



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

(11) PI 0718730-0 B1

(22) Data do Depósito: 12/12/2007

(45) Data de Concessão: 25/09/2018



(54) Título: ESTRUTURA EM FORMA DE FAVO DE MEL, ARTIGO, ESTRUTURA AERODINÂMICA E PAINEL

(51) Int.Cl.: B29D 99/00; B32B 3/12; B31D 3/02; B29C 53/04; B29C 70/02; E04C 2/36; B29L 31/60; B29K 77/00; B29K 101/10; B29K 101/12

(30) Prioridade Unionista: 15/12/2006 US 11/639,468

(73) Titular(es): E.I. DU PONT DE NEMOURS AND COMPANY

(72) Inventor(es): GARY LEE HENDREN; MIKHAIL R. LEVIT; SUBHOTOSH KHAN

(85) Data do Início da Fase Nacional: 15/06/2009

**“ESTRUTURA EM FORMA DE FAVO DE MEL, ARTIGO, ESTRUTURA
AERODINÂMICA E PAINEL”**

CAMPO DA INVENÇÃO

[001] A presente invenção se refere a uma estrutura em forma de favo de mel, útil em ambientes de temperatura elevada, que foi moldada de tal forma que a face da estrutura em forma de favo de mel possui uma área de curvatura que possui pelo menos dois pontos que estão localizados em diferentes planos tangenciais. Em uma realização preferida, a presente invenção se refere a uma estrutura em forma de favo de mel que possui um formato curvado.

ANTECEDENTES DA INVENÇÃO

[002] O pedido de patente US 5.096.526 descreve um processo para a formação de uma estrutura moldada a partir de um laminado termoplástico de alta temperatura de fusão e um núcleo em forma de favo de mel e, particularmente, um processo para a ligação de um laminado termoplástico em um núcleo em forma de favo de mel e, subsequentemente, moldagem da estrutura em uma ferramenta de moldagem. O processo envolve o aquecimento do laminado a mais de 600° F (315° C) para ligar as folhas de cobertura laminadas termoplásticas ao núcleo em forma de favo de mel sem adesivos e, então, moldar as folhas de cobertura com o núcleo em forma de favo de mel.

[003] As patentes US 5.137.768; US 6.544.622 e US 5.789.059 descrevem favos de mel fabricados a partir de folhas fabricadas de materiais de *para*-aramida de módulo elevado. Estes favos de mel são altamente valorizados devido a sua alta rigidez, alta relação de resistência-para-peso e resistência à temperatura. O módulo elevado dos materiais de *para*-aramida pode criar uma estrutura em forma de favo de mel muito rígida, que é desejável em muitos exemplos, mas pode criar problemas quando se tenta moldar estas

estruturas em forma de favos de mel em formatos curvados. Quando a estrutura em forma de favo de mel é moldada sobre ou em uma forma que possui uma área de curvatura, uma face da estrutura em forma de favo de mel é colocada em tensão e a outra em compressão. O lado em compressão geralmente sofre mais danos e seus danos são, em geral, inclinações das paredes celulares; isto é, um colapso ou flexão das paredes celulares na célula. Se um número maior de células possui paredes de células recurvadas, a estrutura em forma de favo de mel possui um sério defeito estrutural.

[004] Portanto, o que é preciso é uma estrutura em forma de favo de mel contendo materiais de módulo elevado que também são capazes de suportar a moldagem sem danificar um número excessivo de células da estrutura em forma de favo de mel.

DESCRIÇÃO RESUMIDA DA INVENÇÃO

[005] A presente invenção se refere a uma estrutura em forma de favo de mel que compreende células que possuem extremidades que formam uma face da estrutura em forma de favo de mel, em que a face é definida por uma pluralidade de pontos e possui uma área de curvatura em que pelo menos dois dos pontos estão localizados em diferentes planos tangenciais; as paredes das células compreendem de 5 a 50 partes em peso de material termoplástico possuindo um ponto de fusão de 120° C a 350° C; e de 50 a 95 partes em peso de uma fibra de módulo elevado que possui um módulo de 550 gramas por dtex (600 gramas por denier) ou maior, com base na quantidade total de material termoplástico e de fibra de módulo elevado nas paredes; em que menos de 25% das células da estrutura em forma de favo de mel na área de curvatura possui um ângulo reentrante superior a 180°.

BREVE DESCRIÇÃO DAS FIGURAS

[006] As Figuras 1a e 1b são representações das vistas de uma estrutura em forma de favo de mel em formato hexagonal.

[007] A Figura 2 é uma representação de outra vista de uma estrutura em forma de favo de mel de formato de célula hexagonal.

[008] As Figuras 3a, 3b e 3c são uma representação de um processo simples de formação de uma estrutura em forma de favo de mel curvada.

[009] As Figuras 4a, 4b, 4c e 4d ilustram células hexagonais não danificadas e células hexagonais danificadas possuindo paredes celulares reentrantes.

[010] As Figuras 5a, 5b, 5c e 5d ilustram células quadradas não danificadas e células quadradas danificadas possuindo paredes celulares reentrantes.

[011] A Figura 6 é uma ilustração de um artigo moldado na forma de um painel fabricado de uma estrutura em forma de favo de mel e uma ou mais folhas de face.

[012] A Figura 7 é uma vista de uma etapa do processo para a aplicação adesiva na fabricação da estrutura em forma de favo de mel.

[013] A Figura 8 é uma vista de uma etapa do processo para empilhar as folhas de papel contendo fibra na fabricação da estrutura em forma de favo de mel.

[014] A Figura 9 é uma vista de uma etapa do processo para prensar a quente a pilha de folhas de papel na fabricação da estrutura em forma de favo de mel.

[015] A Figura 10 é uma vista de uma etapa do processo para expandir uma pilha de folhas de papel na fabricação da estrutura em forma de favo de mel.

[016] As Figuras 11a e 11b são vistas do exemplo das etapas do processo para a modelagem da estrutura em forma de favo de mel.

[017] A Figura 12 é uma vista de uma etapa do processo para

comprimir a estrutura em forma de favo de mel para pelo menos fraturar parcialmente a resina termoe estável.

DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO

[018] A estrutura em forma de favo de mel compreende as células que possuem extremidades que formam uma face da estrutura em forma de favo de mel, a face é definida por uma pluralidade de pontos e possui uma área de curvatura, em que pelo menos dois dos pontos estão localizados em diferentes planos tangenciais. A Figura 1a é uma ilustração da estrutura em forma de favo de mel. A Figura 1b é uma vista ortogonal da estrutura em forma de favo de mel mostrado na Figura 1a e a Figura 2 é uma vista tridimensional da estrutura em forma de favo de mel. É mostrada a estrutura em forma de favo de mel (1) possuindo células hexagonais (2). Cada célula é formada por uma série de paredes celulares (3), e as extremidades externas das paredes celulares (4) formam as faces (5) da estrutura em forma de favo de mel. De fato, as extremidades externas das paredes celulares formam uma pluralidade de pontos (6) que permanecem em diferentes planos tangenciais na face da estrutura em forma de favo de mel. As células hexagonais são mostradas; entretanto, outros arranjos geométricos são possíveis sendo as células retangulares a outra possível disposição mais comum.

[019] A estrutura em forma de favo de mel possui uma pluralidade de pontos na face da estrutura em forma de favo de mel localizados em diferentes planos tangenciais, indicando que a face da estrutura em forma de favo de mel possui uma curvatura ou está arqueada de algum modo. Em algumas realizações preferidas, a face da estrutura em forma de favo de mel é curvada em uma forma parabólica, uma forma hiperbólica ou alguma combinação das formas curvadas. Em outras realizações preferidas, a face da estrutura em forma de favo de mel é curvada em formato de tigela ou semi-esférica. Em algumas realizações, a estrutura em forma de favo de mel pode

possuir uma combinação de uma área sem curvatura e uma área com curvatura. Nestas realizações, a área de curvatura pode ser distinguida da área sem curvatura por inspeção. A área de curvatura possuirá uma face que, em pelo menos uma dimensão da superfície, possui uma pluralidade de pontos em diferentes planos tangenciais; a área sem curvatura possuirá uma face que possui uma pluralidade de pontos, todos em um plano. Em algumas realizações, a área com curvatura possui um raio de curvatura, conforme medido a partir do centro da espessura da estrutura em forma de favo de mel, de 10 vezes a espessura da estrutura em forma de favo de mel ou menos. Em algumas realizações, a área de curvatura possui um raio de curvatura conforme medido a partir do centro da espessura da estrutura em forma de favo de mel que é de 7 a 2 vezes a espessura da estrutura em forma de favo de mel.

[020] A formação da estrutura em forma de favo de mel curvado geralmente requer flexão, moldagem ou formação da estrutura em forma de favo de mel com relação a uma forma ou em um molde possuindo uma área de curvatura, ou entre as seções macho e fêmea de um molde possuindo uma área de curvatura. Para ilustração, a Figura 3 mostra uma estrutura em forma de favo de mel (10) possuindo uma primeira face (11) e uma segunda face (12) sendo formada com relação a uma forma curvada (14) possuindo uma superfície convexa; alternativamente, ela mostra a estrutura em forma de favo de mel (10) sendo moldada em um molde curvado (15) possuindo uma superfície côncava. A primeira face (11) está em contato com a forma e, conforme a estrutura em forma de favo de mel é deformada a partir de uma superfície plana para uma estrutura curvada sobre a forma convexa, esta face está submetida à compressão. Da mesma forma, a face oposta (12) é submetida à tensão. Alternativamente, a face (11) está em contato com o molde côncavo e à medida que a estrutura em forma de favo de mel é deformada a partir de uma superfície plana para uma estrutura curvada, esta

face é submetida à tensão e a face (12) é submetida à compressão.

