIDA EM UMA ÚNICA PEÇA PARA A FABRICAÇÃO DE PEÇA DE MATERIAL COMPÓSITO, E, PEÇA DE MATERIAL COMIPOSITO Uma estrutura fibrosa de reforço tecida em uma única peça para a fabricação de peça de material compósito, tendo uma parte interna, ou núcleo (72), e uma parte adjacente a uma superfície exterior da estrutura, ou pele (74, 76), é formada por uma tecelagem tridimensional com núcleo com, pelo menos, uma armação escolhida dentre uma armação de tipo interlock e uma armação de múltiplas camadas e por uma tecelagem em pele com uma armação tipo cetim diferente da armação no núcleo, a tecelagem na pele sendo de tipo de múltiplas camadas ou de tipo bidimensional.



“ESTRUTURA FIBROSA DE REFORÇO TECIDA EM UMA ÚNICA PEÇA PARA A FABRICAÇÃO DE PEÇA DE MATERIAL COMPÓSITO, E, PEÇA DE MATERIAL COMPÓSITO”

Antecedentes de Invenção

5 A invenção refere-se à realização de peças de material compósito e mais particularmente à realização de estruturas fibrosas de reforço para tais peças.

Um domínio de aplicação da invenção é a realização de peças de estrutura de material compósito com reforço fibroso e matriz de resina.

10 Tais peças são usadas em domínios muito numerosos, notadamente no domínio aeronáutico. Um exemplo particular é a realização de pás para turbomáquinas, notadamente as pás de turbinas. A densificação da estrutura fibrosa de reforço pela matriz de resina é realizada por qualquer meio conhecido, por exemplo por moldagem com transferência de resina (processo

15 RTM para "Resin Transfer Moulding").

Um outro domínio de aplicação da invenção é a realização de peças de material compósito termo-estrutural, isto é, em um material tendo propriedades mecânicas que o tornam apto a constituir elementos de estrutura e tendo a capacidade de conservar estas propriedades em temperaturas

20 elevadas. Os materiais compósitos termo-estruturais são tipicamente os materiais compósitos carbono/ carbono (C/C) tendo um reforço fibroso em carbono densificado por uma matriz de carbono, e os materiais compósitos com matriz cerâmica (CMC) tendo um reforço fibroso refratário (carbono ou cerâmico) densificado por uma matriz cerâmica. As peças de material

25 compósito termo-estrutural são usadas notadamente nos domínios aeronáutico e espacial. A densificação da estrutura fibrosa de reforço pelo material constitutivo da matriz pode ser realizada por infiltração química em fase gasosa (Ou CVI para "Chemical Vapor Infiltration") ou por via líquida, como é bem conhecido. A densificação por via líquida consiste em impregnar a

estrutura fibrosa por uma composição líquida contendo um precursor do material constitutivo da matriz, tipicamente uma resina, a transformação do precursor sendo realizada por tratamento térmico.

5 Para as peças de material compósito apresentando uma certa espessura, conhece-se realizar a estrutura fibrosa de reforço em várias camadas superpostas ligadas entre si para evitar uma descoesão entre as camadas, e particularmente realizar uma estrutura de reforço por tecelagem tri-dimensional.

10 Assim, foi proposto, no documento EP 1 526 285, realizar uma estrutura de reforço, ou preforma, para uma pá de turbomáquina, particularmente uma pá de turbina, por tecelagem tri-dimensional de tipo *interlock* com evolução da armação de tecelagem em direção longitudinal entre o pé e a lâmina da pá.

15 Diversos aspectos devem ser levados em consideração para a realização de estruturas fibrosas de reforço para as peças de material compósito.

20 Assim, no caso de peças de material compósito devendo apresentar um estado de superfície liso, é desejável evitar que a estrutura fibrosa de reforço apresente irregularidades de superfície importantes que necessitem operações suplementares, como uma raspagem da superfície, por exemplo após um primeiro estado de densificação, ou estado de consolidação, para eliminar tais irregularidades, ou um acréscimo em superfície de um estado bidimensional, por exemplo um estrato de tecido, antes do fim da densificação.

25 Por outro lado, no caso de peças de material compósito de matriz de resina, a presença de irregularidades de superfície notáveis se traduz pela formação de agrupamentos localizados de resina que prejudiquem as propriedades mecânicas das peças.

Assim, no caso onde a peça de material compósito é obtida por

densificação da estrutura fibrosa de reforço por infiltração química em fase gasosa (ou CVI, para "Chemical Vapor Infiltration"), é desejável dispor de um acesso facilitado à fase gasosa até o núcleo da estrutura fibrosa e fazer de modo que esta apresente uma porosidade relativamente uniforme para realizar
5 uma densificação tão pouco não homogênea como possível. Com efeito, no caso de dificuldades de acesso ao seio da porosidade da estrutura fibrosa, ou em presença de poros de tamanhos muito diferentes, os poros menores senso obturados mais rapidamente, um forte gradiente de densificação é inevitável que afeta as propriedades do material compósito.

10 Por fim, no caso de peças de material compósito apresentando partes finas, como é o caso por exemplo dos bordos de fuga de lâminas das pás para turbo-máquinas, é desejável conservar uma estrutura tri-dimensional até nestas partes finas conservando, ao mesmo tempo, uma continuidade estrutural com as partes mais espessas, a fim de conferir às peças
15 propriedades mecânicas esperadas.

Objeto e sumário da invenção

A invenção visa a propor uma estrutura fibrosa de reforço tecida em uma única peça destinada à fabricação de peça de material compósito e capaz de responder a pelo menos algumas destas limitações.

20 Este fim é atingido graças a uma estrutura fibrosa de reforço compreendendo uma parte interna, ou núcleo, e uma parte adjacente a uma superfície exterior da estrutura, ou pele, e a estrutura fibrosa sendo formada por uma tecelagem tridimensional com núcleo com, pelo menos, uma armação escolhida dentre uma armação de tipo *interlock* e uma armação de
25 múltiplas camadas e por uma tecelagem em pele com uma armação do tipo cetim.

Em todos os casos, a textura fibrosa é tecida em uma única peça, todas as camadas sendo ligadas entre si pela tecelagem tri-dimensional com núcleo sozinho ou em combinação com um tecelagem de múltiplas

camadas em pele.

De acordo com as propriedades desejadas da estrutura fibrosa, diferentes combinações de armações entre as partes do núcleo e de pele podem ser previstas.

5 Assim, a estrutura fibrosa pode ser formada por uma tecelagem tri-dimensional com pelo menos uma armação de tipo *interlock* com núcleo e uma tecelagem com uma armação de tipo de tela, cetim ou sarja em pele.

10 Quando a estrutura fibrosa é densificada por CVI para obter uma peça de material compósito, uma armação de tipo *interlock* com núcleo permite dispor de um acesso mais facilitado à fase gasosa no núcleo da preforma.

15 A tecelagem em pele com uma armação de tipo tela, cetim ou sarja permite limitar as irregularidades de superfície. No caso de uma densificação por resina, evita-se a formação de agrupamentos de resina em superfície como se pode observar com uma armação de tipo *interlock* como a do documento citado EP 1 526 285, as irregularidades de superfície sendo relativamente grandes. A tecelagem em pele pode ser uma tecelagem bidimensional, em cujo caso a tecelagem com uma armação de tipo *interlock*
20 assegura a ligação entre as camadas entre si até na parte de pele, ou uma tecelagem de múltiplas camadas.

De acordo com formas de realização, a estrutura fibrosa pode ser formada por uma tecelagem de múltiplas camadas com núcleo e uma tecelagem de múltiplas camadas em pele diferente da armação com núcleo, ou
25 ser formada por uma tecelagem com uma armação de múltiplas camadas com núcleo e uma tecelagem bidimensional em pele.

Em uma outra forma de realização particular, a parte de núcleo pode compreender uma primeira parte formada por tecelagem com uma primeira armação e pelo menos uma segunda parte situada entre a primeira

parte e a pele, , a segunda parte sendo formada por tecelagem tridimensional com uma segunda armação diferente da primeira.

5 A primeira e a segunda armações podem ser armações de tipo *interlock* ou armações de tecelagem de múltiplas camadas. Neste último caso, a primeira e a segunda armações podem ser por exemplo armações de múltiplos cetins de passos diferentes. Também é possível que uma das primeira e segunda armações seja uma armação de tipo *interlock* e a outra uma armação de tecelagem de múltiplas camadas.

10 A escolha do modo de tecelagem tridimensional em núcleo e a tecelagem em pele poderá ser determinada por propriedades desejadas em termos de taxas de fibras na textura (porcentagem do volume aparente da textura ocupada efetivamente pelas fibras), a permeabilidade das camadas, a deformabilidade da estrutura fibrosa e/ou do comportamento mecânico no plano das camadas ou perpendicularmente às mesmas.

15 Assim, pode-se fazer variar uma pelo menos das contexturas em urdume e em trama entre o núcleo e a pele, por exemplo diminuindo a contextura entre o núcleo e a pele para possibilitar um acesso mais facilitado à fase gasosa através da pele e em direção ao núcleo quando a estrutura fibrosa deve ser densificada por CVI.

20 Pode-se também fazer variar o título de fios entre o núcleo e a pele, por exemplo para respeitar os limites desejados para o valor da relação das taxas de fibras entre o urdume e a trama e a taxa de fibras global.

25 De acordo com uma particularidade, a estrutura fibrosa tem, pelo menos, uma parte de espessura reduzida com duas camadas de fios de trama e formada por uma tecelagem tri-dimensional com uma armação de tipo *interlock* ligando as duas camadas de trama e por uma tecelagem bidimensional com armação tipo cetim ligando os fios de cada camada de trama.

De acordo com uma outra particularidade, a estrutura fibrosa

tem uma parte de espessura reduzida com três camadas de fios de trama e formada por uma tecelagem tri-dimensional com uma armação de tipo *interlock* ligando as três camadas de trama, e a camada de fios de trama central é, por outro lado, ligada a cada uma das duas outras por tecelagem de múltiplas camadas, com armação do tipo cetim.

De acordo com ainda com outra particularidade, a estrutura fibrosa tem uma parte de transição entre uma primeira parte e uma segunda parte tendo uma camada completa de fios de trama suplementar em relação à primeira parte, a parte de transição tendo uma camada parcial suplementar de fios de trama em relação à primeira parte. Os fios de trama da camada parcial suplementar podem ser dispostos entre duas camadas completas de fios de trama e ligados entre si por uma tecelagem com uma armação de tipo *interlock*.

Com estas particularidades, é possível dispor de uma continuidade da tecelagem tri-dimensional até nas partes muito finas de uma estrutura fibrosa, como por exemplo partes de preformas fibrosas de lâminas de turbo-máquina correspondendo aos bordos de fuga das pás.

Pode-se, por outro lado, formar partes diferentes da estrutura fibrosa com fios de naturezas químicas diferentes a fim de conferir aos mesmos propriedades particulares desejadas, notadamente de resistência ao desgaste e à oxidação.

A invenção visa também uma peça de material compósito tendo uma estrutura fibrosa de reforço de material como definido acima densificado por uma matriz, quer seja uma peça de material compósito de matriz de resina, particularmente uma pá de turbo-máquina, ou uma peça de material compósito termo-estrutural.

Breve Descrição dos Desenhos

A invenção será melhor compreendida à leitura da descrição feita abaixo com referência aos desenhos anexos em que

As figuras 1 a 3 ilustram um plano de armações de tecelagem tri-dimensional de tipo *interlock* e múltiplas camadas,

As figuras 4A a 4H representam diferentes planos sucessivos de armação de uma estrutura fibrosa combinando uma armação de tipo *interlock* com núcleo e uma armação de tela em pele;

As figuras 5A a 5H representam diferentes planos sucessivos de armação de uma estrutura fibrosa de acordo com um forma de realização da invenção combinando uma armação de tipo *interlock* com núcleo e uma armação de cetim em pele;

As figuras 6A a 6J e 7A a 7H representam parcialmente os diferentes planos sucessivos de armação de uma estrutura fibrosa de acordo com duas formas de realização da invenção combinando uma armação de tipo *interlock* com núcleo e uma armação de múltiplo cetim em pele;

As figuras 8A e 8J representam parcialmente os diferentes planos sucessivos de armação de uma estrutura fibrosa de acordo com uma outra forma de realização da invenção combinando uma armação de tipo *interlock* com núcleo e uma armação de cetim em pele;

As figuras 9A a 9T e 10AA a 10BN representam parcialmente os diferentes planos sucessivos de armação de uma estrutura fibrosa de acordo com duas outras formas de realização da invenção combinando diferentes armações de tipo *interlock* com núcleo;

As figuras 11A e 11B representam parcialmente dois planos de armação de uma estrutura fibrosa de acordo com uma outra forma de realização combinando uma tecelagem de múltiplas camadas com armação de tipo tela e uma tecelagem com armação de tipo *interlock* com núcleo.

As figuras 12A a 12D representam planos sucessivos de armação de uma parte de estrutura fibrosa com duas camadas de trama, de acordo com uma particularidade da invenção.

As figuras 13A a 13H representam os planos sucessivos de

armação de uma parte de estrutura fibrosa com três camadas de tramas de acordo com uma outra particularidade da invenção;

As figuras 14A a 14D representam os planos de armação de uma parte de transição entre as partes de estrutura fibrosa das figuras 15A - 15D e 16A- 16H de acordo com uma particularidade da invenção;

As figuras 15A a 15H representam planos sucessivos de armação de uma parte de transição entre a parte de estrutura fibrosa das figuras 16A a 16H e uma parte de estrutura fibrosa de espessura aumentada de uma camada completa de fios de trama, de acordo com uma particularidade da invenção, e

A figura 16 é uma fotografia mostrando em parte uma estrutura fibrosa de acordo com uma forma de realização da invenção constituindo uma preforma da pá da turbomáquina.

Definições

Por "tecelagem bidimensional" ou "tecelagem 2D" entende-se aqui um modo de tecelagem clássico pelo qual cada fio de urdume passa de um lado ao outro dos fios de uma única camada de trama.

Por "tecelagem tridimensional" ou "tecelagem 3D" entende-se aqui um modo de tecelagem pelo qual alguns pelo menos dos fios de urdume ligam os fios de trama sobre várias camadas de trama.

Por "tecelagem de tipo *interlock*", entende-se aqui uma armação de tecelagem 3D da qual cada camada de urdume liga várias camadas de tramas com todos os fios da mesma coluna de urdume tendo o mesmo movimento no plano da armação. A figura 1 é uma vista de um dos 8 planos de uma armação de tipo *interlock* com 7 camadas de urdume e 8 camadas de trama. Na armação tipo *interlock* ilustrada, uma camada de trama T é formada de duas semi-camadas de trama t adjacentes afastadas uma em relação à outra no sentido urdume. Tem-se, portanto, 16 semi-camadas de trama posicionadas em xadrez. Cada urdume liga 3 semi-camadas de trama.

No que segue, o termo "camada" poderá ser usado para designar uma camada completa ou uma semi-camada de fios de trama, salvo especificado em contrário.

5 Pode-se também adotar uma disposição em trama não em xadrez, os fios de trama de duas camadas de trama vizinhas sendo alinhados sobre as mesmas colunas.

10 Por "tecelagem de múltiplas camadas" designa-se aqui uma tecelagem 3D com várias camadas de trama dos quais a armação de base de cada camada é equivalente a uma armação de tecido 2D clássica como uma
15 armação de tipo de tela, cetim ou sarja, mas com alguns pontos de armação que ligam as camadas de trama entre si. A figura 2 mostra um plano de tecido de múltiplas camadas de tipo tela, ou "tecido de múltiplas telas" em que os fios de urdume são de tempos em tempos desviados de seu trajeto de tela 2D clássica associada a uma trama para prender um feio de trama vizinho e
20 formar pontos de tela particulares PT ligando duas camadas de trama vizinhas. Ao nível de um ponto de tela particular PT, o fio de urdume passa em torno de dois fios de trama situados na mesma coluna em duas camadas de trama vizinhas.

25 A figura 3 mostra um planto de um tecido de múltiplas camadas de tipo cetim ou "tecido múltiplo cetim" em que cada fio de urdume desviado alternativamente no sentido e no outro alternativamente para prender um fio de trama sobre n de uma primeira camada de fios de trama e um fio de trama sobre n de uma segunda camada de fios de trama adjacente á primeira, n sendo um número inteiro superior a 2 realizando assim uma ligação entre
30 duas camadas. No exemplo ilustrado, $n = 16$.

 Em uma armação de tipo cetim, o "passo" designa o intervalo entre dois pontos de cetim de um mesmo fio de urdume medido em número de colunas de trama. No caso da figura 3, um tal passo é alternativamente de 6 e de 10, dando um passo de múltiplo cetim médio de 8, seja $n/2$.

Nas armações, das figuras 2 e 3, os fios de trama não são dispostos em xadrez, os fios de trama de duas camadas vizinhas de fios de trama sendo alinhados nas mesmas colunas. Pode-se, todavia, ter uma disposição trama em xadrez como no caso da figura 1, as ligações sendo realizadas entre duas semi-camadas de trama vizinhas.

Nota-se que uma ligação sobre um mesmo fio de urdume em uma armação de múltiplas camadas ou múltiplo cetim não é limitada às duas camadas de trama vizinhas, mas pode se estender sobre uma profundidade de mais de duas camadas de trama.

Por "contextura", designa-se aqui o número de fios por unidade de comprimento em sentido trama e no sentido urdume, uma contextura fraca (ou solta) significando um número menor de fios, portanto um tecido mais aberto em oposição com uma contextura elevada (ou apertada).

Em todo o texto que segue e em todos os desenhos, é mencionado e representado por convenção e cuidado de comodidade, que são fios de urdume que são desviados de seus trajetos para prender os fios de trama de uma camada de trama ou de várias camadas de tramas. Todavia, uma inversão dos papéis entre urdume e trama é possível, e deve ser considerada como coberta também pelas reivindicações.

Descrição Detalhada das Formas de realização da invenção

O domínio de aplicação da invenção é o da realização de estruturas fibrosas aptas a constituir reforços fibrosos, ou preformas, para a fabricação de peças de material compósito, as peças sendo obtidas por densificação das estruturas fibrosas por uma matriz. A matriz é tipicamente uma resina, no caso de materiais compósitos usados na temperatura relativamente pouco elevada, tipicamente até 300°C, ou um material refratário como carbono ou cerâmica no caso de compósitos termo-estruturais.

A realização da estrutura fibrosa por tecelagem 3D permite

obter uma ligação entre as camadas, portanto ter um bom comportamento mecânico da estrutura fibrosa e da peça de material compósito obtido, em uma única operação têxtil.

5 É vantajoso favorecer a obtenção, após densificação, de um estado de superfície isento de irregularidades importantes, isto é, um bom estado de acabamento para evitar ou limitar as operações de acabamento por usinagem ou para evitar a formação de agrupamentos de resina no caso de compósitos de matriz de resina. Para este efeito, no caso de uma estrutura fibrosa tendo uma parte interna, ou núcleo, e uma parte externa, ou pele
10 adjacente a uma superfície exterior da estrutura fibrosa, a pele é realizada por tecelagem com, uma armação de tipo cetim promovendo, por outro lado, um aspecto de superfície lisa.

Pode ser desejável fazer variar o título de fios utilizados para a tecelagem da estrutura fibrosa, particularmente usando fios de títulos
15 diferentes entre núcleo e pele e/ou entre urdume e trama. Os títulos de fios podem notadamente ser selecionados para obter uma relação nos limites desejados entre a taxa volumétrica das fibras em urdume e a taxa volumétrica das fibras em trama.