[021] O fato de submeter uma face da estrutura em forma de favo de mel à compressão pode colapsar as paredes celulares na face da estrutura em forma de favo de mel. A Figura 4 ilustra uma célula hexagonal não danificada (20) possuindo seis paredes celulares (21). Devido a uma compressão, a célula hexagonal pode colapsar; a célula hexagonal danificada (22) é *mostrada* com as paredes colapsadas ou recurvadas. O ângulo que as paredes colapsadas fazem na célula é denominado ângulo reentrante. A célula hexagonal (24) ainda ilustra pela utilização de uma linha sólida (25) a posição original das paredes celulares e ilustra pela utilização de uma linha pontilhada (27) uma representação de um ângulo reentrante de 180 graus. A linha pontilhada (28) representa um ângulo reentrante superior a 180 graus. O colapso da parede celular pode não ser tão distinto quanto representado na Figura 4. A parede celular pode inverter de modo que forma uma curva na célula, assim como mostrado pela célula hexagonal (22). Neste caso, o ângulo reentrante é calculado com base nas tangentes com as paredes recurvadas. A Figura 4 mostra uma célula da estrutura em forma de favo de mel (30) possuindo uma parede celular recurvada (31) com as tangentes (32) e (33) traçadas para mostrar como o ângulo reentrante (34) é medido. Na figura mostrada, o ângulo reentrante é superior a 180 graus. A partir das ilustrações, pode ser facilmente considerado que qualquer colapso substancial de duas paredes celulares adjacentes no centro da célula resultará, em geral, em um ângulo reentrante superior a 180 graus.

[022] A Figura 5 ilustra uma célula quadrada não danificada (40) possuindo quatro paredes celulares (41). Devido à compressão, a célula quadrada pode colapsar; a célula quadrada danificada (42) é mostrada com as paredes colapsadas ou recurvadas (43). A célula quadrada (44) ainda ilustra, pela utilização de uma linha sólida (45), a posição original das paredes

celulares e ilustra, pela utilização de uma linha pontilhada (47), uma representação de um ângulo reentrante superior a 180 graus. Para uma célula quadrada, a linha pontilhada (47) pode ser desenhada através da parede celular (41) em qualquer ponto. A linha pontilhada (48) representa um ângulo reentrante superior a 180 graus. O colapso de uma parede celular pode não ser tão distinguível quanto representado na Figura 5. A parede celular pode inverter de um modo que forma uma curva na célula conforme mostrado pela célula hexagonal (42). Neste caso, o ângulo reentrante é calculado com base nas tangentes com as paredes recurvadas. A Figura 5 mostra uma célula de estrutura em forma de favo de mel (50) possuindo paredes celulares recurvadas (51) com tangentes (52) e (53) traçadas para mostrar como o ângulo reentrante (54) é medido. Na figura mostrada, o ângulo reentrante é superior a 180 graus. A partir das ilustrações, pode ser facilmente considerado que qualquer colapso substancial de duas paredes celulares adjacentes no centro da célula irá resultar, em geral, em um ângulo reentrante superior a 180 graus. O número de células possuindo um ângulo reentrante superior a 180 graus pode ser determinado pela inspeção, ou no caso de células excessivamente pequenas, outros métodos ópticos.

[023] A estrutura em forma de favo de mel pode ser formada em um formato curvado ou arqueado sem colapso substancial das células que são submetidas à compressão na área de curvatura. Na verdade, após a formação, menos de 25% das células da estrutura em forma de favo de mel na área de curvatura possuem um ângulo reentrante superior a 180 graus. Em uma realização preferida, menos de 15% das células da estrutura em forma de favo de mel na área de curvatura possui um ângulo reentrante superior a 180 graus. Acredita-se que a combinação de uma fibra de alto módulo e uma porção suficiente do material termoplástico nas paredes celulares forneça uma estrutura mais maleável que pode deformar sem colapso substancial das

células, embora forneça uma estrutura em forma de favo de mel mais moderna que possui alta rigidez e alta estabilidade de temperatura.

[024] As paredes celulares da estrutura em forma de favo de mel são, de preferência, formadas a partir de um papel que compreende uma fibra de módulo elevado e um material termoplástico. Conforme empregado no presente, o termo “papel” é empregado em seu significado normal e pode ser preparado utilizando os processos e equipamentos de fabricação do papel.

[025] O papel utilizado na presente invenção pode ser formado no equipamento em qualquer escala de telas de laboratório até maquinaria de fabricação de papel de tamanho comercial, tal como uma Fourdrinier ou máquinas de papel de fio inclinado. Um processo típico envolve a fabricação de uma dispersão de material fibroso de módulo elevado, tal como um floco e/ou polpa e um material ligante em um líquido aquoso, drenando o líquido da dispersão para gerar uma composição úmida e secando a composição de papel úmido. A dispersão pode ser fabricada pela dispersão das fibras e, então, pela adição do material ligante ou pela dispersão do material ligante e, então, pela adição das fibras. A dispersão também pode ser fabricada pela combinação de uma dispersão de fibras com uma dispersão do material ligante. Caso o material ligante for uma fibra, a fibra ligante pode ser adicionada à dispersão ao primeiro fabricar uma mistura com fibras de módulo elevado, ou a fibra ligante pode ser adicionada separadamente na dispersão. A concentração das fibras na dispersão pode variar de 0,01 a 1,0% em peso com base no peso total da dispersão. A concentração de um material ligante na dispersão pode ser de até 50% em peso com base no peso total dos sólidos.

[026] Em um processo típico, o líquido aquoso da dispersão é geralmente a água, mas também inclui diversos outros materiais, tais como os materiais de ajuste do pH, auxiliares de formação, tensoativos, anti-espumantes e similares. O líquido aquoso é geralmente drenado da dispersão

pela condução da dispersão sobre uma tela ou outro suporte perfurado, retendo os sólidos dispersos e, então, passando o líquido para gerar uma composição de papel úmido. A composição úmida, uma vez formada no suporte, é geralmente drenada a água em vácuo e/ou outras forças de pressão e, ainda, seca pela evaporação do líquido remanescente.

[027] Em uma realização preferida, o material fibroso de módulo elevado e um ligante termoplástico, tal como uma mistura de fibras curtas ou fibras curtas e partículas ligantes, pode ser transformado em calda para formar uma mistura que é convertida em papel em uma tela de fio ou correia. É feita referência às patentes e pedidos de patente US 3.756.908 de Gross; US 4.698.267 e US 4.729,921 de Tokarsky; US 5.026.456 de Hesler *et al.*; US 5.223.094 de Kirayoglu *et al.*; US 5.314.742 de Kirayoglu *et al.*; US 6.458.244 e US 6.551.456 de Wang *et al.*; e US 6.929.848 e 2003-0082974 de Samuels *et al.*, para os processos ilustrativos para a formação de papeis de diversos tipos de material fibroso e ligantes.

[028] Uma vez que o papel de aramida é formado, ele é, de preferência, calandrado a quente, com temperatura e pressão elevada a partir dos rolos, aumentando a força de ligação do papel. Esta etapa aumenta a densidade e a força do papel. Geralmente uma ou mais camadas de papel são calandradas na junção entre os rolos de metal-metal, metal-compósito ou compósito-compósito. Alternativamente, uma ou mais camadas de papel podem ser comprimidas em uma prensa plana em uma pressão, temperatura e tempo que são ótimas para uma composição particular e uma aplicação final. O papel de calandragem, deste modo, também diminui a porosidade do papel. A espessura do papel utilizado na presente invenção é dependente do uso final ou das propriedades desejadas da estrutura em forma de favo de mel e, em algumas realizações, é tipicamente de 1 a 5 mils de espessura. Em algumas realizações, o peso de base do papel é de 0,5 a 6 onças por jardas quadradas.

Do mesmo modo, o tratamento a quente do papel, tal como o tratamento a quente radiante, como uma etapa independente antes, após ou ao invés da calandragem ou da compressão, pode ser conduzido caso o reforço ou alguma outra modificação na propriedade seja desejado, sem ou com a adição da densificação.

[029] A estrutura em forma de favo de mel compreende fibras de módulo elevado possuindo um módulo tensil ou de Young de 600 gramas por denier (550 gramas por dtex) ou maior. O módulo elevado da fibra fornece a rigidez necessária da estrutura em forma de favo de mel final e do painel correspondente. Em uma realização preferida, o módulo de Young da fibra é de 900 gramas por denier (820 gramas por dtex) ou maior. Em uma realização preferida, a tenacidade da fibra é de pelo menos 21 gramas por denier (19 gramas por dtex) e sua elongação é de pelo menos 2% de modo a sobreviver melhor ao processamento de moldagem e fornecer maior nível das propriedades mecânicas da estrutura final.

[030] Em uma realização preferida, a fibra de modulo elevado é a fibra resistente ao calor. Por “fibra resistente ao calor” entende-se que a fibra retém, de preferência, 90% de seu peso da fibra quando aquecida ao ar a 500° C e uma velocidade de 20° C por minuto. Tal fibra é normalmente resistente à chama, indicando que a fibra ou um tecido fabricado a partir da fibra possui um Índice de Oxigênio Limitante (LOI) tal que a fibra ou o tecido não irá suportar uma chama ao ar, o intervalo de LOI preferido é de cerca de 26 ou maior.

[031] As fibras de módulo elevado podem estar na forma de um floco ou uma polpa ou uma mistura das mesmas. Por “floco” entende-se as fibras que possuem um comprimento de 2 a 25 milímetros, de preferência, de 3 a 7 milímetros e um diâmetro de 3 a 20 micrômetros, de preferência, de 5 a 14 micrômetros. Se o comprimento do floco for inferior a 3 milímetros, seu impacto na força do papel não será alto o suficiente, e se for maior do que 25 milímetros

será quase impossível formar uma rede uniforme por um método de deposição a úmido. Se o diâmetro do floco for inferior a 5 micrômetros, pode ser difícil produzi-lo com uma uniformidade e reprodutibilidade suficiente e, se for maior de que 20 micrômetros, é virtualmente impossível formar o papel uniforme de peso de base de leve a médio. O floco é geralmente fabricado ao cortar filamentos fiados contínuos em pedaços de comprimento específico.