É vantajoso também obter propriedades mecânicas assim
20 pouco não homogêneas que são possíveis no seio de uma peça de material compósito, favorecer uma densificação da estrutura fibrosa de reforço, com um gradiente de densificação tão fraco como possível entre o núcleo da estrutura fibrosa e a pele da mesma, notadamente no caso de densificação CVI. A este efeito, para favorecer o acesso ao núcleo da preforma, a
25 tecelagem com núcleo pode ser realizada por tecelagem tipo *interlock*, que oferece uma comunicação facilitada entre várias camadas de tecido.

Pode-se também realizar o núcleo e a pele por tecelagem de múltiplas camadas com armações diferentes.

Igualmente com o fim de favorecer o acesso ao núcleo da

estrutura fibrosa quando da densificação, a pele pode ser realizada com uma contextura mais fraca que a do núcleo.

5 É possível também fazer variar a armação de tecelagem tri-dimensional na parte de núcleo, por exemplo combinando diferentes armações tipo *interlock* ou uma armação tipo *interlock* e uma armação de tecelagem de múltiplas camadas ou ainda diferentes armações de tecelagem de múltiplas camadas.

10 Pode ser desejável fazer variar o título de fios utilizados para a tecelagem da estrutura fibrosa, particularmente usando fios de títulos diferentes entre o núcleo e pele e/ou entre urdume e trama. Um título de fios decrescente entre núcleo e pele favorece o acesso ao núcleo do gás através da pele no caso de densificação CVI. Os títulos de fios podem ser também selecionados para obter uma relação nos limites desejados entre a taxa volumétrica das fibras em urdume e a taxa volumétrica das fibras em trama.

15 Pode ser desejável, por outro lado, utilizar fios de naturezas químicas diferentes entre diferentes partes da estrutura fibrosa, notadamente entre núcleo e pele para conferir propriedades particulares à peça em material compósito obtido, notadamente em termos de resistência à oxidação ou ao desgaste.

20 Assim, no caso de uma peça de material compósito termo-estrutural com reforço de fibras refratárias, pode-se usar uma preforma com fibras carbono no núcleo e fibras em cerâmica, por exemplo em carboneto de silício (SiC), em pele a fim de aumentar a resistência ao desgaste da peça compósita ao nível desta parte da pele.

25 Os exemplos de realização de uma estrutura fibrosa de acordo com a invenção serão agora descritos. Em todos estes exemplos, a tecelagem é realizada por um tear de tipo Jacquard.

Exemplo 1 (não coberto pelas reivindicações)

As figuras 4A a 4H representam parcialmente 8 planos

sucessivos de uma armação de estrutura fibrosa obtida por tecelagem 3D, os fios de trama sendo visíveis em corte.

A estrutura fibrosa 10 compreende 9 camadas de fios de trama, seja 18 semi-camadas t1 a t18. No núcleo 12 situado entre as peles opostas 14, 16, a tecelagem 3D é de tipo *interlock* com uma contextura 10/10 por camada (10 fios por cm de trama e em urdume). Nas peles, 14, 16, a tecelagem é bidimensional com armação de tipo tela com uma contextura 5/5 por camada. A tecelagem tela só se refere às semi-camadas t1 e t2 e as semi-camadas t17 e t18 dos fios de trama. Nota-se que a tecelagem 3D tipo *interlock* do núcleo se estende até as semi-camadas extremas t1, t18 das peles a fim de ligar estas semi-camadas às do núcleo.

Neste exemplo, o modo de tecelagem e a contextura variam entre núcleo e pele. A tecelagem tela em pele é favorável para obter um estado de superfície relativamente liso. No caso de densificação por CVI, a tecelagem 3D tipo *interlock* no núcleo é favorável para minimizar um gradiente de densificação entre pele e núcleo, enquanto que uma contextura mais fraca nas peles favorece o acesso ao núcleo da estrutura fibrosa através das peles.

Exemplo 2

As figuras 5A a 5H representam planos sucessivos de uma armação de estrutura fibrosa 20 obtida por tecelagem 3D, esta estrutura diferindo da do exemplo 1 em que, nas peles 24, 26, a tecelagem é uma armação de cetim com uma contextura 5x5 e só se refere às semi-camadas extremas de fios de trama t1 e t18, a tecelagem com núcleo 22 sendo de tipo *interlock* com uma contextura 10x10 por camada.

Neste exemplo, o modo de tecelagem varia entre núcleo 22 e peles 24, 26, a tecelagem cetim em pele dando um aspecto de superfície lisa.

Exemplo 3

As figuras 6A a 6J representam parcialmente planos

sucessivos de uma estrutura fibrosa 50 obtida por tecelagem 3D, com tecelagem de tipo *interlock* com núcleo 52 e tecelagem de múltiplas camadas em pele. A tecelagem de tipo *interlock* é realizada com cada fio de urdume se estendendo sobre uma profundidade de 2 semi-camadas de fios de trama. A

5 tecelagem de múltiplas camadas em pele 56 é realizada com uma armação de tipo múltiplo cetim tendo um passo de 5 que reúne uma camada de trama externa formada de duas semi-camadas e uma semi-camada de trama adjacente.

Uma parte apenas de armação é representada, o número de

10 camadas de trama podendo ser aumentado como simbolizado pelos tiras, e a pele oposta à pele 56 não sendo representada, a tecelagem nesta pele oposta podendo ser de mesmo tipo que na pele 56.

Exemplo 4

As figuras 7A a 7H representam parcialmente planos

15 sucessivos de uma armação de estrutura fibrosa 60 obtida por tecelagem 3D de acordo com uma variante do exemplo 3, a tecelagem de tipo *interlock* com núcleo 62 se estendendo sobre 3 semi-camadas de fios de trama em vez de 2, e a armação de tecelagem em pele 66 sendo uma tecelagem de múltiplo cetim com um passo de 4. A armação de tecelagem em pele se estende sobre a

20 camada externa de fios de trama, formada de duas semi-camadas reunidas e, alternativamente, sobre uma e sobre a outra das semi-camadas vizinhas dos fios de trama vizinhos da camada externa.

Exemplo 5

As figuras 8A a 8J representam planos sucessivos de uma

25 armação de estrutura fibrosa 70 obtida por tecelagem 3D com tecelagem tri-dimensional com armação de tipo *interlock* com núcleo 72 e uma tecelagem cetim de passo 10 em peles 74, 76.

Os fios de trama são dispostos em xadrez. O número de semi-camadas de trama com núcleo pode ser aumentado como simbolizado por

tiras.

A tecelagem de tipo *interlock* com núcleo é sobre duas semi-camadas e a tecelagem cetim em pele é igualmente sobre duas semi-camadas, a semi-camada externa em pele não se estende com relação à tecelagem de tipo *interlock* do núcleo.

Exemplo 6

As figuras 9A a 9T representam 20 planos sucessivos parciais de uma parte de núcleo 92 de uma estrutura fibrosa obtida por tecelagem 3D, os fios de trama sendo dispostos em xadrez.

A parte de núcleo 92 compreende uma primeira parte 92a tecida com uma primeira armação de tipo *interlock* sobre duas semi-camadas de fios de trama e uma segunda parte 92b tecida com uma segunda armação de tipo *interlock* sobre duas semi-camadas de fios de trama. Na primeira parte 92a, o fio de urdume representado em tiras mostra simplesmente que um ou vários fios de urdume podem ser previstos seguindo o mesmo trajeto em função da espessura desejada. Na segunda parte 92b, um único fio de urdume é representado. Isto poderá ser repetido tantas vezes como necessário em função da espessura desejada.

A segunda parte 92b é situada entre a primeira parte 92a e uma parte de pele não representada. A tecelagem em pele poderá ser uma tecelagem de múltiplas camadas por exemplo com uma armação múltiplo cetim como a parte de pele 56 da estrutura fibrosa do exemplo 5.

Quando a parte de núcleo 92 está situada entre duas partes de pele opostas, ela poderá compreender uma terceira parte situada entre a primeira parte e uma parte de pele, do outro lado da primeira parte em relação à segunda parte 92a, por exemplo simétrica desta em relação a um plano mediano.

A utilização de duas armações diferentes na parte de núcleo permite ter propriedades mecânicas diferentes. NO exemplo ilustrada, a

armação de tipo *interlock* na parte 92a assegura uma ligação mais forte dos fios de trama que a armação de tipo *interlock* na parte 92b.

Exemplo 7

5 As figuras 10AA a 10BN representam 40 planos sucessivos parciais de uma parte de núcleo 103 de uma estrutura fibrosa obtida por tecelagem 3D, a parte de núcleo 102 se distinguindo da 92 do exemplo 9 por uma armação de tecelagem de tipo *interlock* diferente na primeira parte 102a, a armação de tecelagem de tipo *interlock* em uma segunda parte 102b sendo a mesma que a da segunda parte 92b do exemplo 6.

10 A armação de tipo *interlock* da parte 102a procura pelo menos uma forte ligação que a da parte 92a do exemplo 6, mas é mais fácil de tecer.

Exemplo 8

15 As figuras 11A e 11B representam dois planos sucessivos da parte do núcleo 112 de uma estrutura fibrosa que se distingue da do exemplo 9 em que a armação na primeira parte 112a da parte de núcleo 112 é de tipo de múltiplas telas, enquanto que a armação na segunda parte 112b é de tipo *interlock* semelhantes à da segunda parte 92b do exemplo 9.

A tecelagem com armação de múltiplas telas na parte 122a permite uma ligação muito forte dos fios de trama.

Exemplo 9

20 As figuras 12A a 12D representam planos sucessivos de uma armação de uma parte 120 de estrutura fibrosa de espessura muito reduzida, limitada a duas camadas de fios de trama t1 e t2.

25 As camadas de trama são ligadas entre si por um urdume C1 por tecelagem com armação de tipo *interlock* enquanto que os fios de cada trama são ligados por tecelagem com armação bidimensional por urdumes respectivos C2, C3. A armação bidimensional é de tipo cetim. Uma tal armação poderá convir particularmente para a parte de uma estrutura fibrosa correspondendo a uma parte muito fina de uma peça de material compósito a

fabricar, por exemplo para a parte adjacente do bordo de fuga de uma lâmina de uma pá de turbomáquina.

Exemplo 10

5 As figuras 13A a 13H representam planos sucessivos de uma armação de uma parte 130 da estrutura fibrosa de espessura reduzida, limitada a três camadas de fios de trama, a saber as camadas t1, t2 em pele e uma camada intermediária t3 com núcleo.

10 As camadas de trama são ligadas entre si por um urdume por tecelagem com uma armação de tipo *interlock*. Nas peles 134, 136 da estrutura fibrosa 130, uma tecelagem com uma armação de múltiplo cetim é realizada. Em variante, pode-se realizar, em pele, uma tecelagem bidimensional com armação de tipo cetim.

15 Nota-se que, nas partes de estrutura fibrosa 120 e 130, as tramas não estão posicionadas em xadrez, contrário aos exemplos precedentes.

Exemplo 11

As figuras 14A a 14D representam planos sucessivos de uma parte 140 da estrutura fibrosa formando transição entre as partes 120 e 130 dos exemplos 9 e 10.

20 Encontra-se na parte 140, as camadas de fios de trama t1 e t2 e uma camada intermediária parcial t'3, por exemplo uma camada contendo a metade do número de fios de trama das camadas t1 e t2.

25 A camada intermediária t'3 é ligada às camadas t1, t2, por uma tecelagem com armação de tipo *interlock*, de modo semelhante à armação de tecelagem tipo *interlock* ligando as camadas de trama da parte 130.

Em pele, ao nível da camadas t1, t2, uma tecelagem bidimensional é realizada, com armação cetim, semelhante à realizada ao nível de cada camada t1, t2, na parte de estrutura fibrosa 120.

Exemplo 12

As figuras 15A a 15H representam planos sucessivos de uma parte 150 de estrutura fibrosa formando transição entre a parte 130 do exemplo 10 e uma parte tendo uma espessura aumentada de uma camada.

Encontra-se na parte 150 as camadas de fios de trama t1 e t2, a
5 camada intermediária t3 e uma camada de trama adicional parcial t'4, por exemplo uma semi-camada, os fios da camada t3 sendo defasados de uma coluna de trama à outra para formar uma disposição em xadrez.

No núcleo 152, as camadas t3 e t'4 são ligadas às camadas t1 e t2 por uma tecelagem com uma armação tipo *interlock*. Em pele 1564, 156, ao
10 nível das camadas t1, t2, uma tecelagem de múltiplas camadas é realizada, na espécie uma tecelagem de múltiplo cetim do mesmo tipo que a realizada em pele na parte de estrutura 60 das figuras 7A a 7H.

As armações dos exemplos 9 a 12 permitem aumentar progressivamente a espessura de uma estrutura fibrosa permitindo, ao mesmo
15 tempo, assegurar uma continuidade de armação em pele. A este efeito, é desejável passar de um plano P de uma armação ao plano P+1 da armação seguinte (modulo de número de planos deste última). Por exemplo, um aumento de espessura da estrutura 120 à estrutura 150 pode ser progressivamente obtido pela sucessão seguinte:

- 20 - planos 1, 2, 3 (figuras 12A, 12B, 12C) da armação da estrutura 120,
- planos 4, 5, ou seja 4,1 (porque $5 = 1 \text{ módulo } 4$) (figura 14D, 14A) da armação da estrutura de transição 140,
- planos 6, 7, 8 (figura 13F, 13G, 13H) da armação 130, e
- 25 - planos 9, 10, 11, ou seja 1, 2, 3 (porque $9, 10, 11 = 1, 2, 3 \text{ módulo } 8$) da armação da estrutura de transição 150 (figuras 15A, 15B, 15C).

A fotografia da figura 16 mostra uma parte da estrutura fibrosa com espessura evolutiva constituindo a preforma fibrosa da pá da turbina da turbomáquina. Constata-se que a continuidade das armações em pele é

respeitada até o bordo BF da preforma correspondente no bordo de fuga da lâmina da pá. A tecelagem da parte fina é aqui realizada de acordo com os exemplos 9 a 12 (figuras 12 a 15).

REIVINDICAÇÕES

1. Estrutura fibrosa de reforço tecida em uma única peça para a fabricação de peça de material compósito, caracterizada pelo fato de que a estrutura fibrosa tem uma parte interna, ou núcleo, e uma parte adjacente a uma superfície exterior da estrutura, ou pele, e a estrutura fibrosa sendo formada por uma tecelagem tridimensional com núcleo com, pelo menos, uma armação escolhida dentre uma armação de tipo *interlock* e uma armação de múltiplas camadas e por uma tecelagem em pele com uma armação de tipo cetim.

2. Estrutura fibrosa de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de ser formada por uma tecelagem tridimensional com pelo menos uma armação de tipo *interlock* com núcleo e uma tecelagem com uma armação de tipo tela, cetim ou sarja em pele.

3. Estrutura fibrosa de acordo com a reivindicação 2, caracterizada pelo fato de que a tecelagem em pele é de tipo de múltiplas camadas.

4. Estrutura fibrosa de acordo com a reivindicação 2, caracterizada pelo fato de que a tecelagem em pele é de tipo bidimensional.

5. Estrutura fibrosa de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de que é formada por uma tecelagem de múltiplas camadas com núcleo e uma tecelagem com múltiplas camadas em pele com uma armação diferente da armação com núcleo.

6. Estrutura fibrosa de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de que é formada por uma tecelagem de múltiplas camadas com núcleo e uma tecelagem bidimensional em pele.

7. Estrutura fibrosa de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 4, caracterizada pelo fato de que na mesma o núcleo compreende uma primeira parte formada por tecelagem tridimensional com uma primeira armação e pelo menos uma segunda parte situada entre a

primeira parte e a pele, a segunda parte sendo formada por tecelagem tridimensional com uma segunda armação diferente da primeira.

8. Estrutura fibrosa de acordo com a reivindicação 7, caracterizada pelo fato de que a primeira e a segunda armações são armações de tipo *interlock*.

9. Estrutura fibrosa de acordo com a reivindicação 7, caracterizada pelo fato de que a primeira e a segunda armações são armações de tecelagem de múltiplas camadas.

10. Estrutura fibrosa de acordo com a reivindicação 9, caracterizada pelo fato de que na mesma a primeira e a segunda armações são armações de múltiplos cetins de passos diferentes.

11. Estrutura fibrosa de acordo com a reivindicação 7, caracterizada pelo fato de que uma das primeira e segunda armações e uma armação de tipo *interlock* e a outra é uma armação de tecelagem de múltiplas camadas.

12. Estrutura fibrosa de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 11, caracterizada pelo fato de que na mesma uma ou mais das contexturas de urdume e de trama varia entre o núcleo e a pele.

13. Estrutura fibrosa de acordo com a reivindicação 12, caracterizada pelo fato de ser para a fabricação de peças de material compósito por densificação CVI, em que uma pelo menos das contexturas de urdume e em pele é mais fraca em pele do que no núcleo.

14. Estrutura fibrosa de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 13, caracterizada pelo fato de que na mesma os fios usados para a tecelagem tem um título que varia entre o núcleo e a pele.

15. Estrutura fibrosa de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 14, caracterizada pelo fato de ter pelo menos uma parte de espessura reduzida com duas camadas de fios de trama e formada por uma tecelagem tridimensional com uma armação de tipo entrelaçado, ligando as

duas camadas de trama e por uma tecelagem bidimensional de tipo cetim ligando os fios de cada camada de pele.

16. Estrutura fibrosa de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 15, caracterizada pelo fato de ter uma parte de espessura reduzida com três camadas de fios de trama e formada por uma tecelagem tridimensional com uma armação de tipo *interlock* ligando as três camadas de trama e a camada de fios de trama central é, por outro lado, ligada com cada uma das duas outras por uma tecelagem de múltiplas camadas com armação tipo cetim.

17. Estrutura fibrosa de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 16, caracterizada pelo fato de ter uma parte de transição entre uma primeira parte e uma segunda parte tendo uma camada completa de fios de trama suplementar em relação à primeira parte, a parte de transição tendo uma camada parcial suplementar de fios de trama em relação à primeira parte.

18. Estrutura fibrosa de acordo com a reivindicação 17, caracterizada pelo fato de que os fios de trama da camada parcial suplementar são dispostos entre duas camadas completas de fio de trama e ligadas aos mesmos por uma tecelagem com uma armação de tipo *interlock*.

19. Peça de material compósito tendo um reforço fibroso densificado por uma matriz de resina, caracterizada pelo fato de que na mesma o reforço fibroso é formado por uma estrutura fibrosa de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 18.

20. Peça de acordo com a reivindicação 19, caracterizada pelo fato de constituir uma pá de uma turbomáquina.

21. Peça de material compósito termoestructural tendo um reforço fibroso densificado por uma matriz, caracterizada pelo fato de que o reforço fibroso é formado por uma estrutura fibrosa de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 18.