[032] O termo “polpa”, conforme utilizado no presente, significa partículas de material possuindo uma haste e fibrilas que se prolongam geralmente a partir da mesma, em que a haste é geralmente colunar e de cerca de 10 a 50 micrômetros de diâmetro e as fibrilas são finas, membros tipo cabelo geralmente ligados à haste medindo apenas uma fração de um micrômetro ou de apenas poucos micrômetros de diâmetro e de cerca de 10 a 100 micrômetros de comprimento.

[033] Em algumas realizações, as fibras de módulo elevado na presente invenção incluem as fibras fabricadas de *para*-aramida, polibenzazol ou polímero de polipiridazol ou suas misturas. Em algumas realizações, as fibras de módulo elevado úteis na presente invenção incluem a fibra de carbono. Em uma realização preferida, a fibra de módulo elevado é fabricada a partir do polímero de aramida, especialmente o polímero de *para*-aramida. Em uma realização especialmente preferida, a fibra de módulo elevado é a poli(*para*-fenileno tereftalamida).

[034] Conforme utilizado no presente, o termo “aramida” significa uma poliamida em que pelo menos 85% das ligações de amida (-CONH-) estão ligadas diretamente a dois anéis aromáticos. Por “*para*-aramida” entende-se dois anéis ou radicais que estão *para* orientados com relação entre si ao longo da cadeia molecular. Os aditivos podem ser utilizados com a aramida. Na verdade, foi descoberto que até tanto quando 10%, em peso, de outro material polimérico pode ser misturado com a aramida ou que os copolímeros podem

ser utilizados possuindo tanto quanto 10% de outra diamina substituída pela diamina da aramida ou tanto quanto 10% de outro cloreto diácido substituído pelo cloreto diácido da aramida. Em algumas realizações, a *para*-aramida preferida é a poli(*para*-fenileno tereftalamida). Os métodos para fabricação de fibras de *para*-aramida úteis na presente invenção são geralmente descritas em, por exemplo, nas patentes US 3.869.430; US 3.869.429 e US 3.767.756. Tais fibras orgânicas de poliamida aromáticas e diversas formas destas fibras estão disponíveis pela E. I. DuPont de Nemours and Company, Wilmington, Delaware com o nome comercial de fibras de Kevlar® e pela Teijin, Ltd., com o nome comercial de Twaron®.

[035] As fibras de polibenzazol disponíveis comercialmente e úteis na presente invenção incluem as fibras de Zylon® PBO-AS (poli-(*p*-fenileno-2,6-benzobisoxazol)), fibra de Zylon® PBO-HM (poli-(*p*-fenileno-2,6-benzobisoxazol)), disponível pela Toyobo, Japão. As fibras de carbono disponíveis comercialmente e úteis na presente invenção incluem as fibras de PBI® disponíveis pela Toho Tenax America, Inc.

[036] A estrutura em forma de favo de mel possui de 5 a 50 partes em peso de material termoplástico possuindo um ponto de fusão de 120 a 350° C. Em algumas realizações preferidas, o material termoplástico está presente em uma quantidade que é de 20 a 40 partes em peso. Por termoplástico indica-se que possui sua definição de polímero tradicional; isto é, estes materiais fluem do modo como um líquido viscoso quando aquecido e solidificado quando resfriado e assim o faz reversivelmente diversas vezes em aquecimentos e resfriamentos subsequentes.

[037] Em algumas outras realizações preferidas, o ponto de fusão do termoplástico é de 180° a 300° C. Em algumas outras realizações preferidas, o ponto de fusão do termoplástico é de 220° a 250° C. embora os papéis possam ser fabricados com um material termoplástico possuindo um

ponto de fusão inferior a 120° C, este papel pode estar suscetível a um fluxo de fusão indesejável, à aderência e a outros problemas após a fabricação do papel. Por exemplo, durante a fabricação da estrutura em forma de favo de mel, após o adesivo de linha de nó ser aplicado no papel, geralmente o calor é aplicado para remover o solvente do adesivo. Em outra etapa, as folhas são prensadas para aderir às folhas nas linhas de nó. Durante uma destas etapas, caso o papel possua um material termoplástico de baixo ponto de fusão, o material pode fluir e aderir de modo indesejável as folhas de papel no equipamento de fabricação e/ou nas outras folhas. Portanto, de preferência, os materiais termoplásticos utilizados nos papéis podem fundir ou fluir durante a formação e a calandragem do papel, mas não fundem ou fluem de modo apreciável durante a fabricação da estrutura em forma de favo de mel. Os materiais termoplásticos que possuem um ponto de fusão acima de 350° C são indesejáveis porque requerem tais temperaturas elevadas para amolecer aqueles outros componentes no papel e podem começar a degradar durante a fabricação do papel. Naquelas realizações, onde mais de um tipo de material termoplástico está presente, então pelo menos 30% do material termoplástico deve possuir o ponto de fusão não acima de 350° C.

[038] Em algumas realizações, a temperatura de transição vítrea (T_g) do termoplástico é de cerca de 100° a 250° C. Os termoplásticos que possuem um T_g inferior a 100° C podem, em alguns exemplos, afetar adversamente a expansão eficiente das células da estrutura em forma de favo de mel durante a fabricação; os termoplásticos que possuem um T_g superior a 250° C podem, em alguns exemplos, afetar a moldagem final da estrutura em forma de favo de mel.

[039] O material termoplástico útil na presente invenção pode estar na forma de fibras, fibras biconstituídas, flocos de polímero, partículas de polímero, fibrilas, polpa ou suas misturas. As fibras ligantes são tipicamente

fabricadas a partir de um material termoplástico que flui em uma temperatura que é inferior (isto é, possui um menor ponto de amaciamento) ao ponto de amolecimento de qualquer uma das outras fibras na mistura da fibra. As fibras biconstituídas núcleo – bainha são preferidas como fibras ligantes, especialmente as fibras ligantes biconstituídas possuindo um núcleo de homopolímero de poliéster e uma bainha de copoliéster que é um material ligante, tal como estão comumente disponíveis pela Unitika Co., Japão (por exemplo, comercializado com o nome comercial de Melty®). Os tipos úteis de fibras ligantes podem incluir aquelas fabricadas a partir do polipropileno, polímeros ou copolímeros de poliéster, as fibras contendo apenas aquele polímero ou copolímero, ou como uma fibra biconstituída na configuração lado-a-lado ou núcleo – bainha. Em algumas realizações, um pó ligante preferido é um pó ligante termoplástico, tal como o pó adesivo de copoliéster Griltex EMS 6E. O termo “fibrilas”, conforme utilizado no presente, significa um produto de polímero muito finamente dividido de partículas pequenas, membranoso, essencialmente bidimensional possuindo um comprimento e uma largura na ordem de 100 a 1.000 micrômetros e uma espessura apenas na ordem de 0,1 a 1 micrômetro. As fibrilas são, tipicamente, fabricadas ao jorrar uma solução polimérica em um banho de coagulação de líquido que é imiscível com o solvente da solução. A corrente de solução polimérica é submetida às forças de cisalhamento estrênuas e à turbulência conforme o polímero é coagulado.

[040] Em algumas realizações, os materiais termoplásticos preferidos utilizados no papel são os polímeros de tereftalato de polietileno (PET) e/ou o tereftalato de polietileno (PEN). Estes polímeros podem incluir uma variedade de comonômeros, incluindo o dietileno glicol, ciclohexanodimetanol, poli(etileno glicol), ácido glutárico, ácido azeláico, ácido sebáico, ácido isoftálico e similares. Em adição a estes comonômeros, os agentes de ramificação como o ácido trimésico, ácido piromelítico,

trimetilolpropano e trimetiloletano, e o pentaeritritol podem ser utilizados. O PET pode ser obtido pelas técnicas de polimerização conhecidas do ácido tereftálico ou seus ésteres de alquila inferiores (por exemplo, tereftalato de dimetila) e etileno glicol ou as misturas dos mesmos. O PEN pode ser obtido pelas técnicas de polimerização conhecidas do ácido de 2,6-naftaleno dicarboxílico e do etileno glicol. Uma fibra de PEN útil é comercializada com o nome comercial de Teonex® por Teijin, Ltd.

[041] Em outras realizações, os materiais termoplásticos preferidos utilizados são os poliésteres cristalinos líquidos. Por “poliéster cristalino líquido” (LCP) no presente, indica-se um polímero de poliéster que é anisotrópico quando testado utilizando o teste TOT ou qualquer variação razoável do mesmo, conforme descrito na patente US 4.118.372, que é incluída no presente como referência. Uma forma preferida de LCP é “todo aromático”, isto é, todos os grupos na cadeia do polímero principal são aromáticos (exceto para os grupos de ligação, tal como os grupos éster), mas os grupos laterais que não são aromáticos podem estar presentes. De preferência, o ponto de fusão do LCP é até cerca de 350° C. No caso de uma fibra biconstituída núcleo – bainha, em que o polímero da bainha é o ligante ou o componente de baixa fusão, este polímero da bainha deve possuir um ponto de fusão abaixo ou de até cerca de 350° C, enquanto o componente do núcleo pode ser um polímero possuindo um ponto de fusão maior. Os pontos de fusão são medidos pelo Método ASTM D3418. Os pontos de fusão são obtidos como o máximo da fusão endotérmica, e são medidos no segundo calor em uma velocidade de aquecimento de 10° C/ min. Se mais de um ponto de fusão estiver presente, o ponto de fusão do polímero é obtido como o maior dos pontos de fusão. Um LCP preferido para a presente invenção inclui os graus correspondentes de Zenite®, disponível pela DuPont Co, e Vectra® LCP, disponível pela Ticona Co.

[042] Outros materiais, particularmente aqueles frequentemente

encontrados ou fabricados para a utilização nas composições termoplásticas, também podem estar presentes no material termoplástico. Estes materiais devem ser, de preferência, quimicamente inertes e, de modo razoável, termicamente estáveis no ambiente de operação da estrutura em forma de favo de mel. Tais materiais podem incluir, por exemplo, uma ou mais cargas, agentes de reforço, pigmentos e agentes nucleantes. Outros polímeros também podem estar presentes, formando deste modo as misturas de polímero. Em algumas realizações, em que outros polímeros estão presentes, é preferível que eles sejam menos de 25% em peso da composição. Em outras realizações preferidas, outros polímeros não estão presentes no material termoplástico exceto por uma pequena quantidade total (menos de 5% em peso) de polímeros, tais como aqueles que funcionam como lubrificantes e auxiliares do processamento.

[043] A estrutura em forma de favo de mel é útil como um componente estrutural em muitos artigos, incluindo os compartimentos de armazenamento elevados e carenagens da asa (*wing-to-body fairing*) em aviões comerciais. Devido às propriedades estruturais leves da estrutura em forma de favo de mel, uma utilização preferida está nas estruturas aerodinâmicas, em que o peso leve permite economias do combustível ou do pó requerido para propelar um objeto através do ar.

[044] Uma ou mais folhas de face podem estar ligadas à face da estrutura em forma de favo de mel para formar um painel. As folhas de face fornecem integridade no painel final em sua resistência à compressão, arqueamento e outras tensões. Do mesmo modo, as folhas de face podem selar as células da estrutura em forma de favo de mel para evitar que o material das células ou das folhas de face possam ajudar a reter o material nas células. A Figura 6 mostra a estrutura em forma de favo de mel (60) possuindo uma folha de face (61) ligada a uma face pela utilização de um adesivo. Uma

segunda folha de face (62) está ligada na face oposta da estrutura em forma de favo de mel, e a estrutura em forma de favo de mel com as duas folhas de face opostas ligadas formam um painel. As camadas adicionais do material (63) podem estar ligadas a um dos lados do painel conforme desejado. Em algumas realizações preferidas, as folhas de face aplicadas em ambos os lados da estrutura em forma de favo de mel contém duas camadas de material. Em algumas realizações preferidas, a folhas de face compreende um tecido que foi tecido ou um tecido unidirecional transversal. Em algumas realizações, o tecido unidirecional transversal é um transversal 0/90. Caso desejado, a folhas de face pode possuir uma superfície decorativa, tal como em relevo ou outro tratamento para formar uma superfície externa que é agradável ao olhar. Os tecidos contendo fibra de vidro, fibra de carbono e/ou outras fibras de módulo elevado/ força elevada são úteis como material de folhas de face.

[045] Um processo para a fabricação de uma estrutura em forma de favo de mel compreende as células que possuem extremidades que formam uma face da estrutura em forma de favo de mel, a face definida por uma pluralidade de pontos e possuindo uma área de curvatura, em que pelo menos dois dos pontos estão localizados em diferentes planos tangenciais, compreende as etapas de:

(a) ligar uma pluralidade de folhas ao longo de linhas paralelas do adesivo, as folhas compreendem de 5 a 50 partes em peso do material termoplástico possuindo um ponto de fusão de 120° a 350°, e de 50 a 95 partes em peso de fibra de módulo elevado possuindo um módulo de 600 gramas por denier (550 gramas por dtex) ou maior, com base na quantidade total de material termoplástico e fibra de módulo elevado nas paredes;

(b) separar as folhas unidas em direções perpendiculares ao plano das folhas para formar uma estrutura em forma de favo de mel possuindo células;

(c) aquecer a estrutura em forma de favo de mel para amolecer o material termoplástico;

(d) arquear, moldar ou formar uma estrutura em forma de favo de mel em um molde ou sobre uma forma possuindo uma área de curvatura; e

(e) resfriar a estrutura em forma de favo de mel para reter a forma da área de curvatura do molde ou forma.

[046] As Figuras 7 a 9 ilustram uma realização da etapa de ligação de uma pluralidade de folhas ao longo de linhas paralelas que estão espaçadas. Para as células hexagonais típicas, a distância entre o bordo de fuga de uma linha do nó aplicada para a extremidade inicial da próxima linha do nó aplicada em qualquer folha é igual a três vezes um comprimento da parede celular. Na Figura 7, o adesivo (112) é aplicado ao longo de uma série de linhas em uma certa largura e uma inclinação em uma correia de papel contendo fibra de módulo elevado (101) por qualquer método de aplicação ou método de impressão. O adesivo pode ser uma resina selecionada a partir das resinas epóxi, resinas fenólicas, resinas acrílicas, resinas de poliimida e outras resinas, entretanto, é preferido que uma resina termoestável seja utilizada. Na figura, um papel contendo fibra de módulo elevado do tipo correia (101) de um carretel (113) é alimentado na junção de pelo menos um conjunto de rolos que compreendem um rolo aplicador (114) e um rolo de prensa (115). Através das ranhuras fornecidas no rolo aplicador (114), o adesivo (112) contido em um tanque adesivo (116) é aplicado ou revestido ao longo de uma série de linhas a uma superfície do papel (101) e, então, é seco.

[047] Na Figura 8, o papel contendo fibra de módulo elevado do tipo correia (101) é cortado em um intervalo pré-determinado em uma pluralidade de folhas (111). As folhas cortadas são empilhadas umas em cima das outras, tal que cada uma das folhas é deslocada para a outra por meia inclinação ou metade do intervalo do adesivo aplicado (112). Para um exemplo

típico, 400 folhas cortadas podem ser empilhadas verticalmente, conforme mostrado por uma flecha (117), para formar um bloco, em tal relação de posição que cada uma das folhas é deslocada por metade do intervalo das linhas do adesivo revestido.

[048] Na Figura 9, cada uma das folhas de papel contendo fibra de módulo elevado empilhadas (111) está ligada entre si por pressão e calor. Em uma realização preferida, diversas folhas de papel contendo fibra de módulo elevado empilhadas (101) são então prensadas a quente no ponto de amolecimento do adesivo (112). O adesivo é então deixado endurecer para ligar as folhas entre si.

[049] As Figuras 10a e 10b ilustram a etapa de separar as folhas unidas em direções perpendiculares ao plano das folhas para formar uma estrutura em forma de favo de mel possuindo células. Isto também pode ser referido como a etapa de expansão. As folhas de papel contendo fibra de módulo elevado, empilhadas e unidas (111) são expandidas na direção contrária à direção do empilhamento por uma força de tensão ou uma tensão aplicada na direção mostrada pelas flechas (117). Cada uma das folhas (111) é então expandida ou estendida entre elas, tal que as folhas são dobradas ao longo das extremidades das porções ligadas e as porções não ligadas são estendidas na direção contrária à direção do empilhamento, para separar as folhas entre elas. Consequentemente, são formadas células de estrutura em forma de favos de mel compostos de um conjunto plano de células ocas e colunares (119) separadas pelas paredes celulares (118) fabricadas de folhas (111) que foram ligadas entre si ao longo de uma série de linhas de nós adesivos (115) e foram expandidas.

[050] A próxima etapa neste processo para a fabricação da estrutura em forma de favo de mel é o aquecimento da estrutura em forma de favo de mel para amolecer o material termoplástico nas paredes celulares da

estrutura em forma de favo de mel. Isto pode ser realizado por quaisquer meios disponíveis para fornecer uma fonte de calor, tal como um aquecimento radiante, fornos aquecidos por ar forçado e fornos dielétricos e similares; entretanto, em algumas realizações preferidas, o aquecimento radiante é preferido. O aquecimento é realizado em uma temperatura e por um tempo para amaciar suficientemente o material termoplástico nas paredes celulares; geralmente a temperatura será próxima ou acima do ponto de fusão do material termoplástico e o tempo requerido será ditado pela massa do presente material. Em algumas realizações, a temperatura de aquecimento preferida é de cerca de 10° C da temperatura de fusão termoplástica. Caso desejado, a fonte de aquecimento e o molde ou forma podem ser combinados de forma que a estrutura em forma de favo de mel possa ser aquecida e formada sem o manuseio interveniente da estrutura em forma de favo de mel aquecida.

[051] A estrutura em forma de favo de mel é então moldada pela curvatura, moldagem ou formação da estrutura em forma de favo de mel aquecida em um molde ou sobre uma forma que possui uma área de curvatura. Conforme ilustrado na Figura 11a, o calor (124) é aplicado na estrutura em forma de favo de mel (120) disposta sobre uma forma de moldagem (121) possuindo o formato do artigo desejado. A estrutura em forma de favo de mel é então prensada na forma por quaisquer meios disponíveis para que a estrutura em forma de favo de mel assuma a superfície curvada ou arqueada (125) da forma. Em algumas realizações, conforme mostrado na Figura 11b, a forma será uma ferramenta moldada (131) possuindo metades macho (132) e fêmea (133) que são prensadas juntas para moldar e formar a estrutura em forma de favo de mel curvada (125) entre as mesmas; conformando a estrutura em forma de favo de mel no formato desejado representado pela ferramenta de moldagem. A ferramenta de moldagem ou forma pode ser de temperatura controlada, fornecendo aquecimento adicional ou resfriamento da estrutura em

forma de favo de mel.

[052] A estrutura em forma de favo de mel aquecida e moldada é então resfriada abaixo da temperatura de amolecimento do termoplástico para ajustar e reter o formato da área de curvatura do molde ou forma. Este resfriamento pode ser realizado pelo resfriamento passivo, tal como convecção livre; ou pelo resfriamento ativo, tal como resfriamento do molde com algum agente de resfriamento tal como o ar, água ou outro fluido. Geralmente, o resfriamento será realizado embora a estrutura em forma de favo de mel seja retida no molde, ou seja, disposta sobre uma forma. Caso desejado, a estrutura em forma de favo de mel pode ser removida do molde ou da forma e resfriada separadamente. Caso a estrutura em forma de favo de mel seja removida do molde sem resfriamento, pode ser necessário obter etapas para assegurar que a estrutura em forma de favo de mel retenha uma representação adequada do formato desejado da área de curvatura. Em uma realização preferida, após a etapa de resfriamento, menos de cerca de 25% das células da estrutura em forma de favo de mel na área de curvatura da estrutura em forma de favo de mel possui um ângulo reentrante superior a 180 graus. O processo pode ainda compreender a etapa de impregnação da estrutura em forma de favo de mel com uma resina, de preferência, uma resina termoestável.