FIG.1

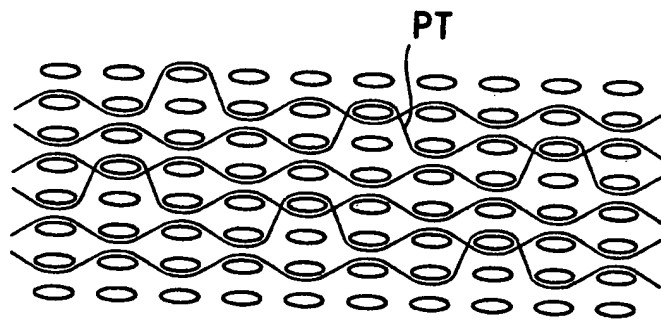
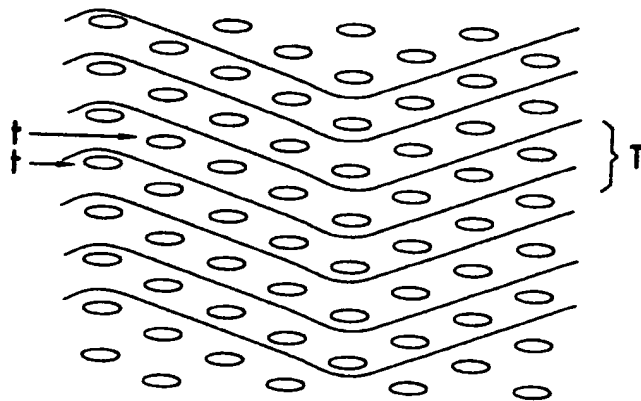


FIG.2

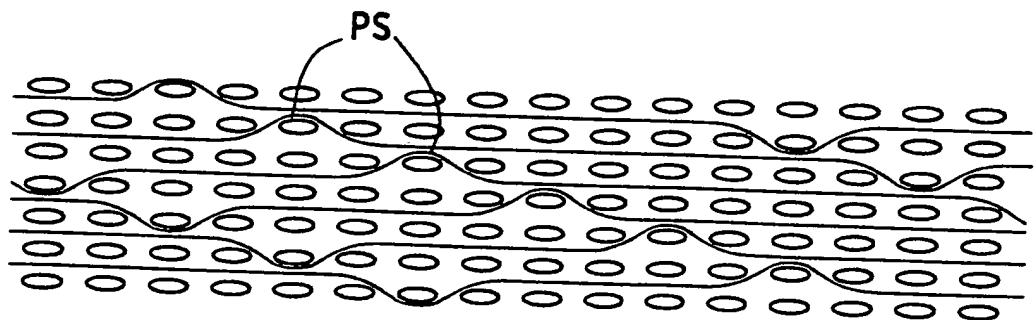


FIG.3

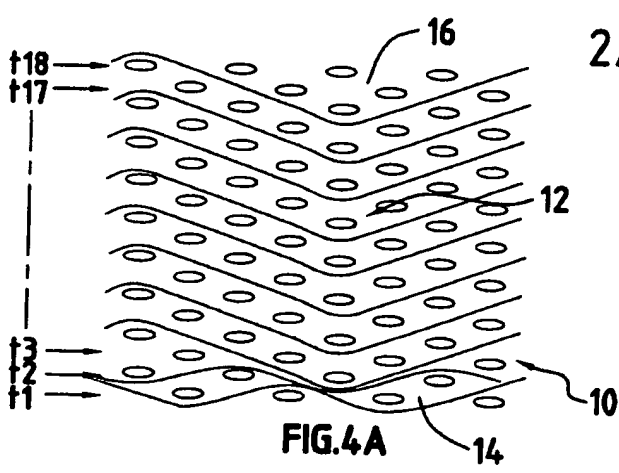


FIG. 4A

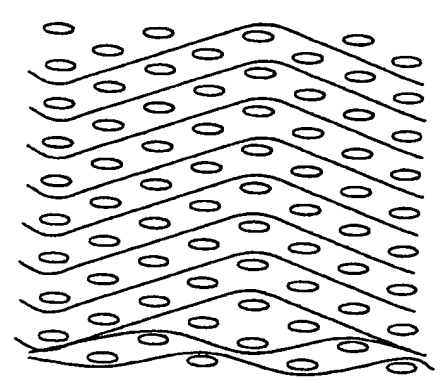


FIG. 4E

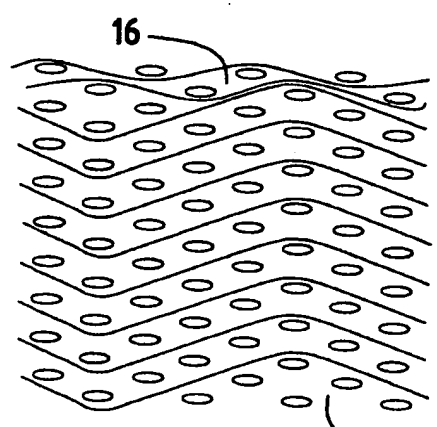


FIG. 4B

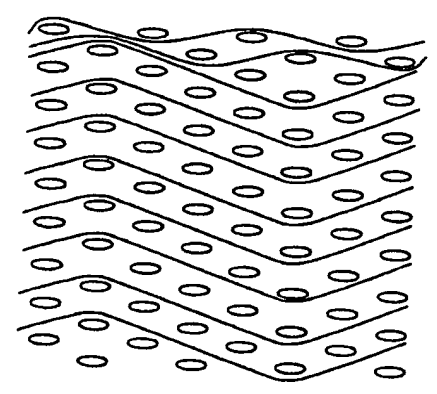


FIG. 4F

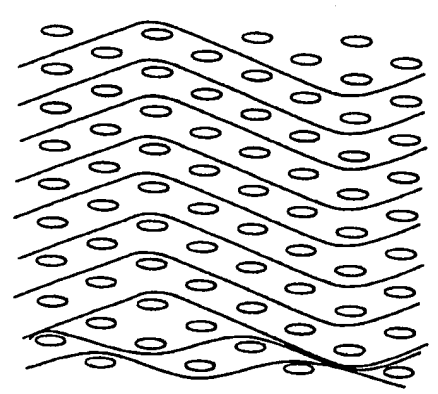


FIG. 4C

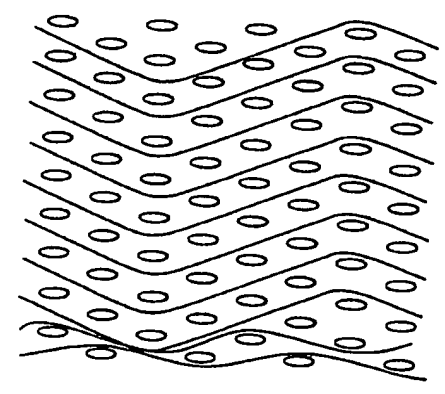


FIG. 4G

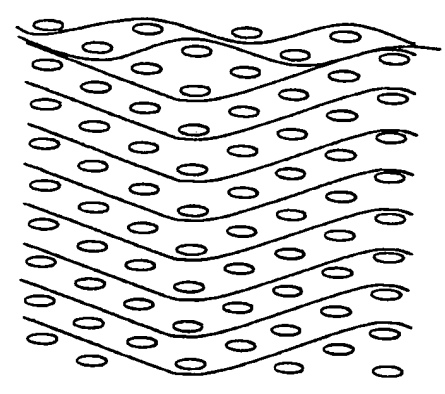


FIG. 4D

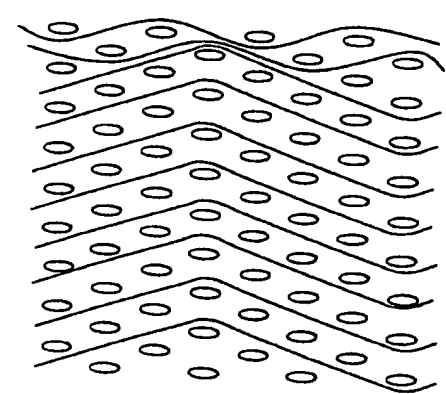


FIG. 4H

FIG. 4

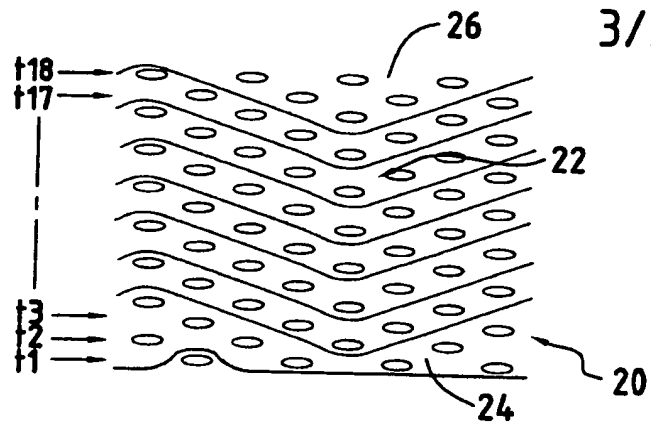


FIG. 5A

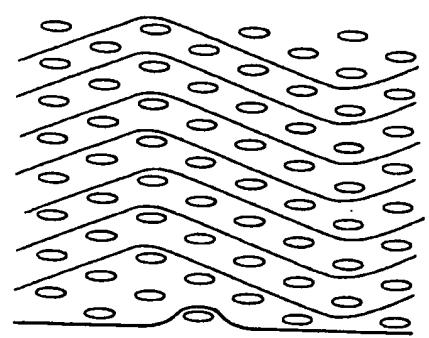


FIG. 5E

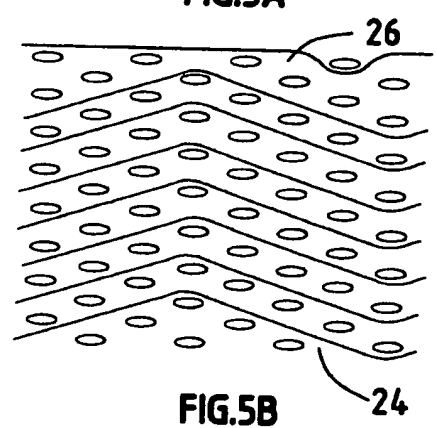


FIG. 5B

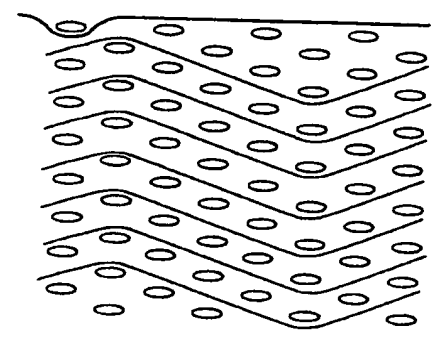


FIG. 5F

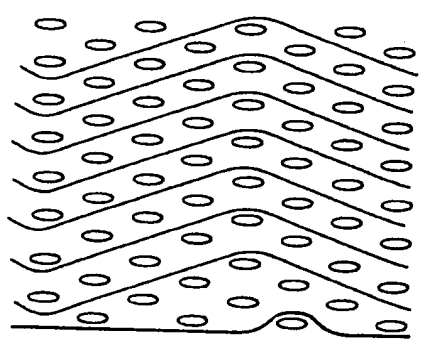


FIG. 5C

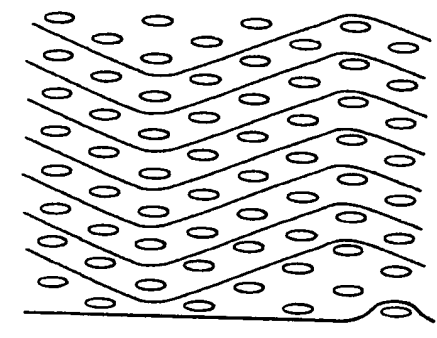


FIG. 5G

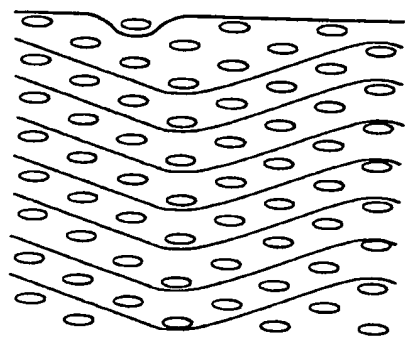


FIG. 5D

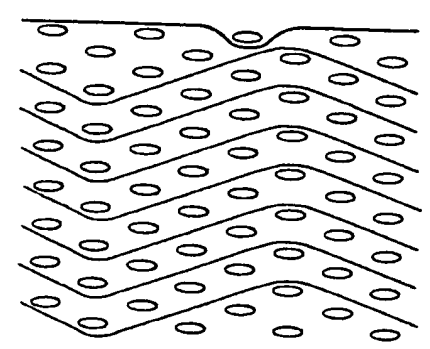
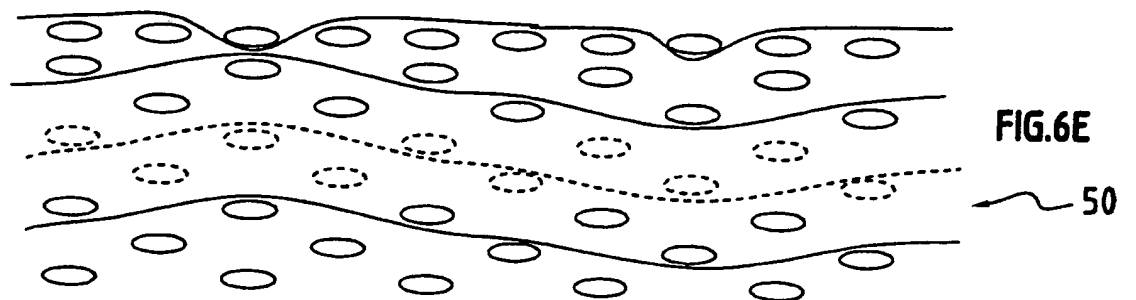
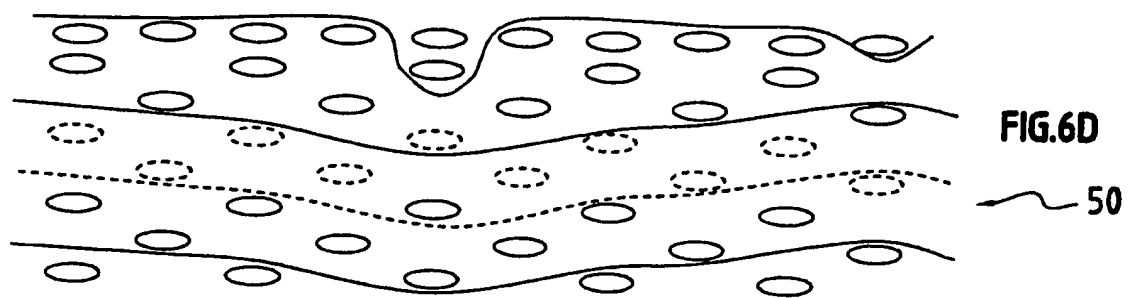
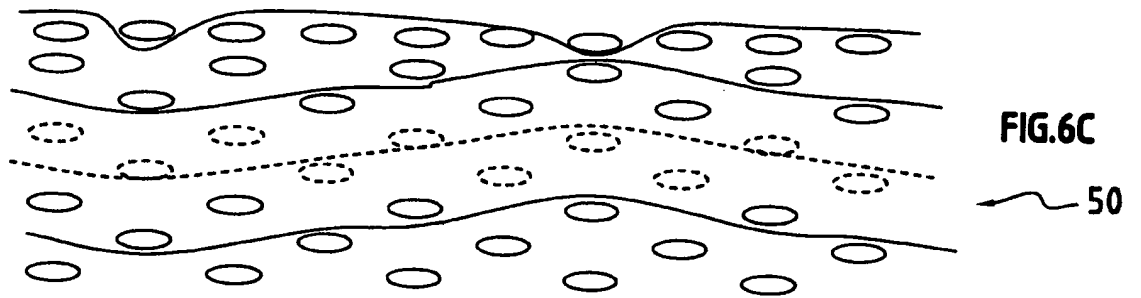
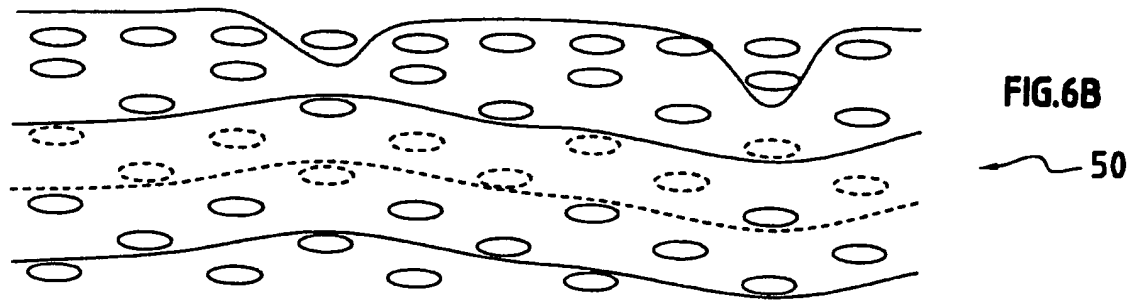
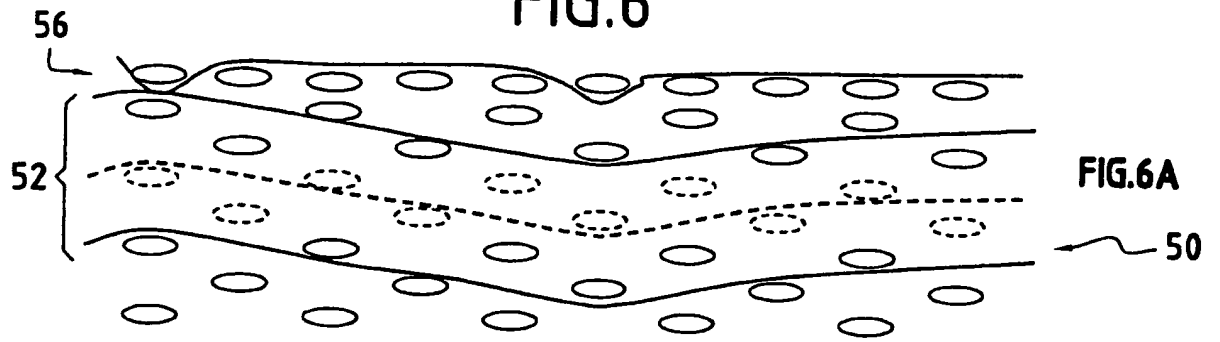