[053] A utilização de uma quantidade substancial do material termoplástico nas paredes celulares da estrutura em forma de favo de mel permite a formação destes formatos curvados ou arqueados sem dano excessivo ou colapso das células da estrutura em forma de favo de mel na lateral da estrutura em forma de favo de mel que é colocado na compressão durante o formato.

[054] Outro processo de fabricação de uma estrutura em forma de favo de mel compreende as células que possuem extremidade que formam uma face da estrutura em forma de favo de mel, a face definida por uma

pluralidade de pontos e possuindo uma área de curvatura, em que pelo menos dois dos pontos estão localizados em diferentes planos tangenciais, que compreende as etapas de:

(a) ligar uma pluralidade de folhas ao longo de linhas paralelas do adesivo, as folhas compreendem de 5 a 50 partes em peso do material termoplástico possuindo um ponto de fusão de 120° a 350°, e de 50 a 95 partes em peso de fibra de módulo elevado possuindo um módulo de 600 gramas por denier (550 gramas por dtex) ou maior, com base na quantidade total de material termoplástico e fibra de módulo elevado nas paredes;

(b) separar as folhas unidas em direções perpendiculares ao plano das folhas para formar uma estrutura em forma de favo de mel possuindo células;

(c) impregnar a estrutura em forma de favo de mel com uma resina termoestável;

(d) aquecer a estrutura em forma de favo de mel para curar a resina termoestável;

(e) cortar a estrutura em forma de favo de mel em pedaços;

(f) aquecer os pedaços da estrutura em forma de favo de mel em uma temperatura acima do ponto que ambas a resina termoestável e o material termoplástico amoleça;

(g) arquear, moldar ou formar os pedaços da estrutura em forma de favo de mel em um molde ou sobre uma forma possuindo uma área de curvatura; e

(h) resfriar os pedaços da estrutura em forma de favo de mel para reter substancialmente a forma da área de curvatura do molde ou da forma.

[055] Nesta realização de um processo para a formação de uma estrutura em forma de favo de mel, a estrutura em forma de favo de mel é impregnada com uma resina termoestável após ser expandida. Tipicamente,

isto é realizado pela imersão da estrutura em forma de favo de mel expandida fabricada após a etapa (b) em um banho de resina termoeestável, entretanto, outros meios, tais como os *sprays* poderiam ser empregados para revestir e impregnar completamente a estrutura em forma de favo de mel expandida. Em algumas realizações, as resinas termoeestáveis, úteis como impregnantes, incluem as resinas epóxi, resinas fenólicas, resinas acrílicas, resinas de poliimida e suas misturas.

[056] Após a estrutura em forma de favo de mel ser completamente impregnada com a resina termoeestável, a resina é então curada pelo aquecimento da estrutura em forma de favo de mel saturada para reticular a resina termoeestável. Geralmente, esta temperatura está no intervalo de 150° a 180° C. A cura da resina termoeestável fornece rigidez à estrutura em forma de favo de mel. A estrutura em forma de favo de mel curada é então cortada em pedaços. Deste modo, múltiplas seções finas ou pedaços de estrutura em forma de favo de mel podem ser obtidos a partir de um bloco grande de estrutura em forma de favo de mel. A estrutura em forma de favo de mel é cortada em pedaços perpendicular ao plano das extremidades celulares, tal que a natureza celular da estrutura em forma de favo de mel é preservada.

[057] Os pedaços são então aquecidos e moldados ou formados e então resfriados conforme o processo anterior. Embora a estrutura em forma de favo de mel possua uma resina termoeestável curada, a adição de calor não apenas amacia o material termoplástico nas paredes celulares, mas também pode plastificar a resina termoeestável nas paredes. O amaciamento e a plastificação do material da parede celular auxilia a formação de formatos curvados ou arqueados sem dano excessivo ou colapso das células da estrutura em forma de favo de mel na lateral da estrutura em forma de favo de mel que é colocada em compressão durante a formação. Caso desejado, os pedaços podem ser imersos em água quente; do mesmo modo que os pedaços

podem ser imersos em água antes de aquecer e moldar ou formar. Em alguns sistemas de resina, isto irá plastificar adicionalmente algumas resinas, por exemplo, algumas resinas fenólicas, para uma formação ainda melhor. Em uma realização preferida, após a etapa de resfriamento, menos de cerca de 25% das células da estrutura em forma de favo de mel na área de curvatura da estrutura em forma de favo de mel possui um ângulo reentrante superior a 180 graus.

[058] Outro processo para a fabricação de uma estrutura em forma de favo de mel compreende as células que possuem extremidades que formam uma face da estrutura em forma de favo de mel, a face é definida por uma pluralidade de pontos e possui uma área de curvatura, em que pelo menos dois dos pontos estão localizados em diferentes planos tangenciais, que compreende as etapas de:

(a) ligar uma pluralidade de folhas ao longo de linhas paralelas do adesivo, as folhas compreendem de 5 a 50 partes em peso do material termoplástico possuindo um ponto de fusão de 120° a 350°, e de 50 a 95 partes em peso de fibra de módulo elevado possuindo um módulo de 600 gramas por denier (550 gramas por dtex) ou maior, com base na quantidade total de material termoplástico e fibra de módulo elevado nas paredes;

(b) separar as folhas unidas em direções perpendiculares ao plano das folhas para formar uma estrutura em forma de favo de mel possuindo células;

(c) impregnar a estrutura em forma de favo de mel com uma resina termoestável;

(d) aquecer a estrutura em forma de favo de mel no estágio B ou curar parcialmente a resina termoestável;

(e) cortar a estrutura em forma de favo de mel em pedaços;

(f) aquecer os pedaços da estrutura em forma de favo de mel em

uma temperatura acima do ponto que ambas a resina termoestável e o material termoplástico amoleçam;

(g) arquear, moldar ou formar os pedaços da estrutura em forma de favo de mel em um molde ou sobre uma forma possuindo uma área de curvatura;

(h) manter o pedaço da estrutura em forma de favo de mel no molde ou sobre uma forma por um tempo e temperatura suficiente para curar a resina termoestável; e

(i) resfriar os pedaços da estrutura em forma de favo de mel para reter substancialmente a forma da área de curvatura do molde ou da forma.

[059] Neste processo, a estrutura em forma de favo de mel expandida é novamente impregnada com uma resina termoestável, mas nesta realização, a resina termoestável é apenas parcialmente curada, ou conforme referido no estado da técnica, no “estágio B”. O “estágio B” é normalmente utilizado para se referir a um estágio intermediário na reação de certos polímeros termoestáveis, em que o material ainda pode ser amaciado quando aquecido ou inchado em contato com certos líquidos, mas não pode ser completamente fundido ou dissolvido; as resinas no estágio B permitem algum grau de formação ou moldagem em certas configurações específicas.

[060] De modo similar, como no processo anterior, a estrutura em forma de favo de mel do estágio B é então cortada em pedaços, de forma que a natureza celular da estrutura em forma de favo de mel seja preservada. Os pedaços são então aquecidos e moldados ou formados e então resfriados como no processo anterior; entretanto, nesse processo, o aquecimento serve ambos para o propósito de amaciar o material termoplástico enquanto também cura a resina termoestável. Como anteriormente, a adição de calor amacia adequadamente o material termoplástico para fornecer alguma elongação das paredes durante a moldagem para permitir a formação destes formatos

curvados ou arqueados sem dano excessivo ou colapso das células da estrutura em forma de favo de mel na área de curvatura na lateral da estrutura em forma de favo de mel que é colocada em compressão durante a moldagem. Em uma realização preferida, após a etapa de resfriamento, menos de cerca de 25% das células da estrutura em forma de favo de mel na área de curvatura da estrutura em forma de favo de mel possuem um ângulo reentrante superior a 180 graus.

[061] Outro processo de fabricação de uma estrutura em forma de favo de mel compreende as células que possuem extremidades que formam uma face da estrutura em forma de favo de mel, a face é definida por uma pluralidade de pontos e possui uma área de curvatura, em que pelo menos dois dos pontos estão localizados em diferentes planos tangenciais, que compreende as etapas de:

(a) formar uma estrutura em forma de favo de mel que possui células a partir de uma pluralidade de folhas, as folhas possuindo uma pluralidade de linhas paralelas do adesivo em uma pluralidade de planos paralelos, as folhas compreendem o material termoplástico possuindo um ponto de fusão de 120° a 350°, e uma fibra de módulo elevado possuindo um módulo de 600 gramas por denier (550 gramas por dtex) ou maior,

(b) impregnar a estrutura em forma de favo de mel com uma resina termoestável;

(c) curar ou curar parcialmente a resina termoestável para formar uma estrutura em forma de favo de mel curada ou curada parcialmente;

(d) pressionar a estrutura em forma de favo de mel curada ou parcialmente curada em uma direção perpendicular ao plano das linhas paralelas do adesivo para fraturar pelo menos uma porção da resina termoestável;

(e) separar a estrutura em forma de favo de mel prensada longa

na direção perpendicular ao plano das linhas paralelas do adesivo para formar uma estrutura em forma de favo de mel possuindo pontos de fratura;

(f) arquear, moldar ou formar a estrutura em forma de favo de mel possuindo pontos de fratura em um molde ou sobre uma forma que possui uma área de curvatura;

(g) aquecer a estrutura em forma de favo de mel para permitir que o material termoplástico flua nos pontos de fratura; e

(h) resfriar a estrutura em forma de favo de mel para reter substancialmente a forma da área de curvatura do molde ou da forma.

[062] Neste processo, uma estrutura em forma de favo de mel impregnada com resina termoestável é, primeiro, curada completamente ou parcialmente, entretanto, após a cura a estrutura em forma de favo de mel é então prensada intencionalmente em uma direção perpendicular a um plano de linhas paralelas de adesivo para fraturar pelo menos uma porção da resina termoestável para colapsar pelo menos uma porção das células. Conforme mostrado na Figura 12, a estrutura em forma de favo de mel expandida (170) é prensada na direção das flechas (171) para comprimir as células, geralmente contra uma superfície (173), para fraturar parcialmente ou completamente uma porção da resina termoestável que foi curada na estrutura. Em muitas realizações, esta prensagem é realizada embora também suporte ou restrinja lateralmente as faces da estrutura em forma de favo de mel com as superfícies (174) para evitar o movimento lateral da estrutura em forma de favo de mel e obter a tensão direcionada uniformemente no núcleo. Uma vez que o grau desejado de fratura foi realizado, a estrutura em forma de favo de mel é então separada na direção das flechas (172); isto é, em uma direção perpendicular a um plano das linhas paralelas do adesivo, para expandir a estrutura em forma de favo de mel novamente e formar uma estrutura em forma de favo de mel possuindo pontos de fratura.

[063] A estrutura em forma de favo de mel é então arqueada, formada ou moldada em um molde ou sobre uma forma e então é aplicado aquecimento à estrutura em forma de favo de mel para permitir que o material termoplástico flua nos pontos de fratura. A estrutura em forma de favo de mel é então resfriada para reter substancialmente o formato da área de curvatura do molde ou forma. De um modo similar, como nos processos anteriores, a estrutura em forma de favo de mel pode ser cortada em pedaços, geralmente em qualquer etapa neste processo, tal que a natureza celular da estrutura em forma de favo de mel é preservada. Em uma realização preferida, após a etapa de resfriamento inferior a cerca de 25%, as células da estrutura em forma de favo de mel na área de curvatura da estrutura em forma de favo de mel possuem um ângulo reentrante superior a 180 graus.

MÉTODOS DE TESTE

[064] O denier da fibra é medido utilizando a norma ASTM D1907. O módulo da fibra é medido utilizando a norma ASTM D885. A densidade do papel é calculada utilizando a espessura do papel conforme medido pela norma ASTM D374 e o peso de base conforme medido pela norma ASTM D646. A temperatura de transição vítrea (T_g) e a temperatura do ponto de fusão (T_m) são medidas utilizando a norma ASTM D3418.

EXEMPLOS

EXEMPLO 1

[065] Um papel de aramida/ termoplástico compreendido de fibras de filamento fatiadas Teijing Twaron® 1080, polpa Teijin Twaron® 1094 e fibra de poliéster termoplástico Toray Tetoron® é formada no equipamento de formação do papel convencional. A composição de papel é de fibra Twaron 1080 a 52% em peso, polpa Twaron 1094 a 18% em peso e fibra Tetoron® a 30% em peso. A fibra Twaron 1080 possui uma densidade linear do filamento nominal de 1,5 denier por filamento (1,7 dtex por filamento) e um comprimento

de corte de 6 mm. A fibra termoplástica Tetoron® possui uma densidade linear do filamento nominal de 2 denier por filamento (2,2 dtex por filamento) e um comprimento de corte de 6 mm. O papel é pré-aquecido e pré-prensado a 245° C e sob uma pressão de 2 MPa. Ele é então calandrado sob uma pressão linear de 1200 N/cm a 260° C. Isto produz um papel de aramida/ termoplástico com uma densidade de cerca de 0,75 g/cm³.

[066] Uma estrutura em forma de favo de mel é então formada a partir do papel calandrado. As linhas do nó do adesivo são aplicadas na superfície do papel em uma largura de 2 mm e uma inclinação de 5 mm. O adesivo é uma solução de 50% de sólidos que compreende 70 partes em peso de uma resina epóxi identificada como Epon 826 comercializado pela Shell Chemical Co.; 30 partes em peso de uma resina epóxi modificada por elastômero identificada como Heloxy WC 8006 comercializado pela Wilmington Chemical Corp, Wilmington, DE, EUA; 54 partes em peso de um agente de cura da resina de bisfenol A – formaldeído identificado como UCAR BRWE 5400 comercializado pela Union Carbide Corp.; 0,6 partes em peso de 2-metilimidazol como um catalisador de cura, em um solvente de éter glicol identificado como Dowanol PM comercializado pela The Dow Chemical Company; 7 partes em peso de uma resina de poliéter identificada como Eponol 55-B- 40 comercializado pela Miller-Stephenson Chemical Co.; e 1,5 partes em peso de sílica vaporizada identificada como Cab-O-Sil comercializado pela Cabot Corp. O adesivo é parcialmente curado no papel em um forno a 130° C por 6,5 minutos.

[067] A folha com as linhas do nó adesivas são cortadas em comprimentos de 500 mm. 40 folhas são empilhadas uma em cima das outras, tal que cada uma das folhas é deslocada pela outra por meia inclinação ou metade do intervalo das linhas de nó do adesivo aplicado. O deslocamento ocorre alternadamente para um lado ou o outro, tal que o empilhamento final é

uniformemente vertical. O número de folhas empilhadas é então prensado a quente entre as placas no ponto de amolecimento do adesivo, causando o derretimento das linhas de nó do adesivo; uma vez que o calor é removido, então o adesivo endurece para ligar as folhas entre si. Para o adesivo da linha de nó acima, a prensa a quente opera a 140° C por 30 minutos e então 177° C por 40 minutos a 3,5 kg por cm quadrado de pressão.

[068] As folhas de aramida ligadas são então expandidas na direção contrária a direção do empilhamento para formar células que possuem uma seção transversal equilátera. Cada uma das folhas é estendida entre si, tal que as folhas são dobradas junto das extremidades das linhas de nó ligadas e as porções não ligadas são estendidas na direção da força de tensão para separar as folhas entre si. Uma estrutura é utilizada para expandir e manter a estrutura em forma de favo de mel no formato expandido.

[069] A estrutura em forma de favo de mel expandida é então colocada em um banho contendo resina fenólica com base em solvente Plyophen 23900 da Durez Corporation. A resina fenólica é utilizada em uma forma líquida, em que a resina é dissolvida em etanol. A resina se adere e cobre a superfície interna das paredes celulares e também pode preencher e penetrar nos poros do papel. Após a impregnação com resina, a estrutura em forma de favo de mel é retirada do banho e é seca em uma fornalha de secagem por ar quente primeiro a 82° C por 15 minutos e então a 121° C por 15 minutos e então a 182° C por 60 minutos para remover o solvente e curar a resina fenólica. A estrutura que mantém a estrutura em forma de favo de mel é então removida. A etapa de impregnação no banho de resina e a etapa de secagem na fornalha de secagem são repetidas por 5 vezes, tal que as paredes celulares da estrutura em forma de favo de mel são revestidas e impregnadas com um total de 730 gramas da resina de reforço.

[070] Para formar a estrutura em forma de favo de mel curvada

possuindo um raio de curvatura de 10 vezes a espessura do núcleo, a estrutura em forma de favo de mel é encharcada em água até a imersão a úmido plastificar a matriz fenólica. O núcleo é colocado em um molde metálico de baixa massa térmica com as células núcleo em contato direto com a superfície do molde. Uma malha de fio carregada de molas é aplicada sobre o topo do núcleo para manter o núcleo no lugar sobre o molde. O molde e o núcleo são introduzidos em um forno de convecção de ar quente pré-aquecido a 270° C. Uma vez que o molde atinge 260° C, ele é mantido no forno por 5 minutos. O molde é removido e um resfriamento de ar forçado é aplicado por 30 minutos para o núcleo retornar à temperatura ambiente. O molde é aberto e o núcleo moldado é removido. O núcleo é inspecionado quanto às células colapsadas com ângulos reentrante superiores a 180 graus. A contagem total das células colapsadas em qualquer face na área de curvatura é inferior a 25% do número total de células na área de curvatura.

EXEMPLO 2

[071] O papel é fabricado conforme o Exemplo 1. O papel é impresso com linhas de nó adesivas, cobertos, empilhados e ligados como no Exemplo 1.

[072] As folhas de aramida ligadas são então expandidas na direção contrária à direção do empilhamento para formar células que possuem uma seção transversal equilátera. Cada uma das folhas é estendida entre si, tal que as folhas são dobradas ao longo das extremidades das linhas de nó ligadas e as porções não ligadas são estendidas na direção da força de tensão para separar as folhas entre si. Uma estrutura é utilizada para expandir e manter a estrutura em forma de favo de mel no formato expandido.

[073] A estrutura em forma de favo de mel expandida é então colocada em um banho contendo resina fenólica com base em solvente Plyophen 23900 da Durez Corporation. A resina fenólica é utilizada em uma

forma líquida, em que a resina é dissolvida em etanol. A resina se adere e cobre a superfície interna das paredes celulares e também pode preencher e penetrar nos poros do papel. Após a impregnação com resina, a estrutura em forma de favo de mel é retirada do banho e é seca em uma fornalha de secagem por ar quente primeiro a 82° C por 15 minutos e então a 121° C por 15 minutos para remover o solvente e curar parcialmente ou estágio B a resina fenólica. Este núcleo da estrutura em forma de favo de mel expandida é mais flexível do que no Exemplo 1. A estrutura que mantém a estrutura em forma de favo de mel é então removida.

[074] Para formar a estrutura em forma de favo de mel curvada possuindo um raio de curvatura de 10 vezes a espessura do núcleo, a estrutura em forma de favo de mel é colocada em um molde metálico de baixa massa térmica com as células núcleo em contato direto com a superfície do molde. Uma malha de fio carregada de molas é aplicada sobre o topo do núcleo para manter o núcleo no lugar sobre o molde. O molde e o núcleo são introduzidos em um forno de convecção de ar quente pré-aquecido a 190° C. Uma vez que o molde atinge 182° C, ele é mantido no forno por 60 minutos. O molde é removido e um resfriamento de ar forçado é aplicado por 30 minutos para o núcleo retornar à temperatura ambiente. O molde é aberto e o núcleo moldado é removido. O núcleo é inspecionado quanto às células colapsadas com ângulos reentrantes superiores a 180 graus. A contagem total das células colapsadas em qualquer face na área de curvatura é inferior a 25% do número total de células na área de curvatura.