FIG. 5H

FIG. 5

4/30
FIG.6



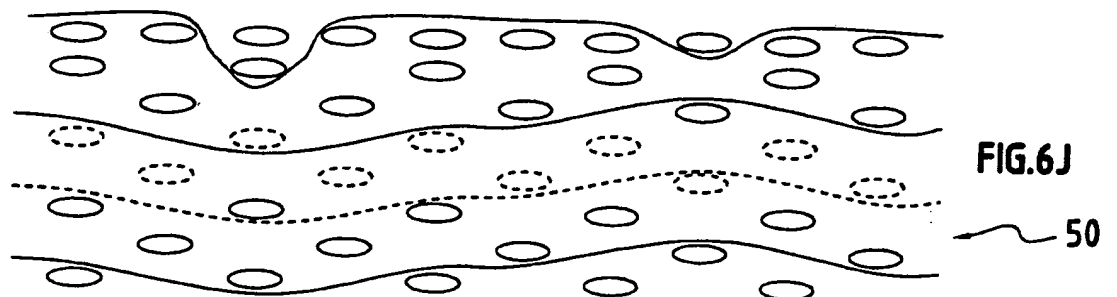
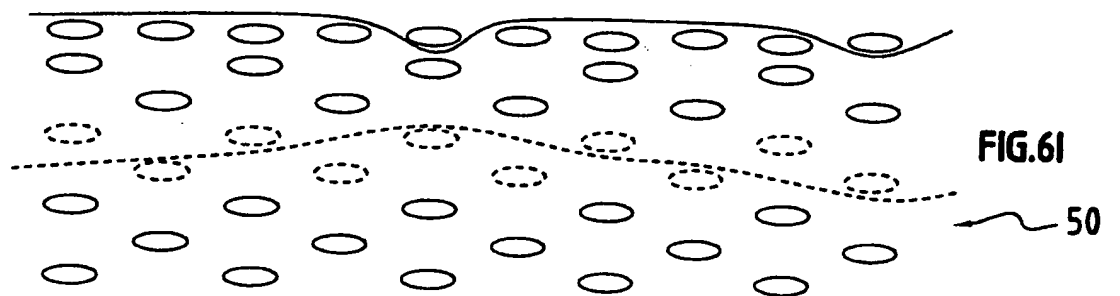
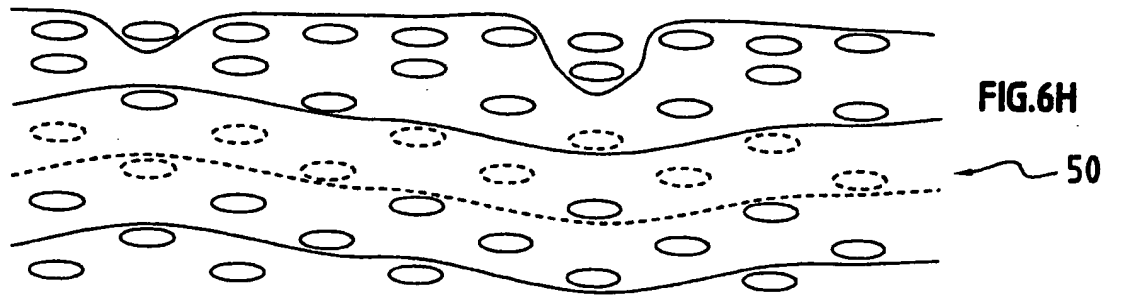
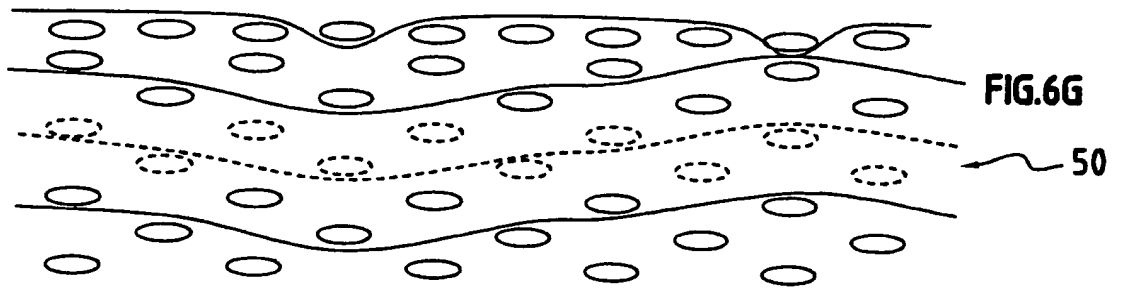
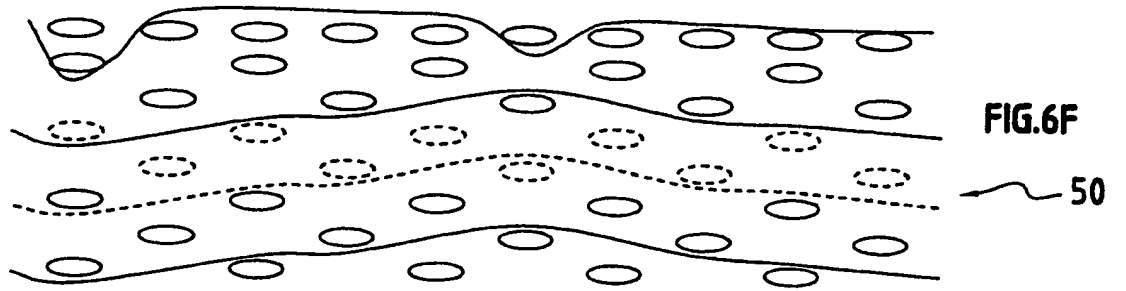
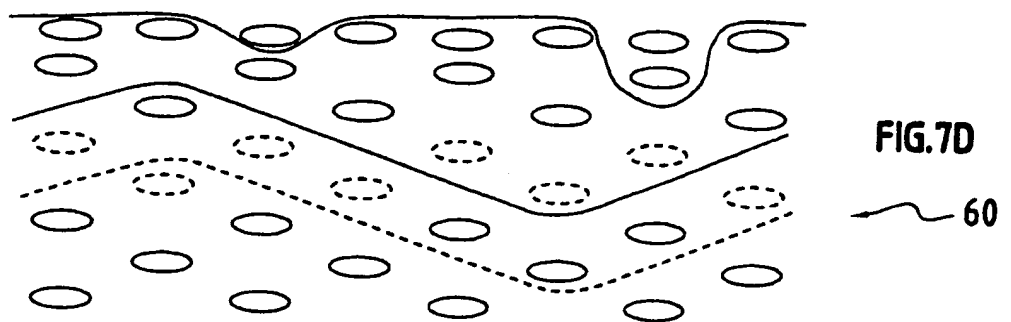
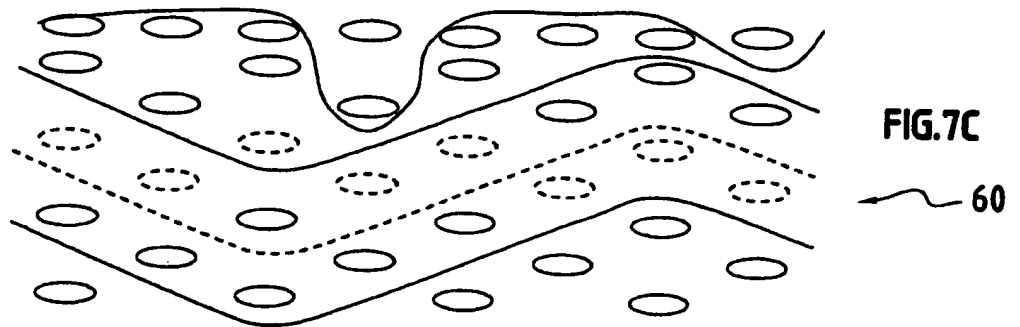
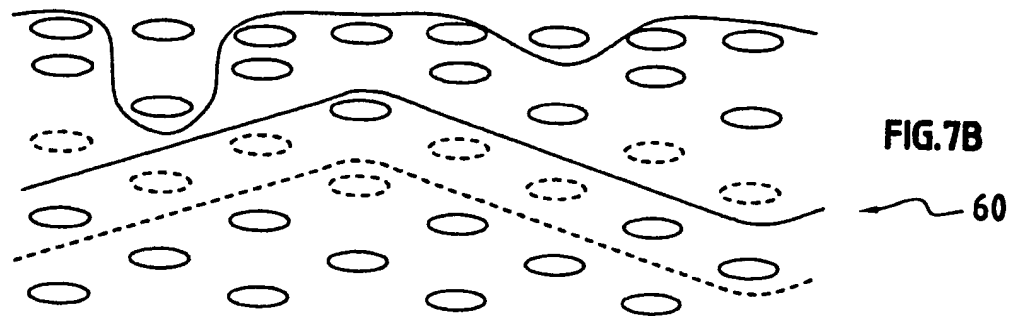
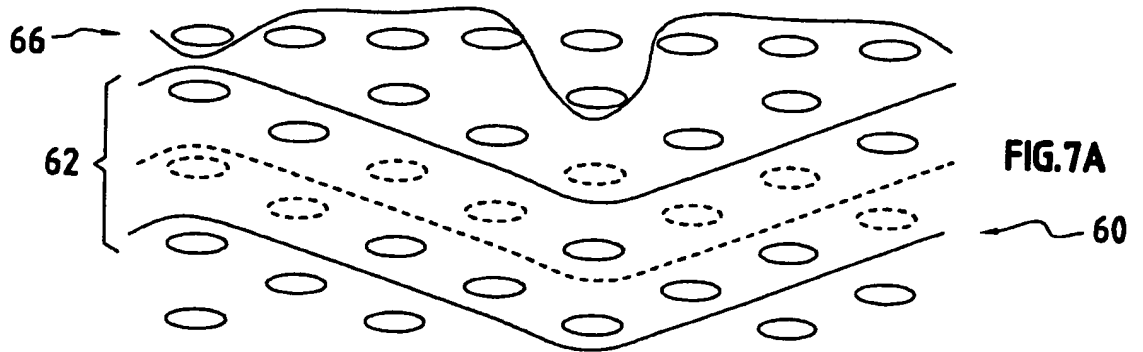


FIG. 7



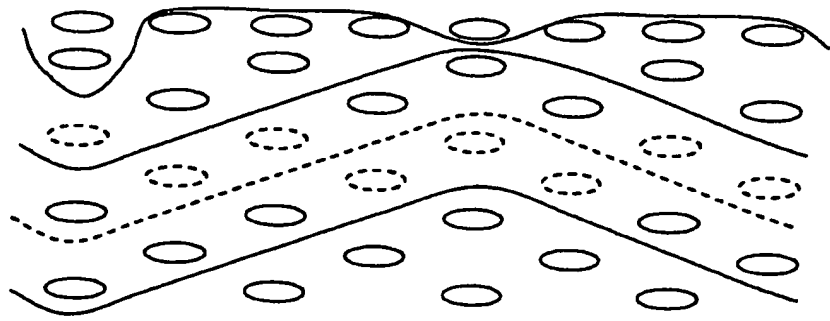


FIG. 7E

60

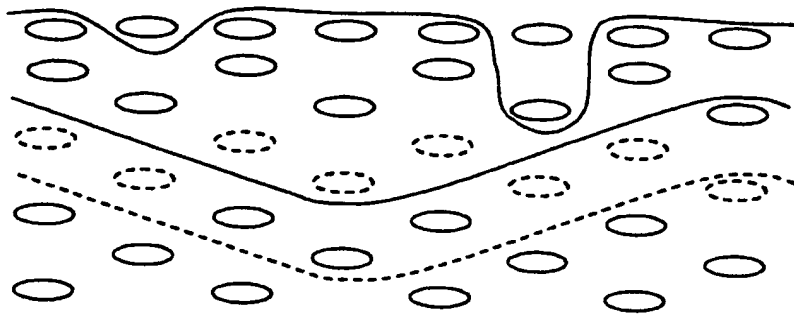


FIG. 7F

60

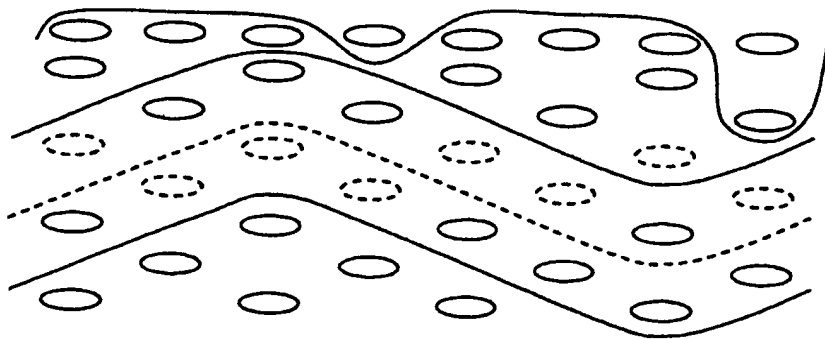


FIG. 7G

60

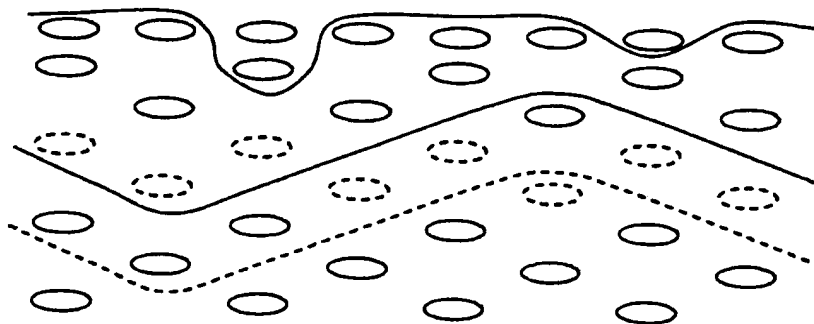
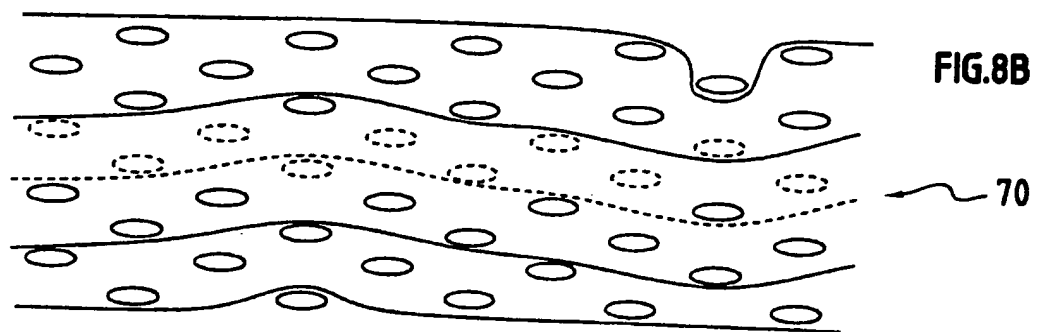
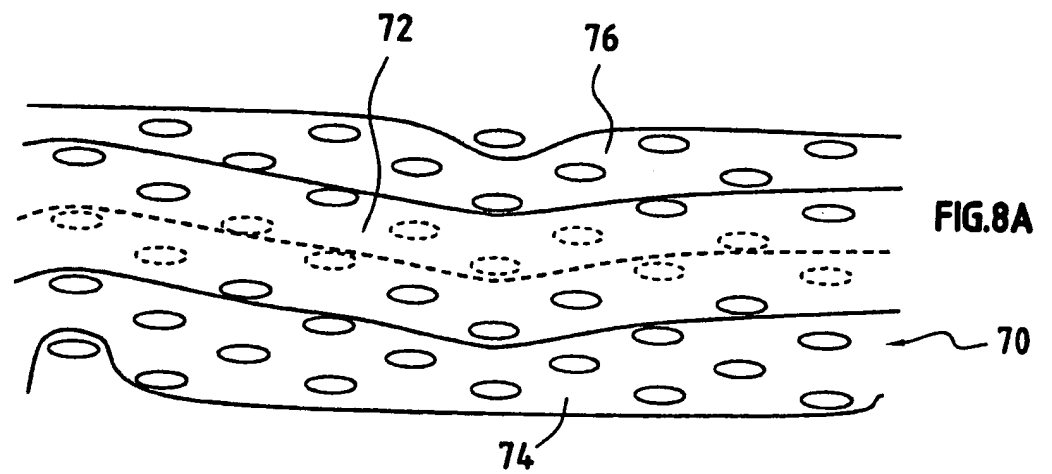
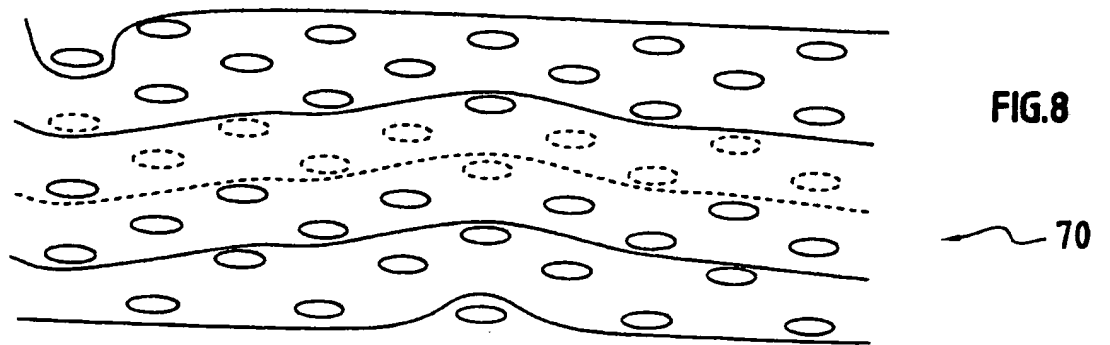
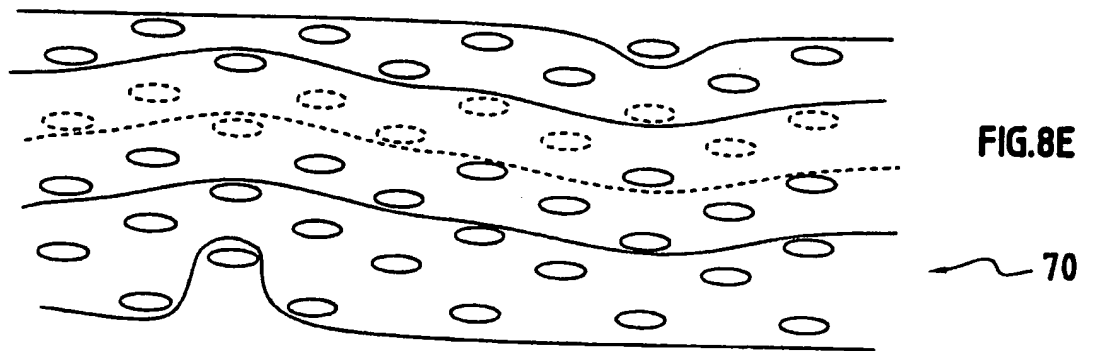
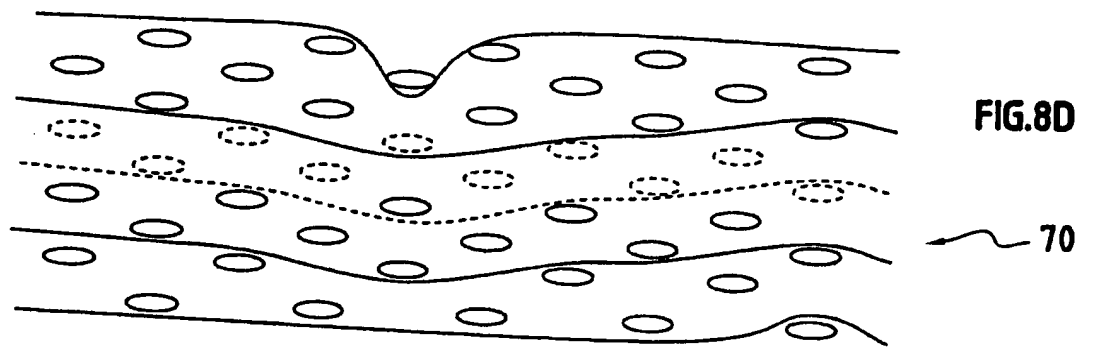
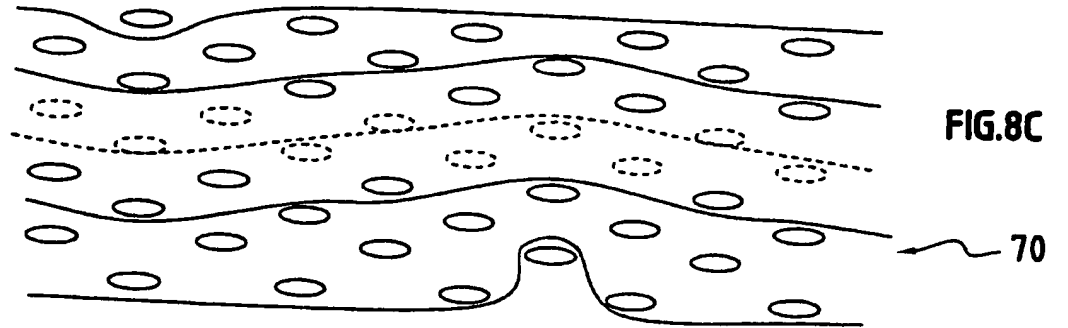