REIVINDICAÇÕES

1. ESTRUTURA EM FORMA DE FAVO DE MEL, caracterizada por compreender células que possuem extremidades que formam uma face da estrutura em forma de favo de mel, em que a face é definida por uma pluralidade de pontos e possui uma área de curvatura em que pelo menos dois dos pontos estão localizados em diferentes planos tangenciais, e as células são folhas de papel expandidas, e as paredes das células compreendem:

(a) de 5 a 50 partes em peso de material termoplástico possuindo um ponto de fusão de 120° C a 350° C; e

(b) de 50 a 95 partes em peso de uma fibra de módulo elevado que possui um módulo de 550 gramas por dtex (600 gramas por denier) ou maior, com base na quantidade total de material termoplástico e de fibra de módulo elevado nas paredes, em que a fibra de módulo elevado compreende o polímero de *para*-aramida, ou a fibra de módulo elevado é selecionada a partir do grupo que consiste em fibra de polibenzazol, fibra de polipiridazol e suas misturas;

em que menos de 25% das células da estrutura em forma de favo de mel na área de curvatura possuem um ângulo reentrante superior a 180°, em que o ângulo reentrante é o ângulo que as paredes colapsadas fazem na célula.

2. ESTRUTURA EM FORMA DE FAVO DE MEL, de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pela fibra de módulo elevado estar presente em uma quantidade de cerca de 60 a 80 partes em peso.

3. ESTRUTURA EM FORMA DE FAVO DE MEL, de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo material termoplástico estar presente em uma quantidade de 20 a 40 partes em peso.

4. ESTRUTURA EM FORMA DE FAVO DE MEL, de acordo

com a reivindicação 1, caracterizada pelo polímero de *para*-aramida ser poli(para-fenileno tereftalamida).

5. ESTRUTURA EM FORMA DE FAVO DE MEL, de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo material termoplástico compreender polímero de poliéster.

6. ESTRUTURA EM FORMA DE FAVO DE MEL, de acordo com a reivindicação 5, caracterizada pelo polímero de poliéster ser um polímero cristalino líquido.

7. ESTRUTURA EM FORMA DE FAVO DE MEL, de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo material termoplástico ser selecionado a partir do grupo que consiste em poliolefina, poliamida, polietercetona, polieteretercetona, poliamida-imida, polieter-imida, polifenileno sulfeto e suas misturas.

8. ESTRUTURA EM FORMA DE FAVO DE MEL, de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo material termoplástico estar na forma de uma fibra.

9. ESTRUTURA EM FORMA DE FAVO DE MEL, de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo material termoplástico estar na forma de uma fibrila.

10. ESTRUTURA EM FORMA DE FAVO DE MEL, de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo material termoplástico estar na forma de uma partícula, floco ou pó.

11. ESTRUTURA EM FORMA DE FAVO DE MEL, de acordo com a reivindicação 1, caracterizada por compreender ainda uma resina de matriz termorrígida.

12. ARTIGO, caracterizado por compreender uma estrutura em forma de favo de mel conforme definida na reivindicação 1.

13. ESTRUTURA AERODINÂMICA, caracterizada por

compreender uma estrutura em forma de favo de mel conforme definida na reivindicação 1.

14. PAINEL, caracterizado pelo fato de que compreende uma estrutura em forma de favo de mel, conforme definida na reivindicação 1, e uma folha de face ligada a uma face da estrutura em forma de favo de mel.

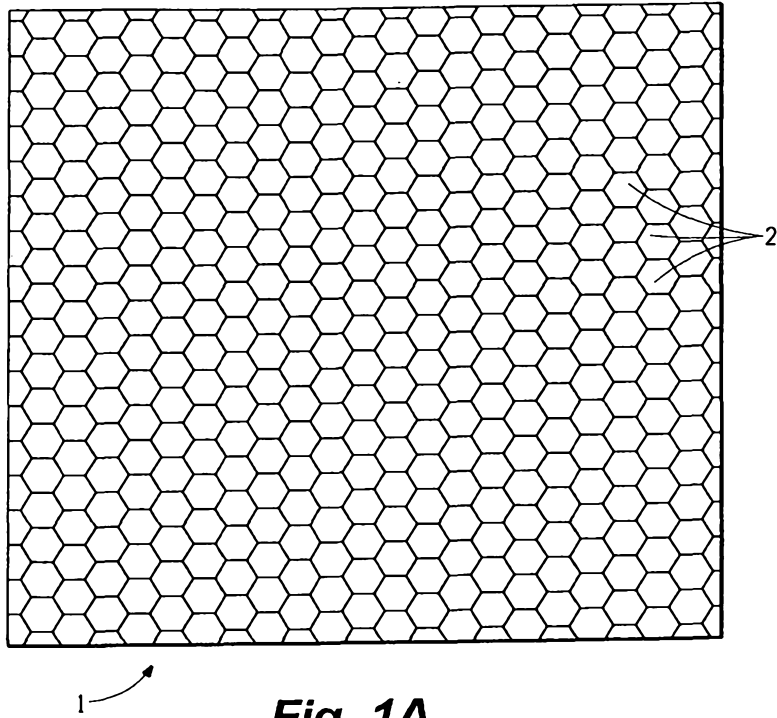


Fig. 1A

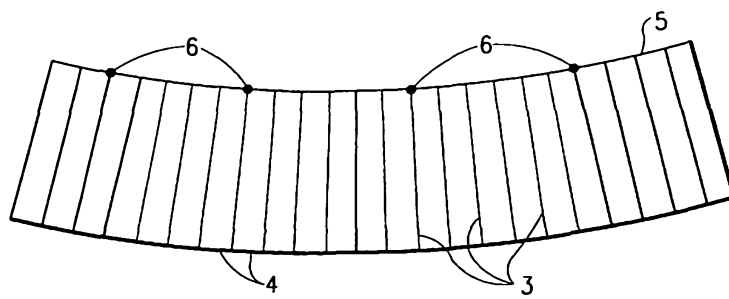


Fig. 1B

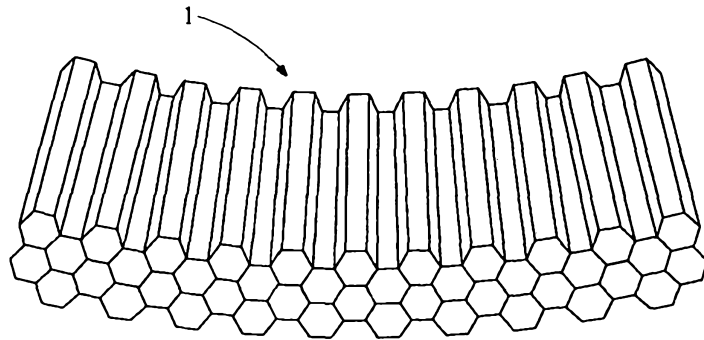


Fig. 2

Fig. 3A

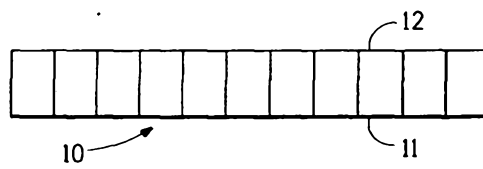


Fig. 3B

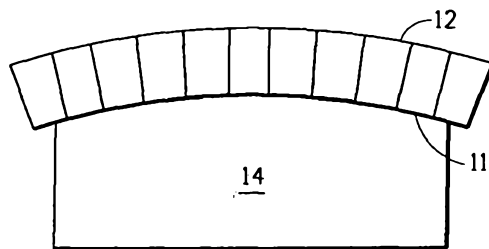
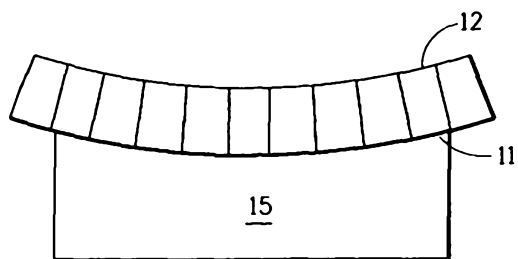