FIG. 7H

60

FIG. 8





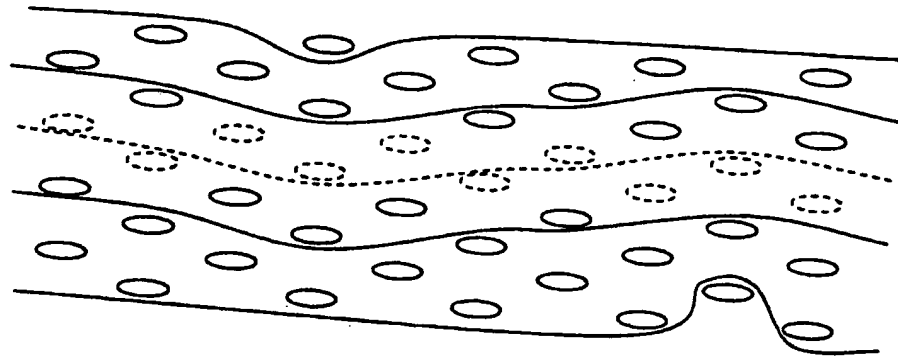


FIG. 8G

70

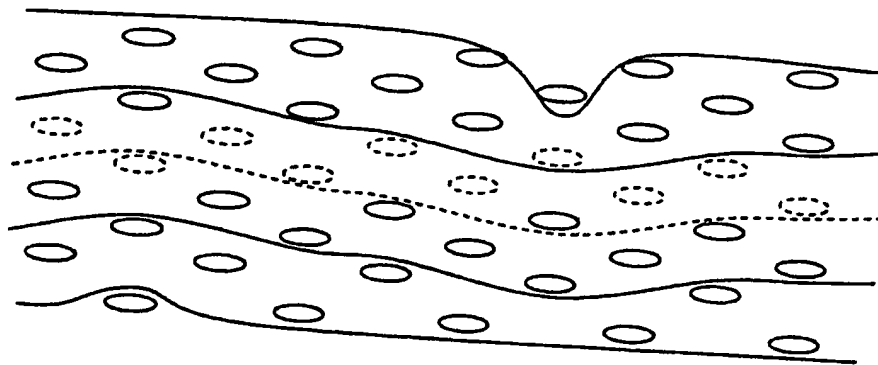


FIG. 8H

70

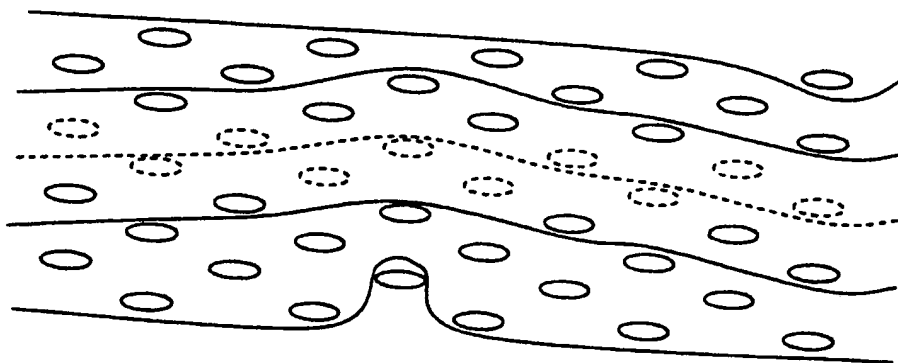


FIG. 8I

70

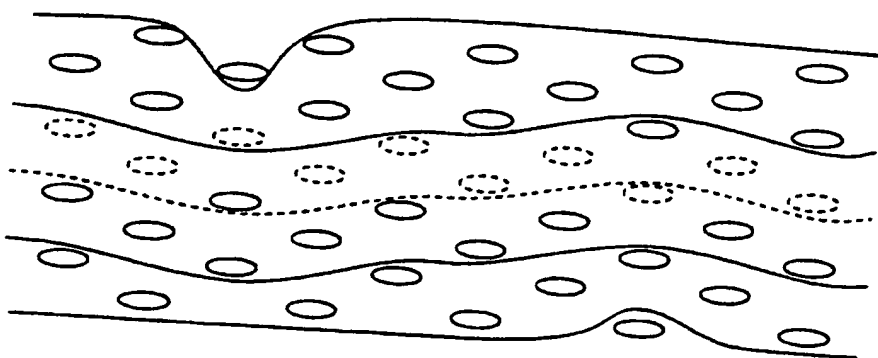
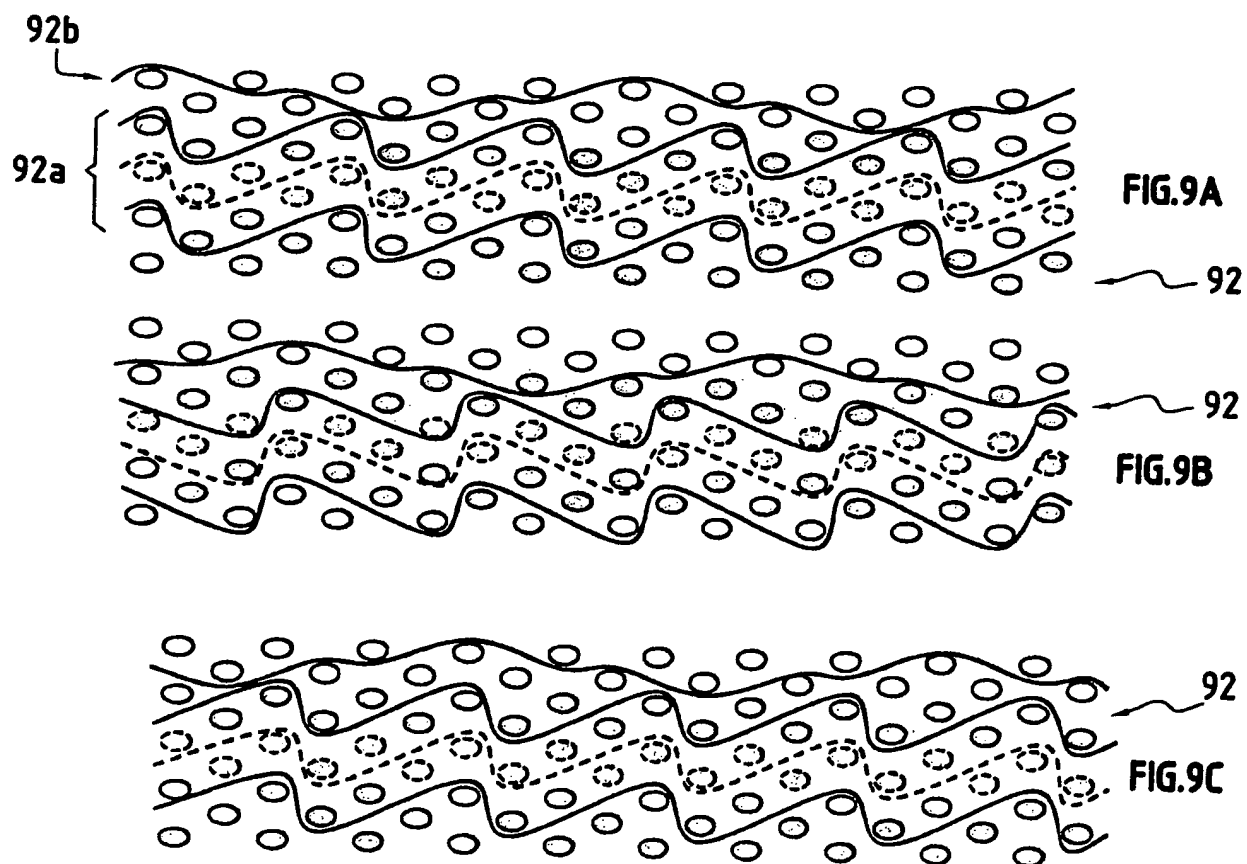
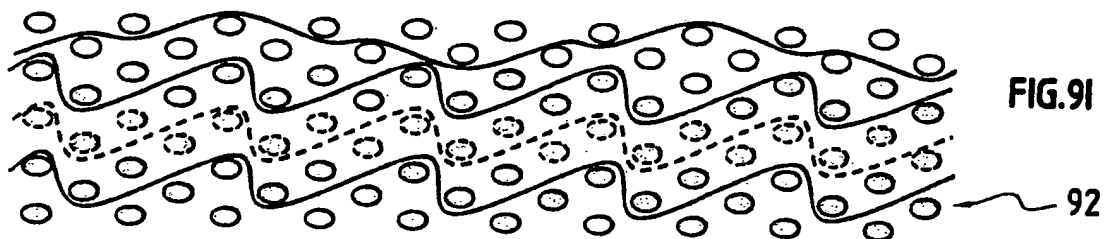
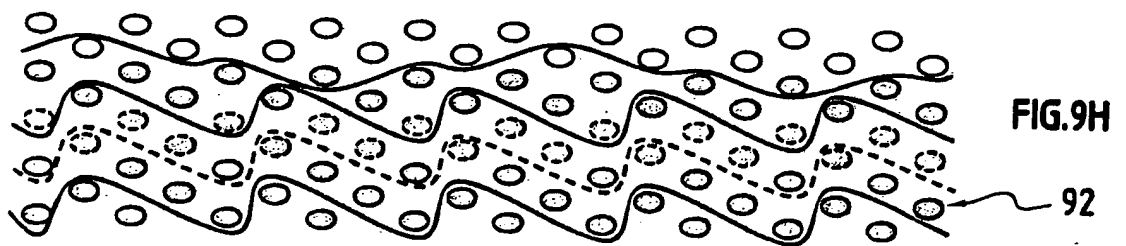
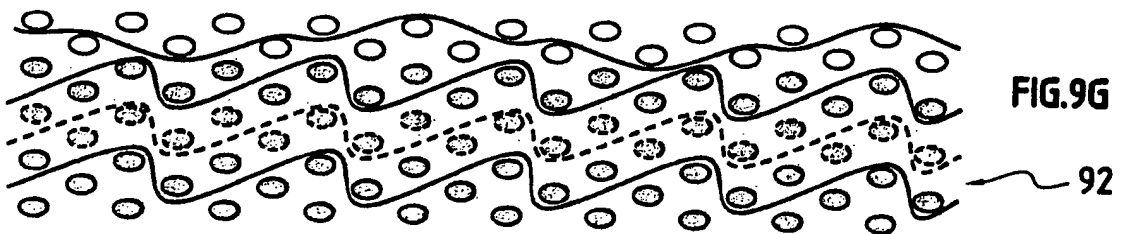
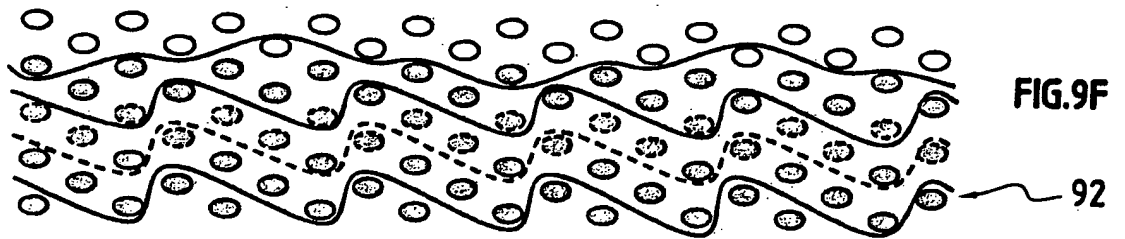
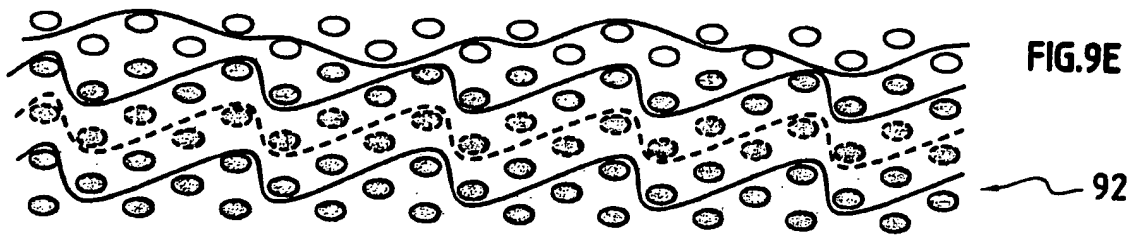
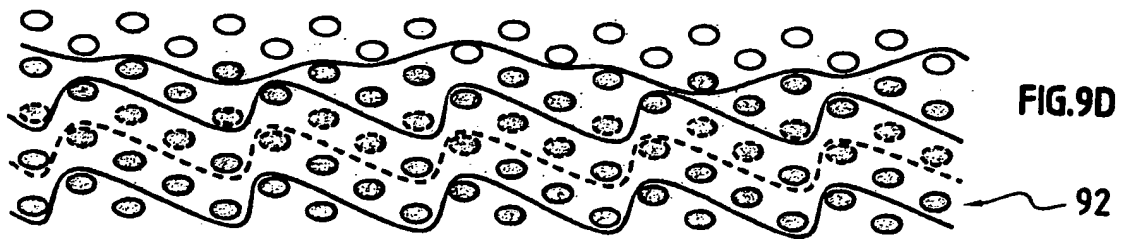


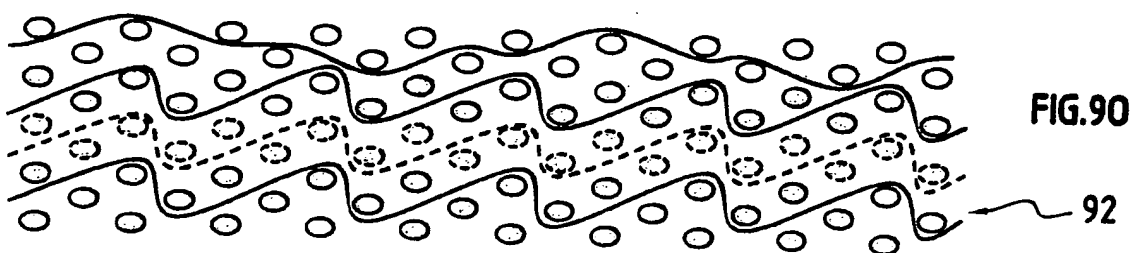
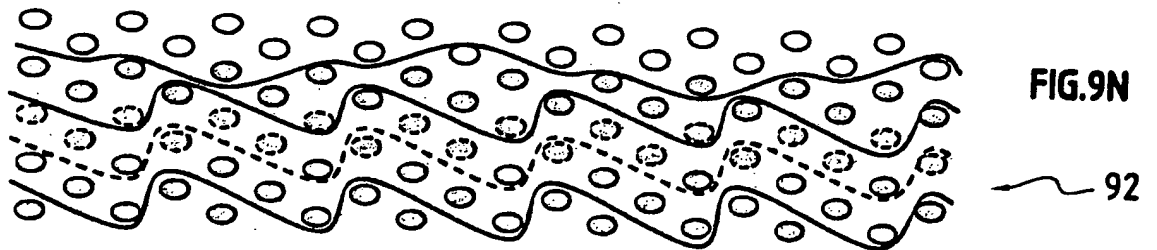
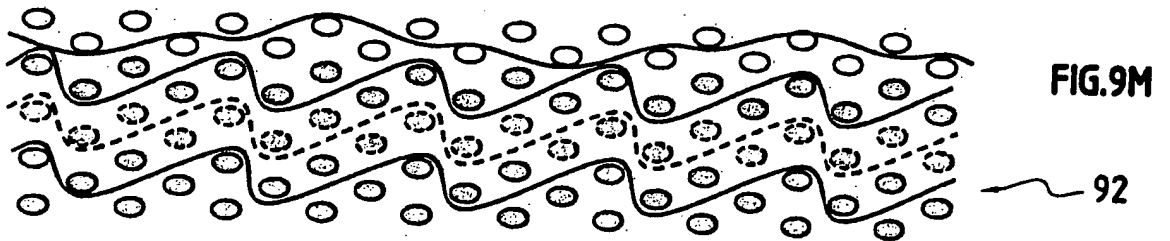
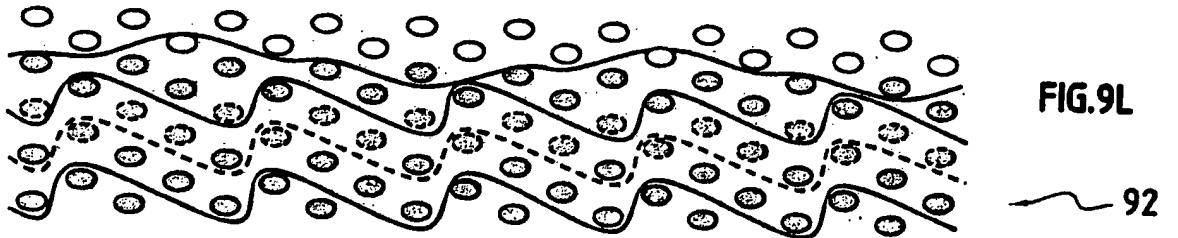
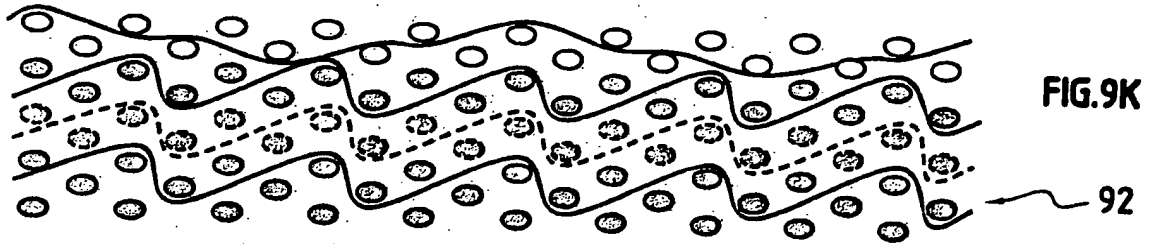
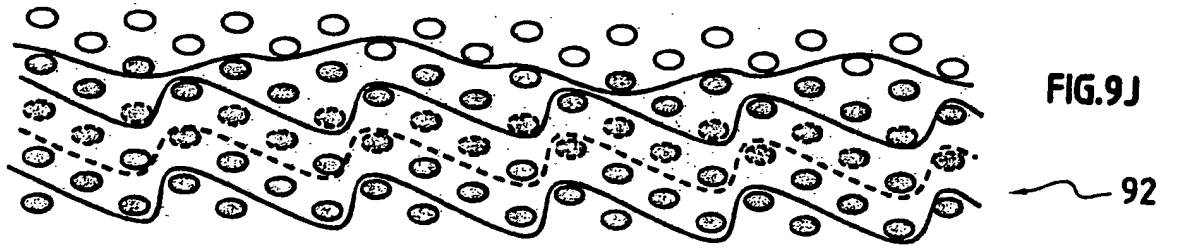
FIG. 8J

70

FIG.9







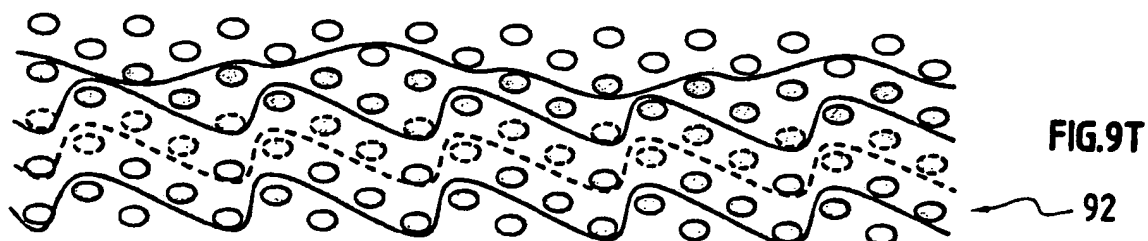
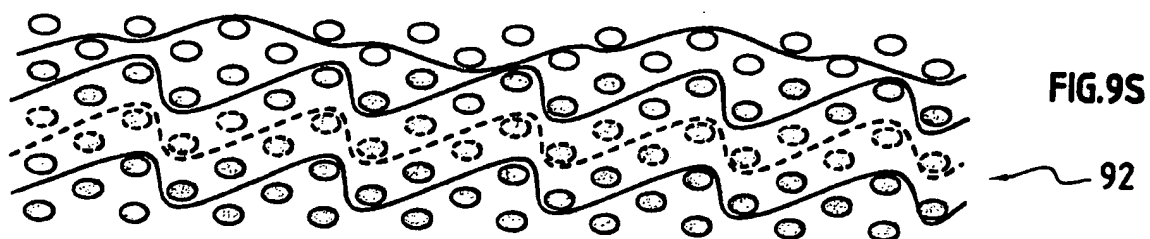
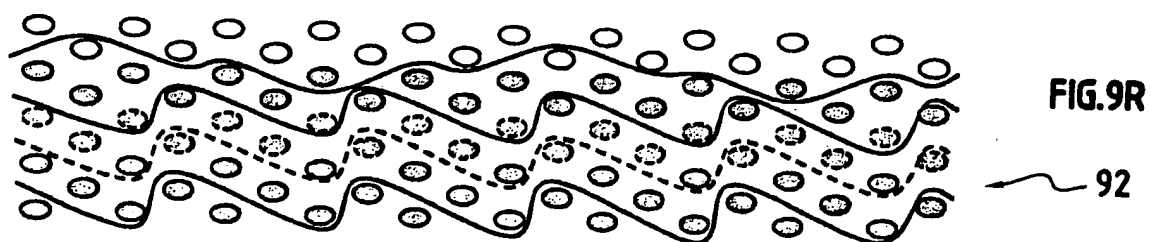
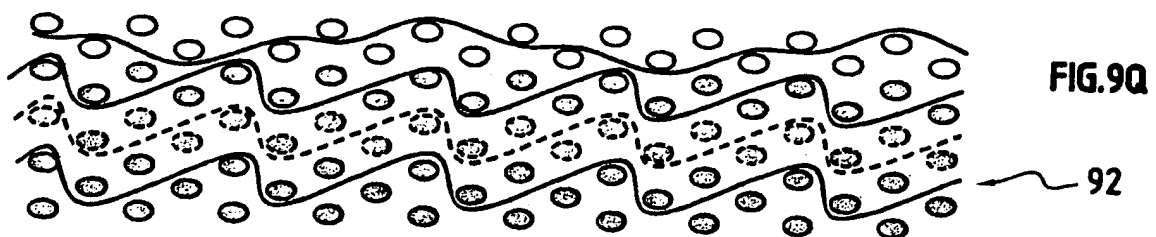
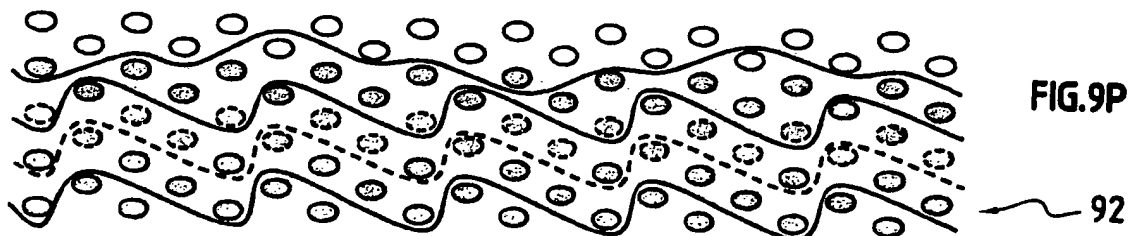
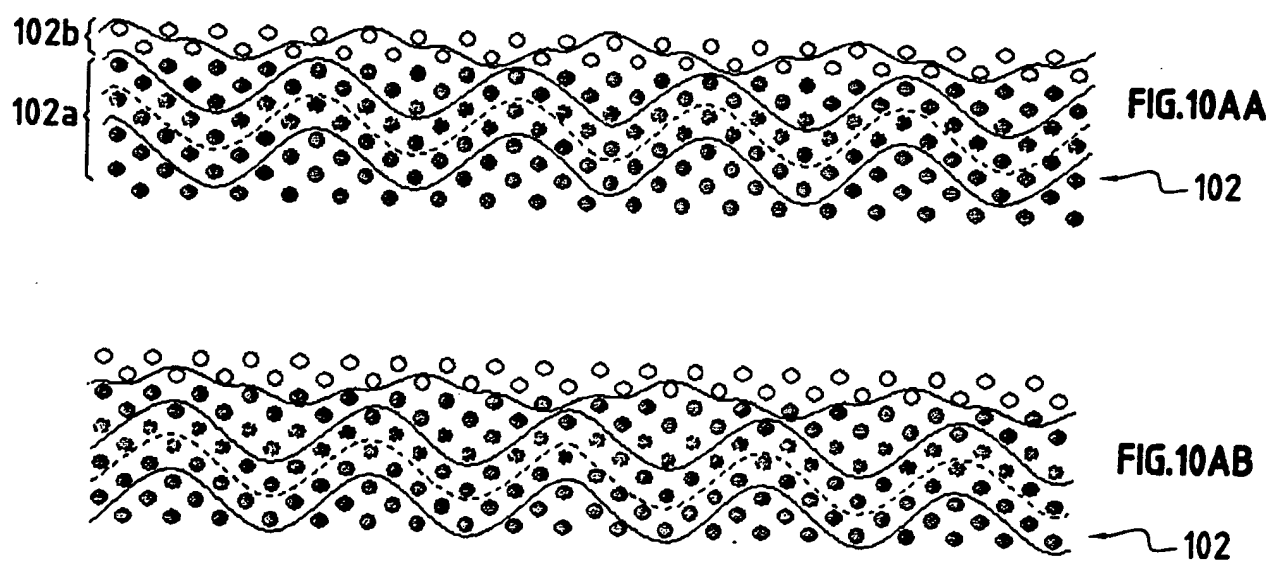


FIG.10



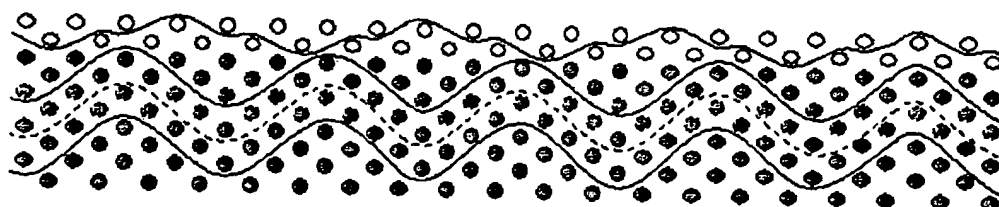


FIG. 10AC

102

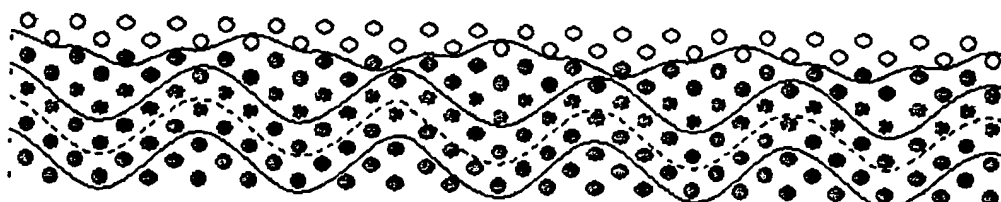


FIG. 10AD

102

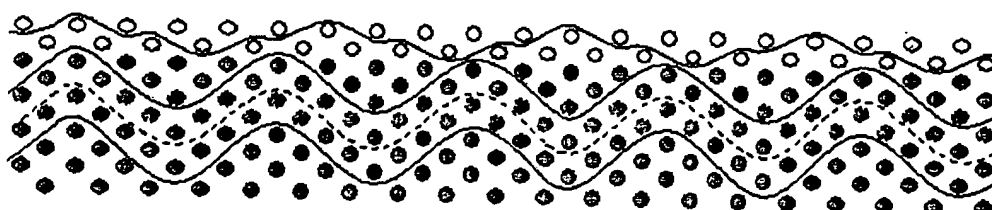


FIG. 10AE

102

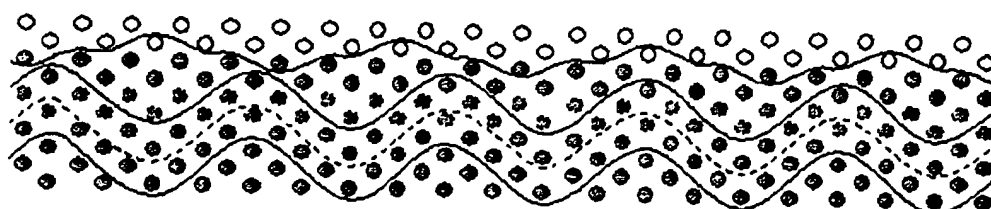


FIG. 10AF

102

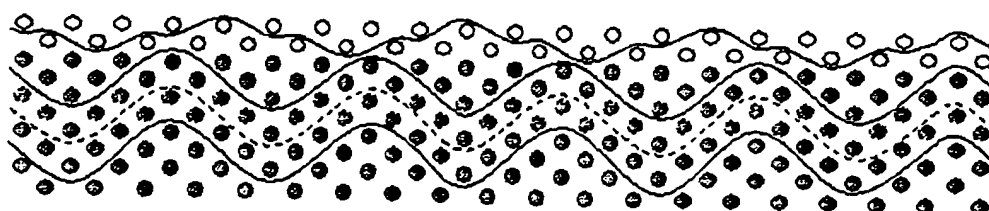
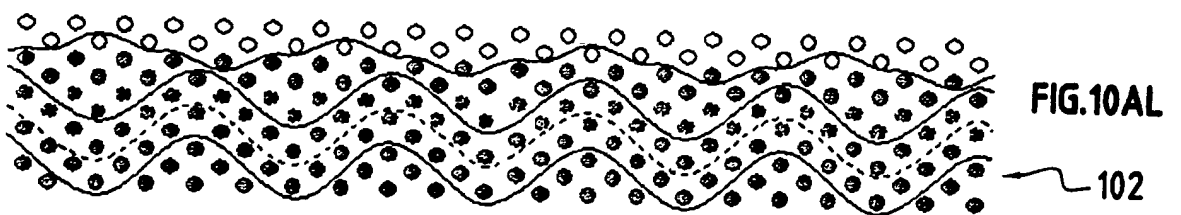
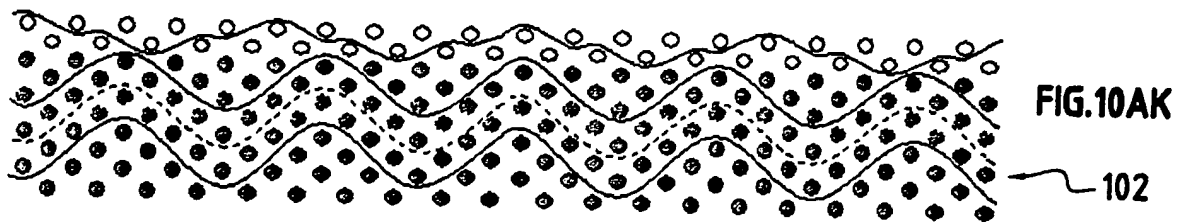
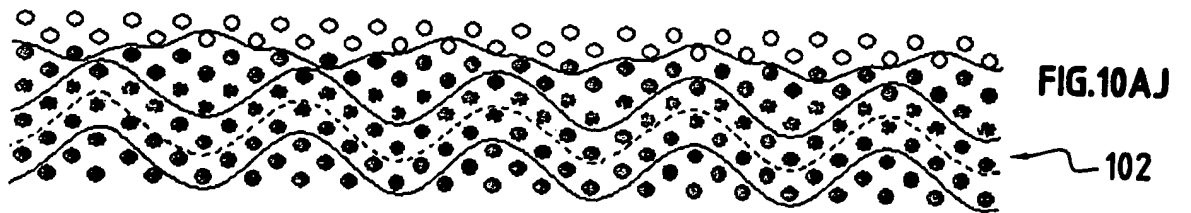
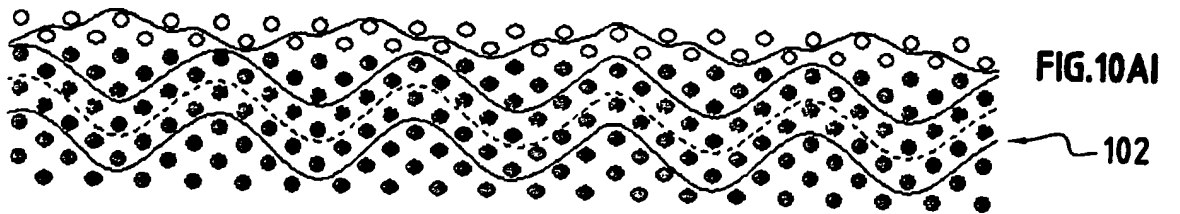
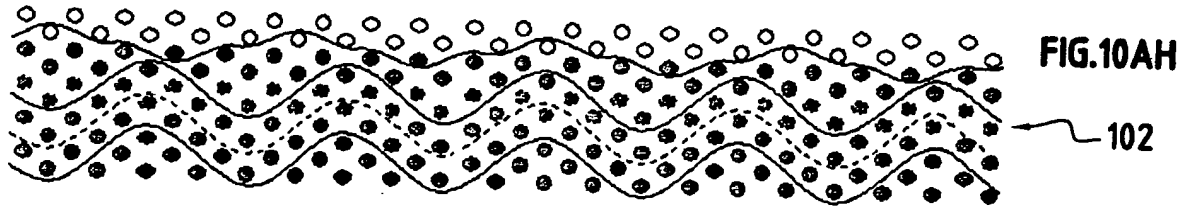
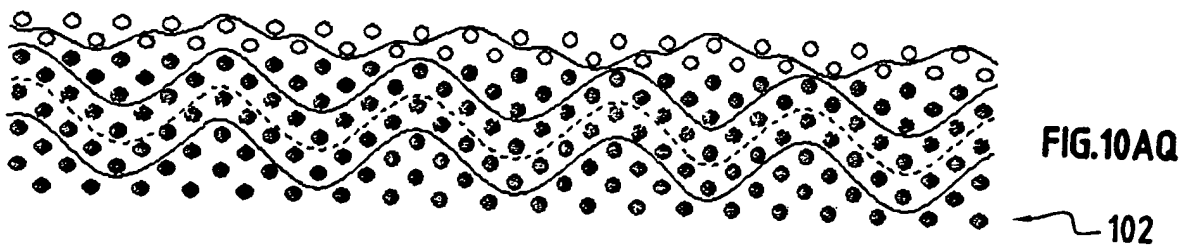
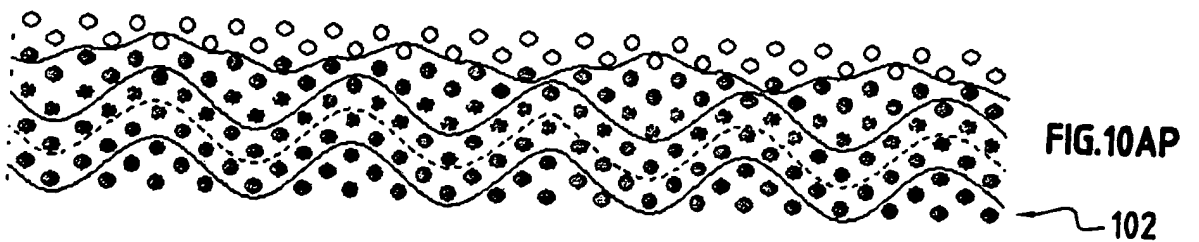
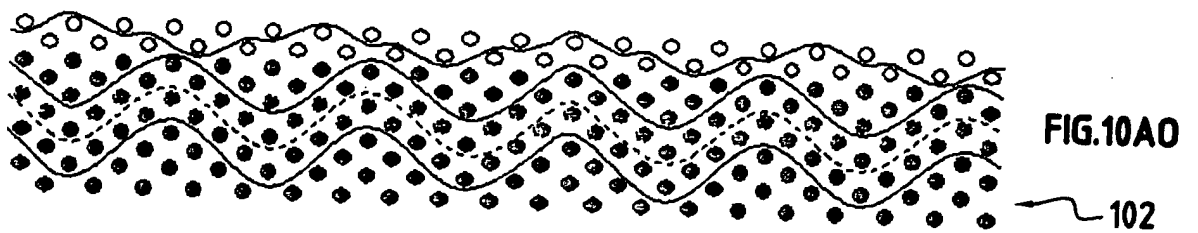
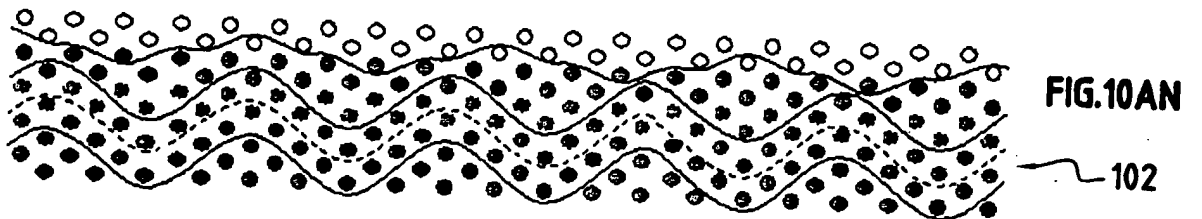
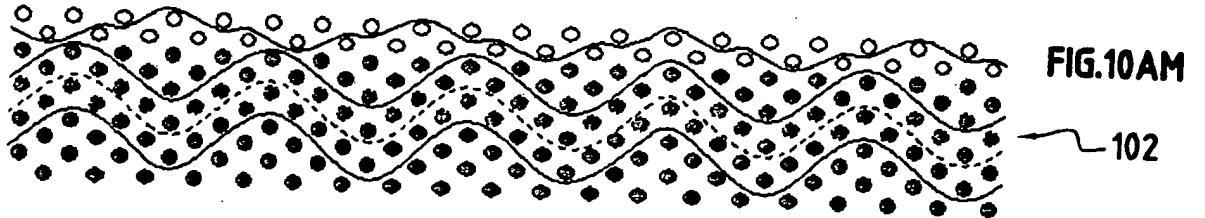
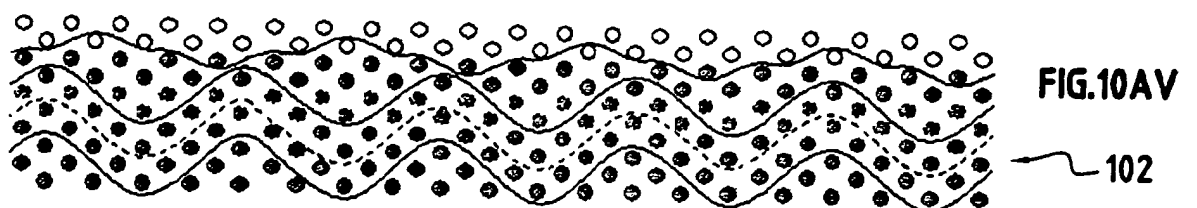
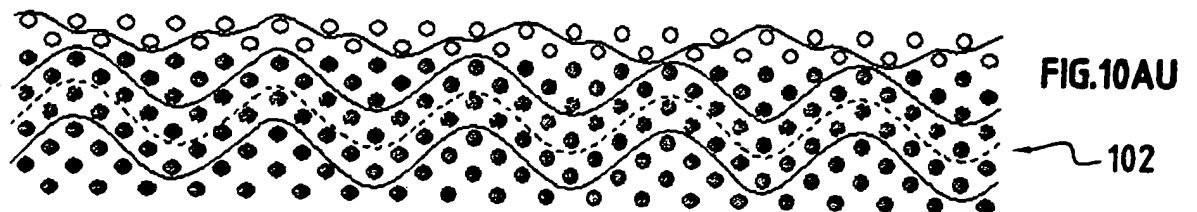
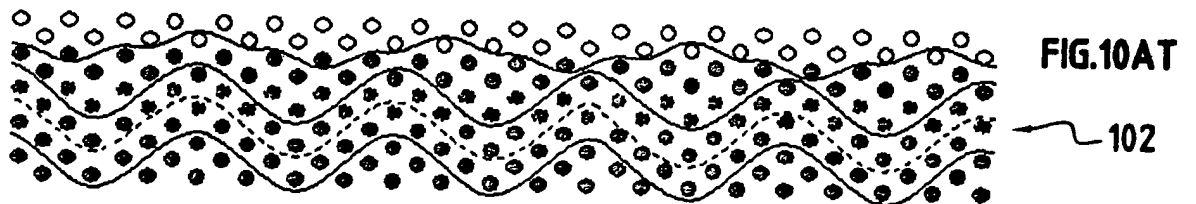
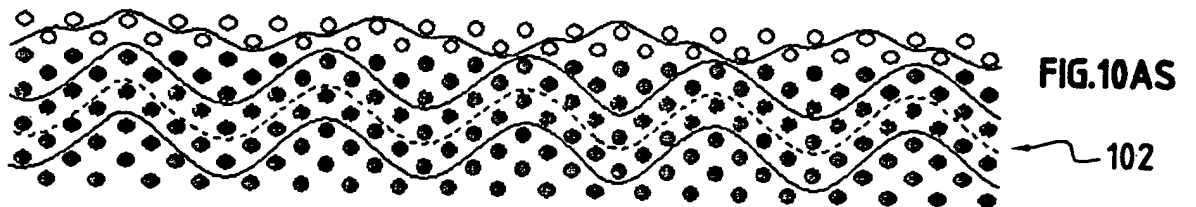
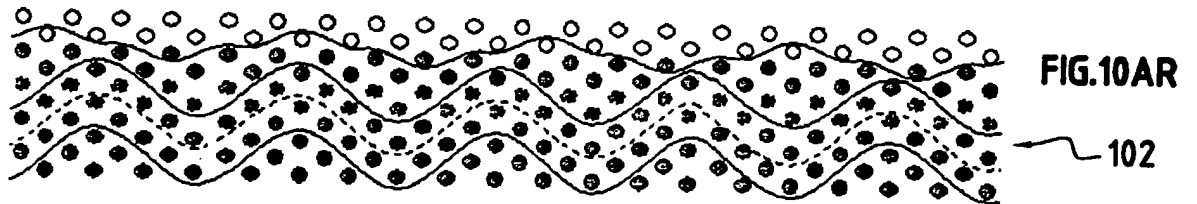


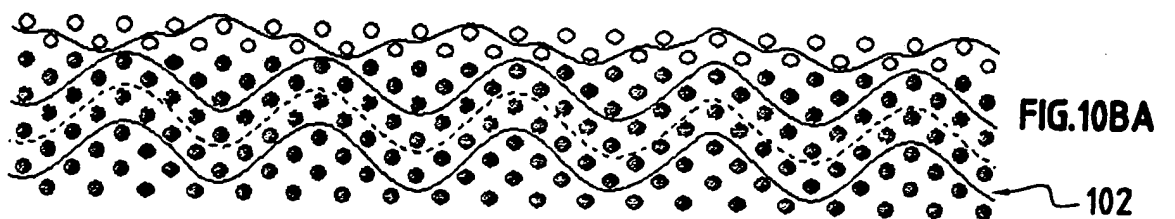
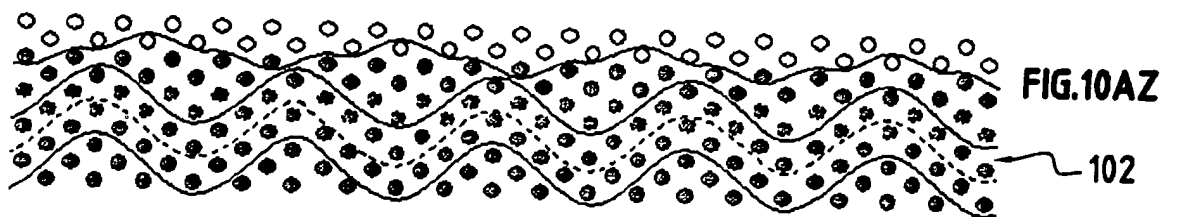
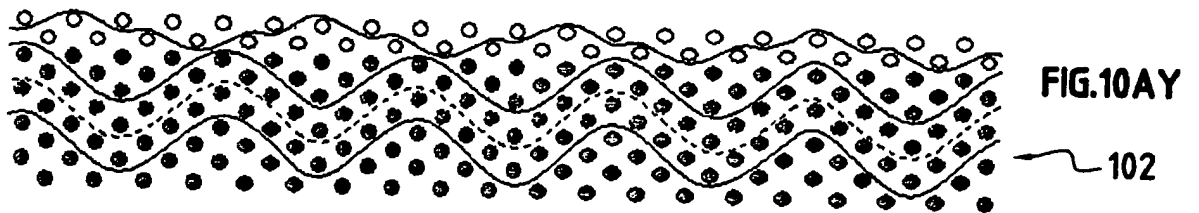
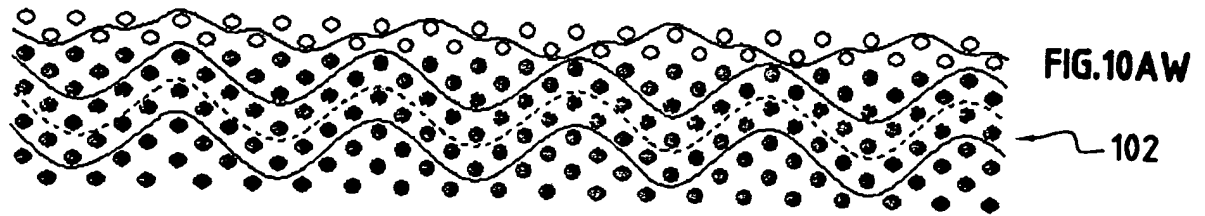
FIG. 10AG

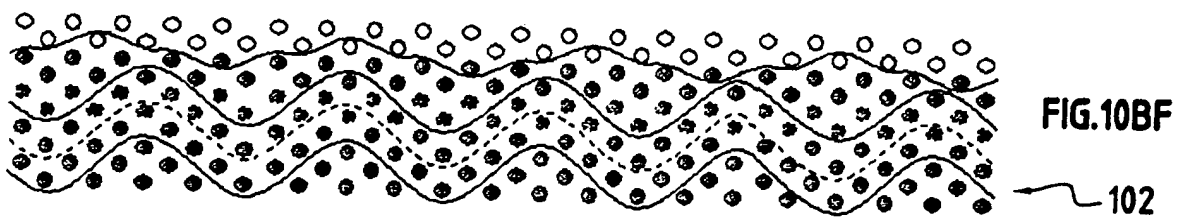
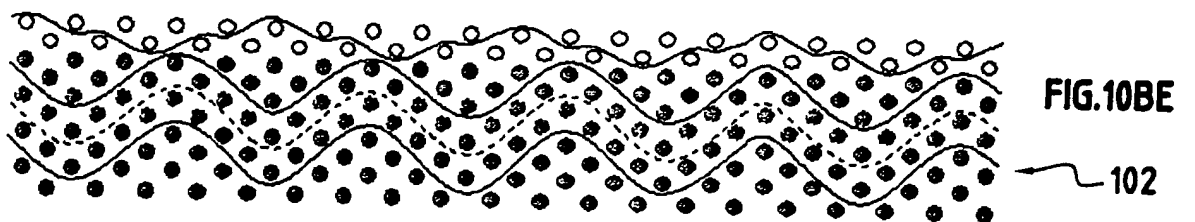
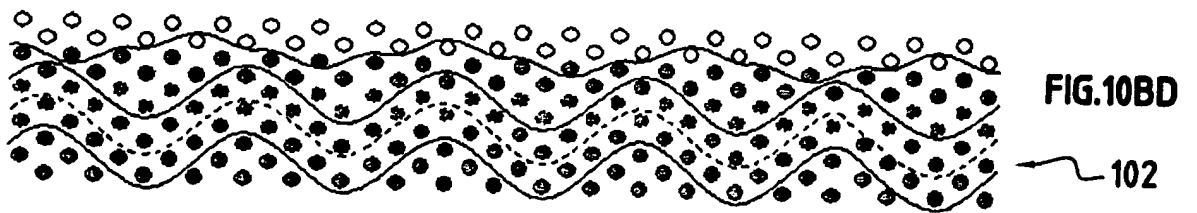
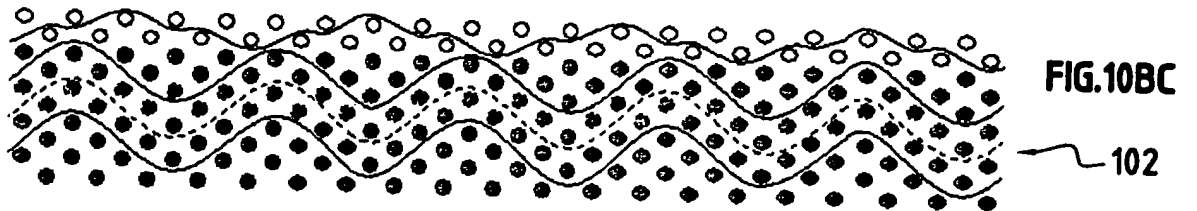
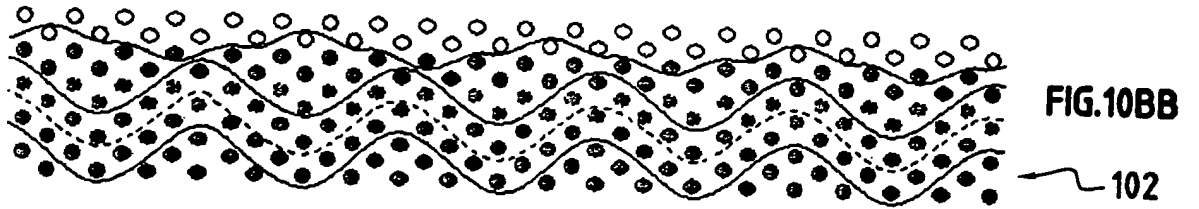
102

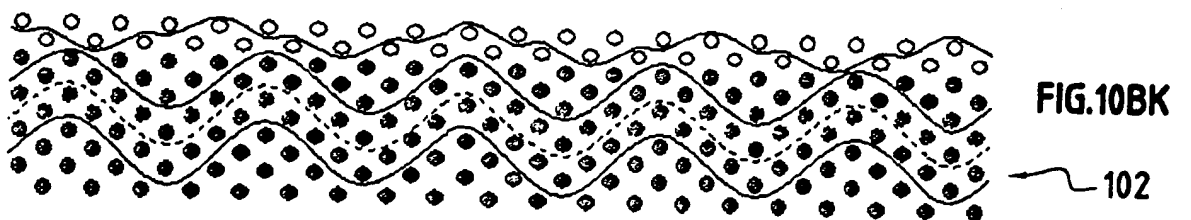
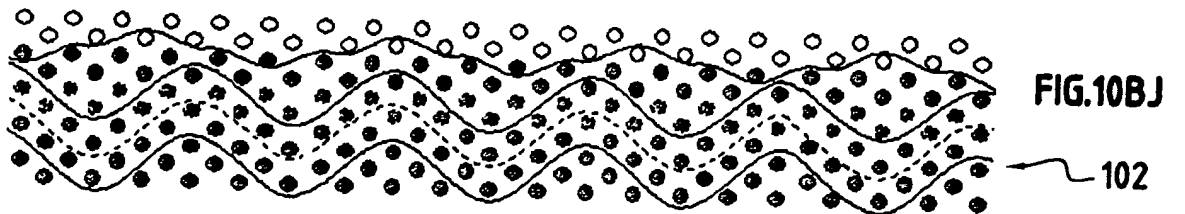
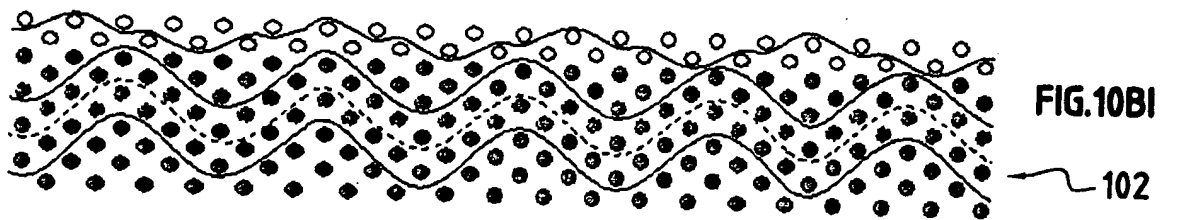
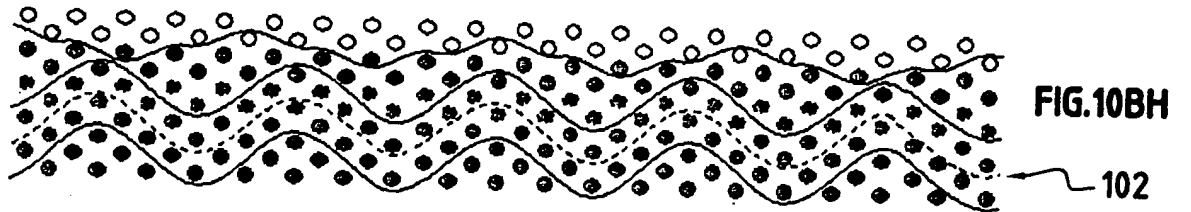
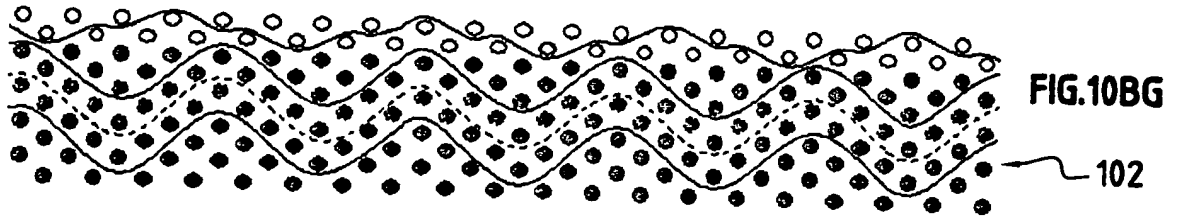












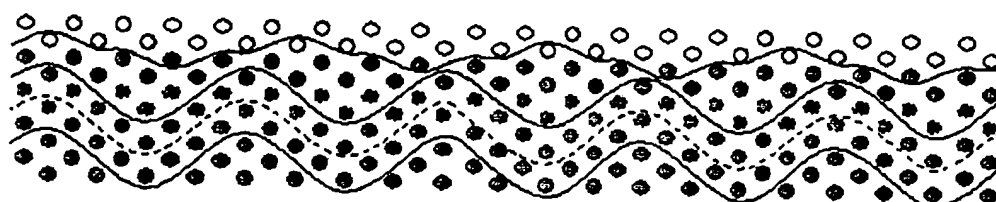


FIG. 10BL

102

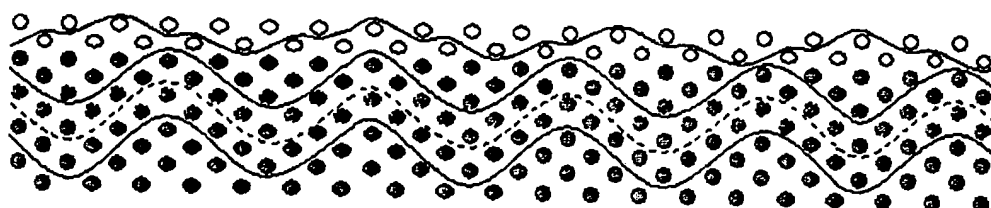


FIG. 10BM

102

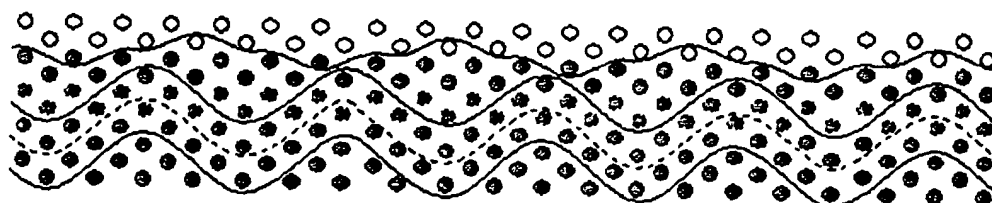


FIG. 10BN

102

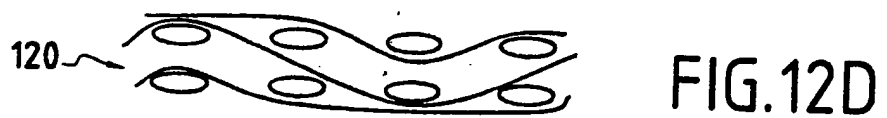
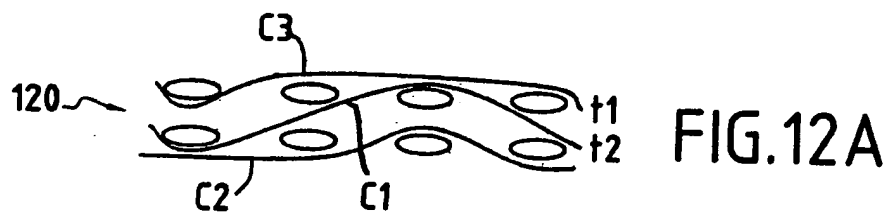
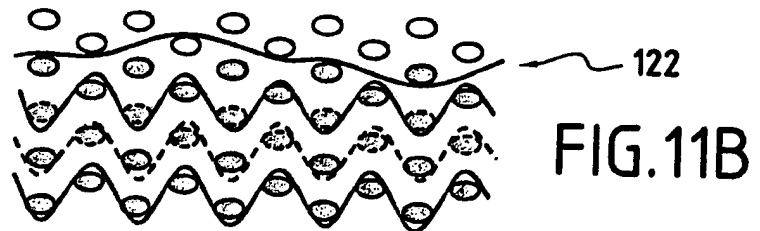
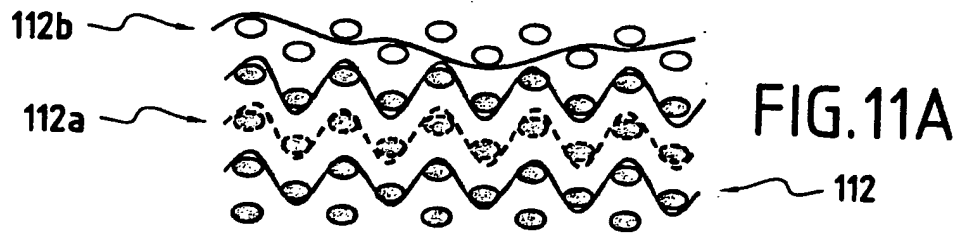
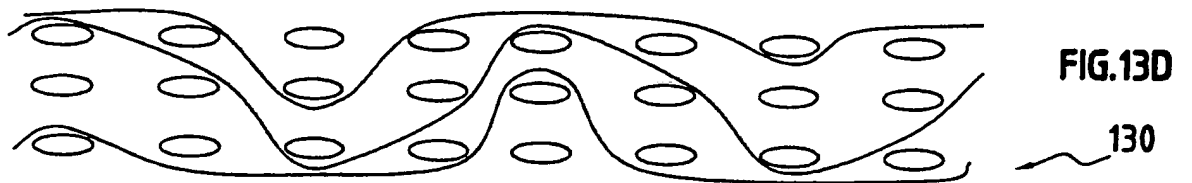
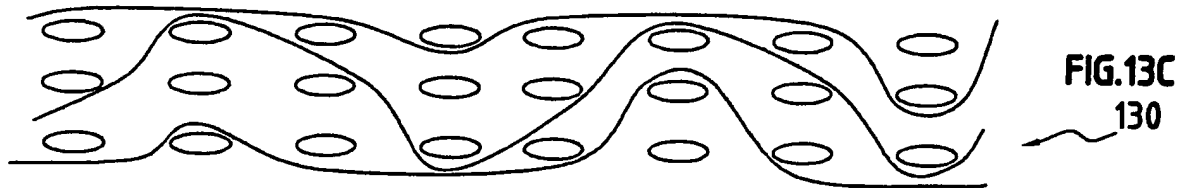
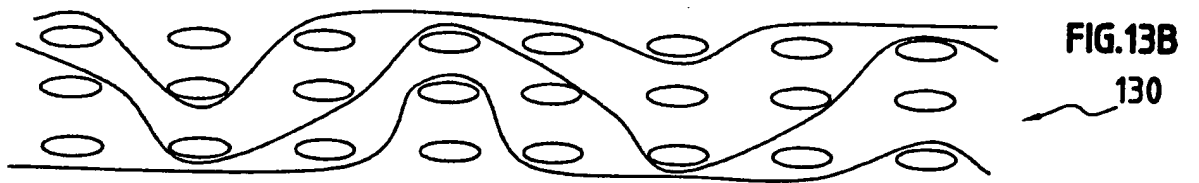
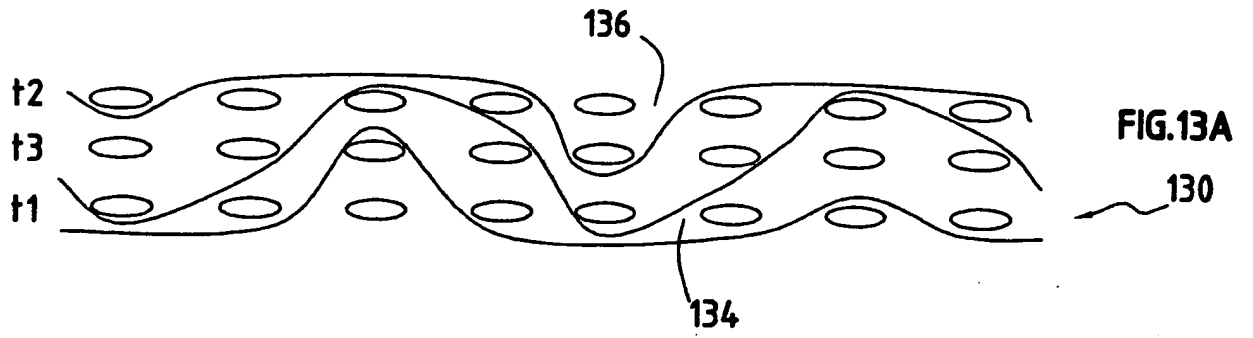


FIG.13



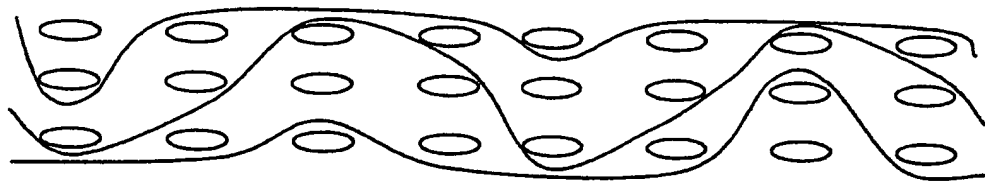


FIG. 13E

130

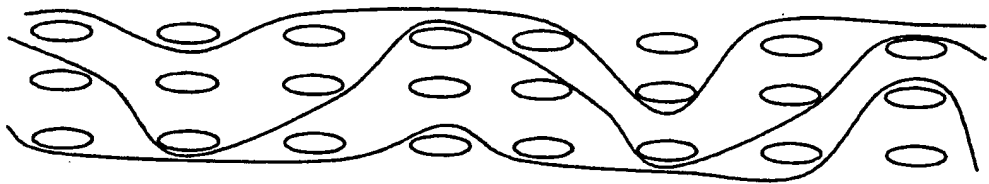


FIG. 13F

130

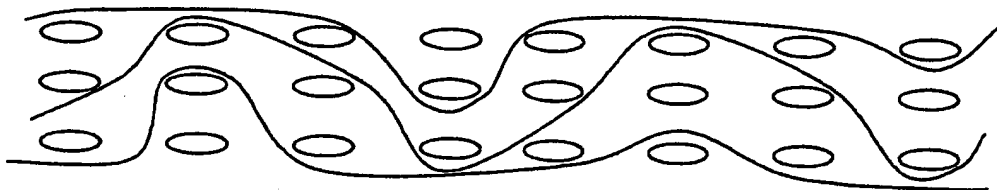


FIG. 13G

130

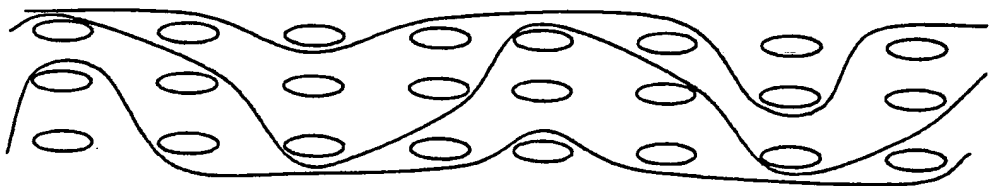


FIG. 13H

130

FIG.14

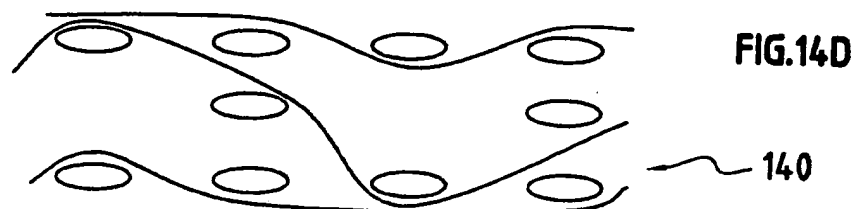
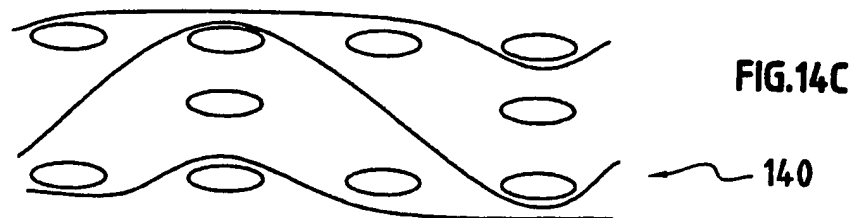
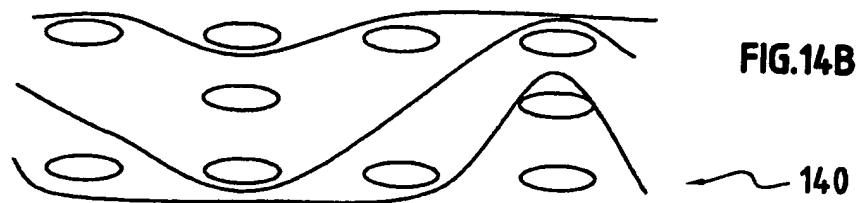
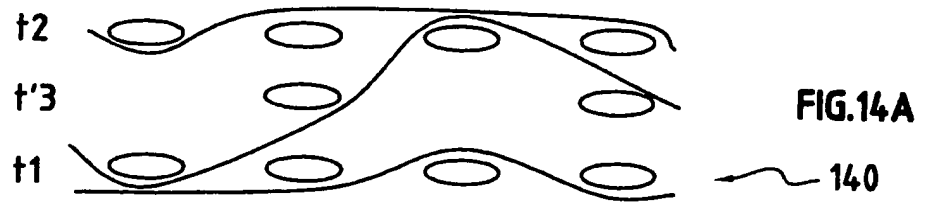
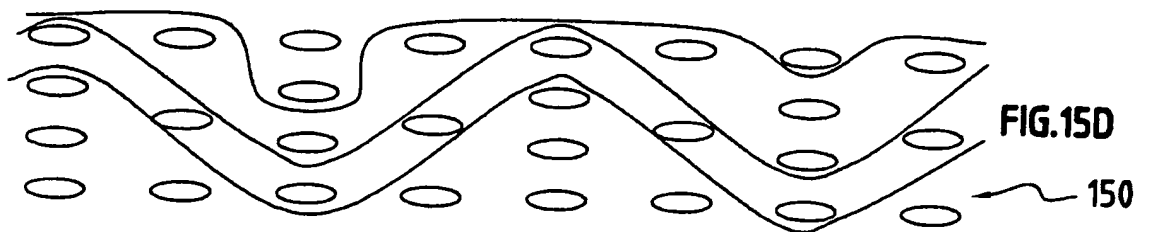
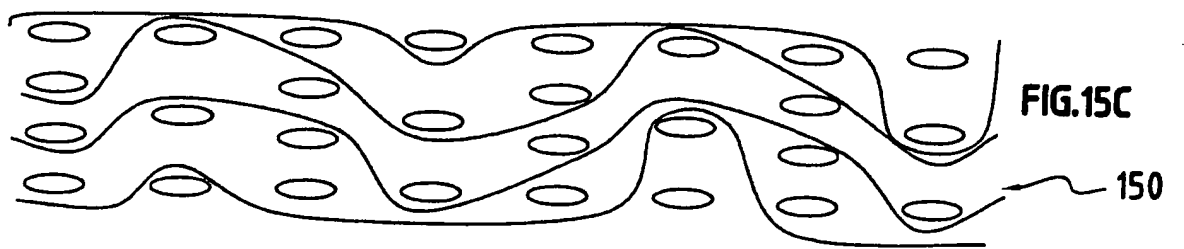
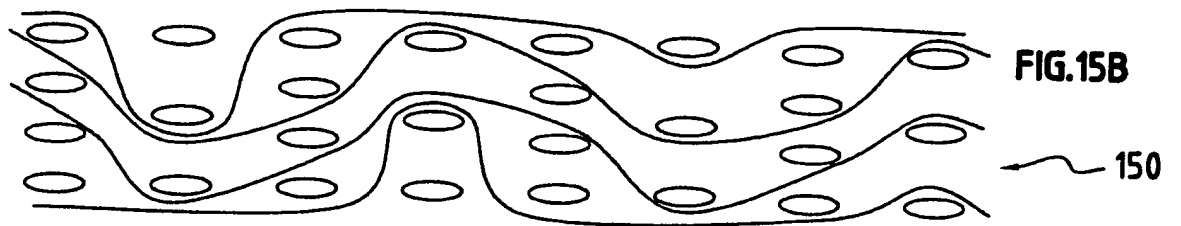
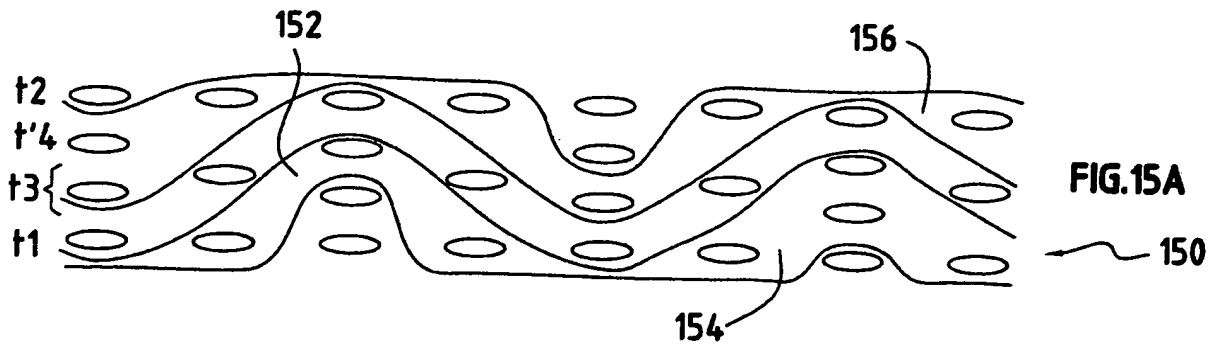
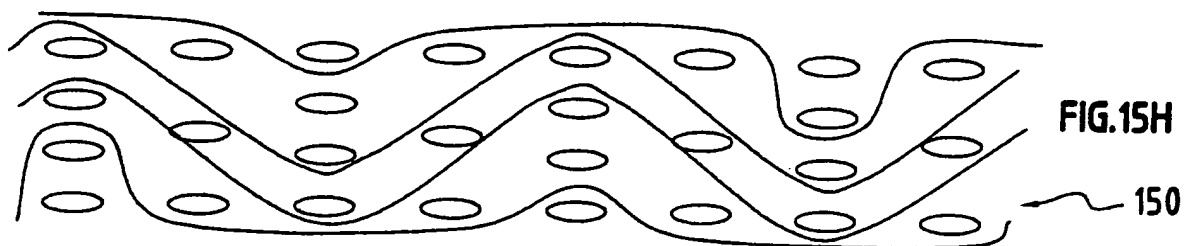
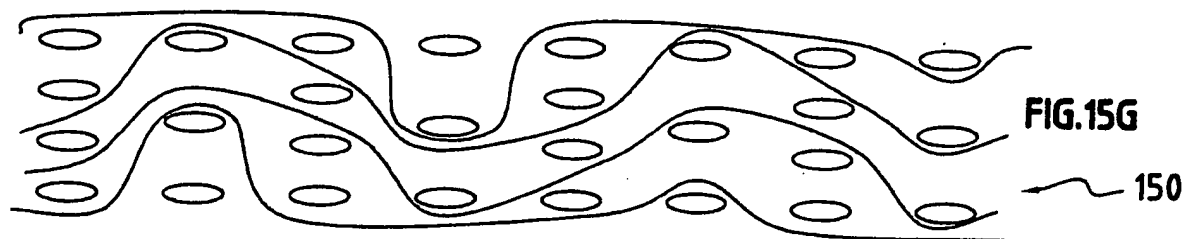
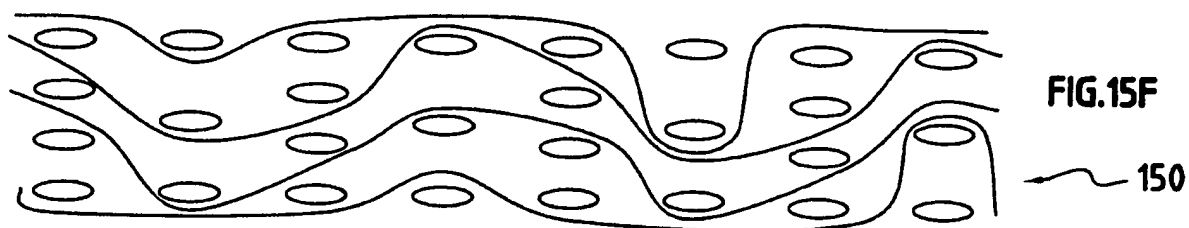
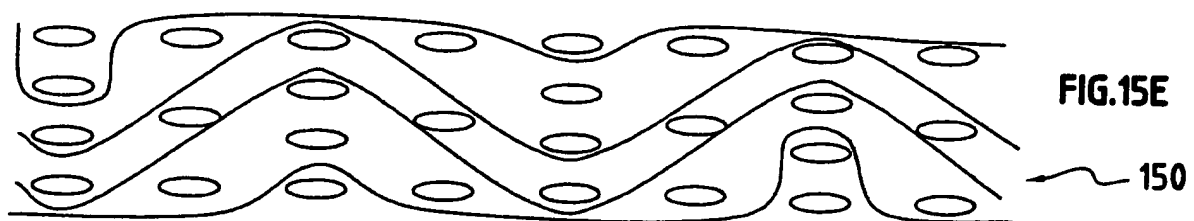


FIG.15





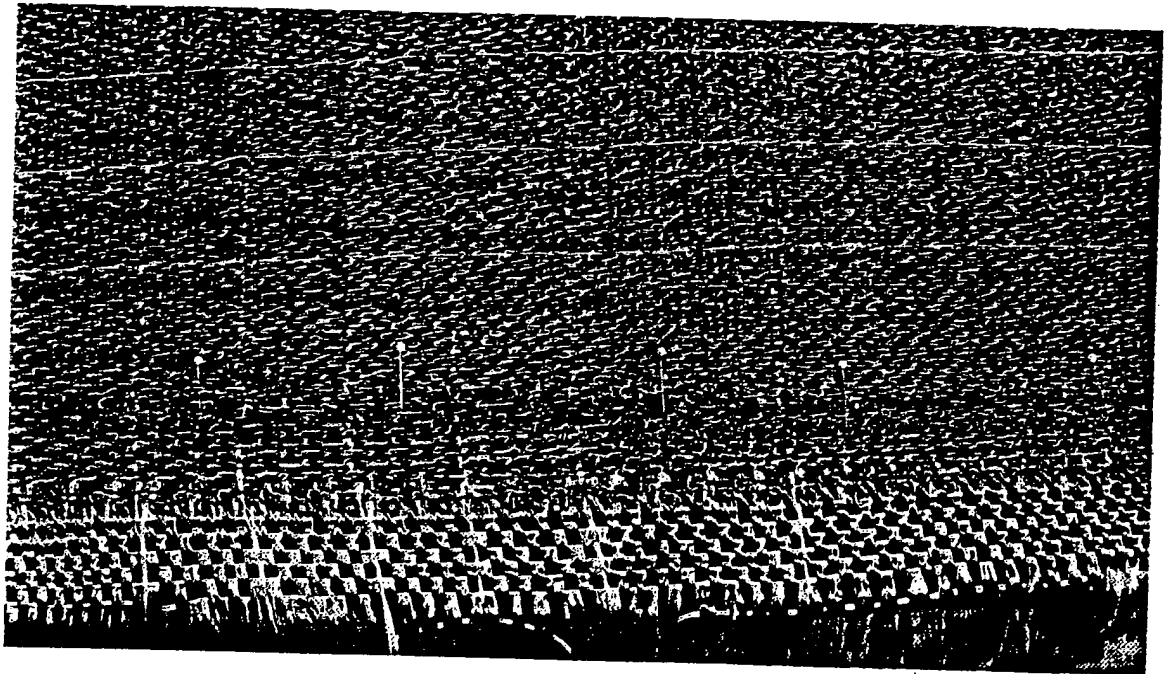


FIG.16

RESUMO

“ESTRUTURA FIBROSA DE REFORÇO TECIDA EM UMA ÚNICA PEÇA PARA A FABRICAÇÃO DE PEÇA DE MATERIAL COMPÓSITO, E, PEÇA DE MATERIAL COMPÓSITO”

- 5 Uma estrutura fibrosa de reforço tecida em uma única peça para a fabricação de peça de material compósito, tendo uma parte interna, ou núcleo (72), e uma parte adjacente a uma superfície exterior da estrutura, ou pele (74, 76), é formada por uma tecelagem tridimensional com núcleo com, pelo menos, uma armação escolhida dentre uma armação de tipo *interlock* e
- 10 uma armação de múltiplas camadas e por uma tecelagem em pele com uma armação tipo cetim diferente da armação no núcleo, a tecelagem na pele sendo de tipo de múltiplas camadas ou de tipo bidimensional.