Fig. 3C



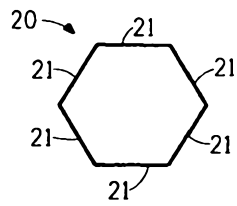


Fig. 4A

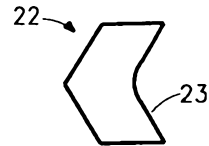


Fig. 4B

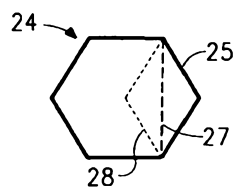


Fig. 4C

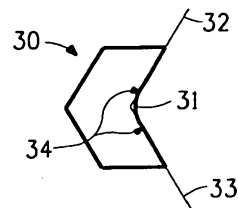


Fig. 4D

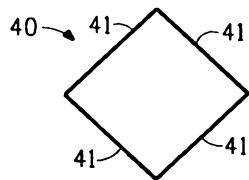


Fig. 5A

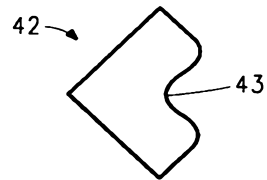


Fig. 5B

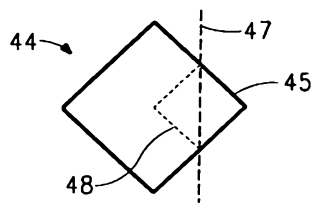


Fig. 5C

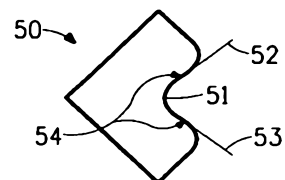


Fig. 5D

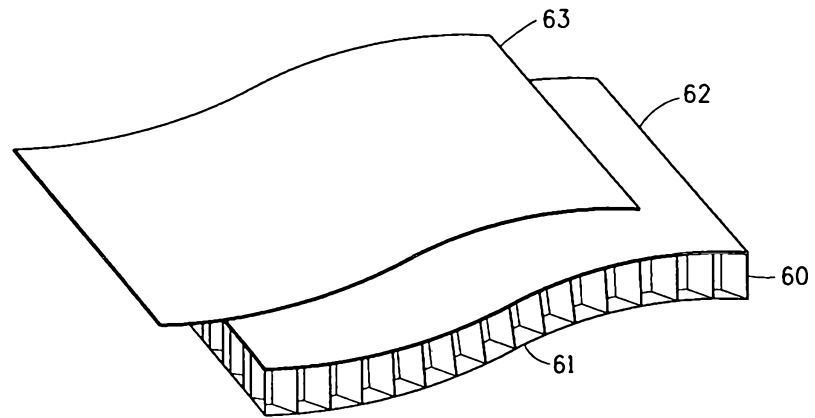


Fig. 6

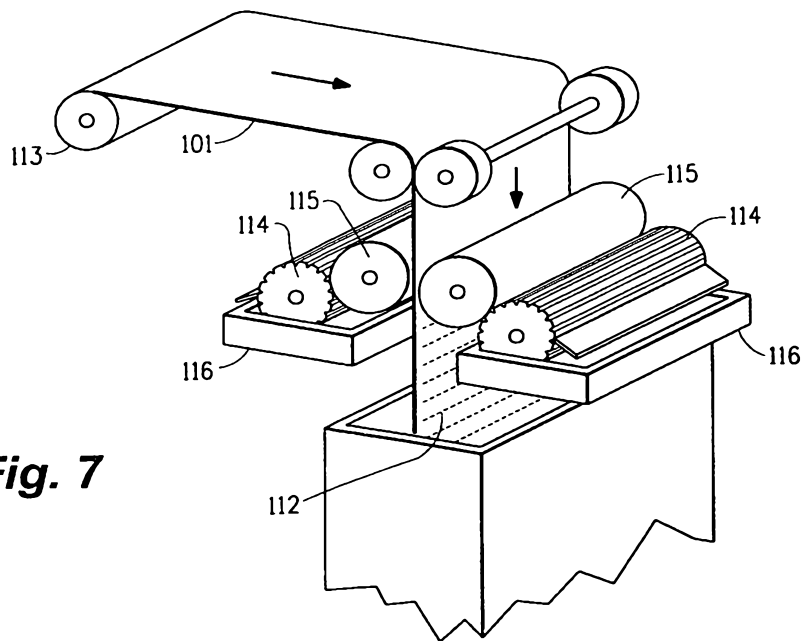


Fig. 7

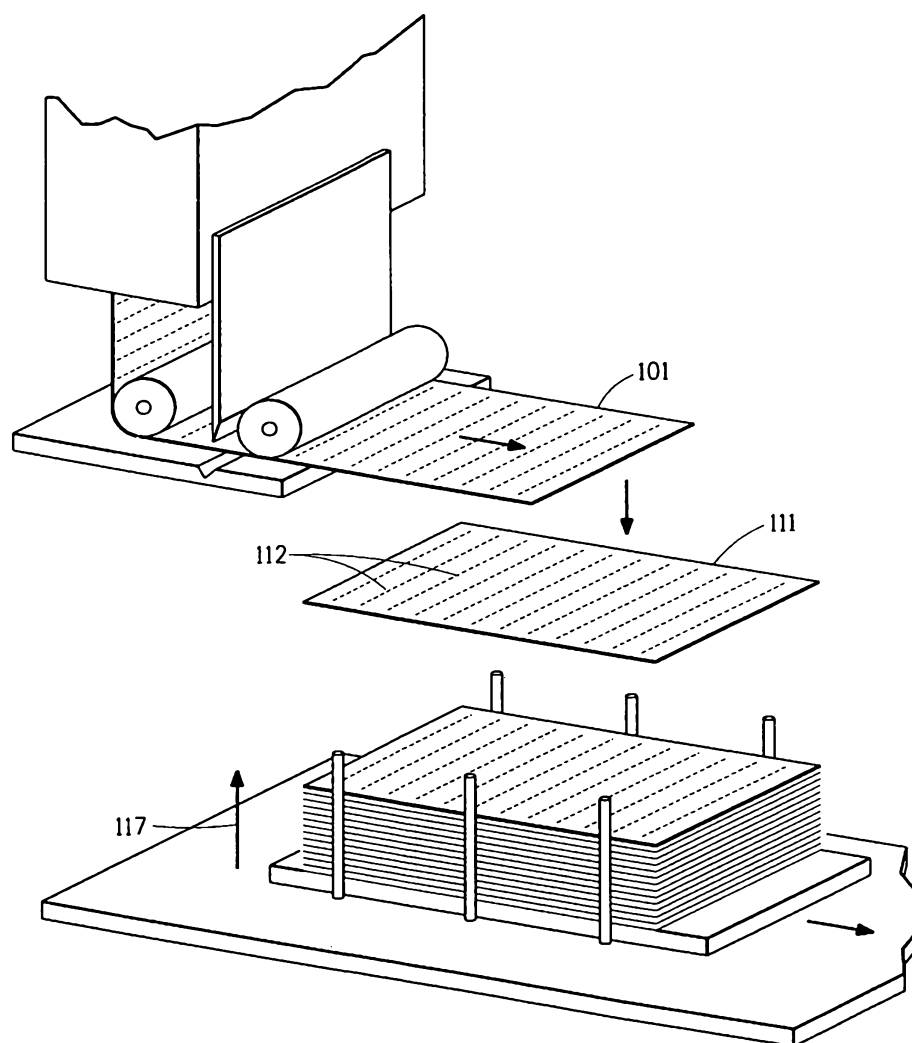
**Fig. 8**

Fig. 9

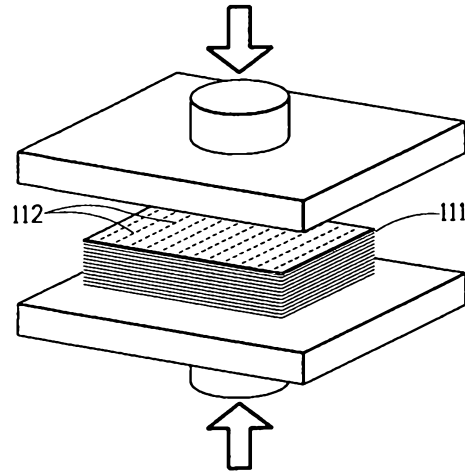


Fig. 10A

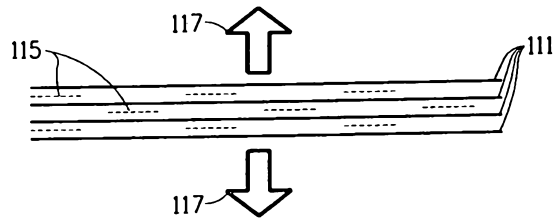
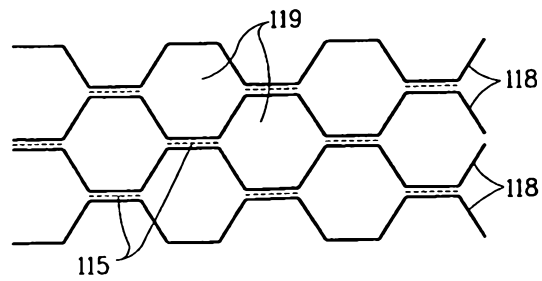


Fig. 10B



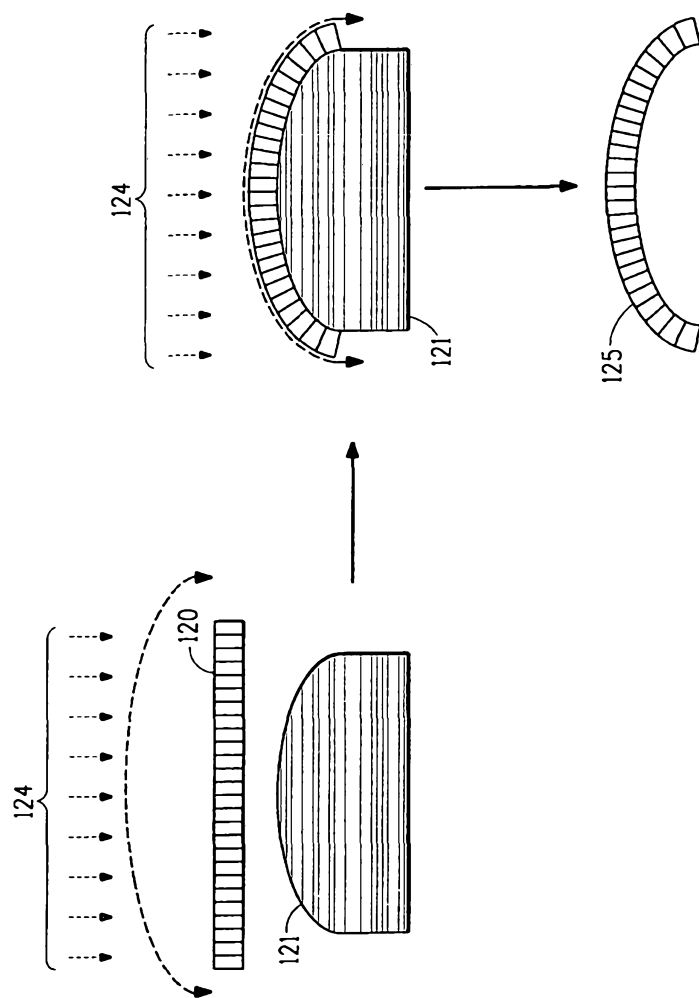


Fig. 11A

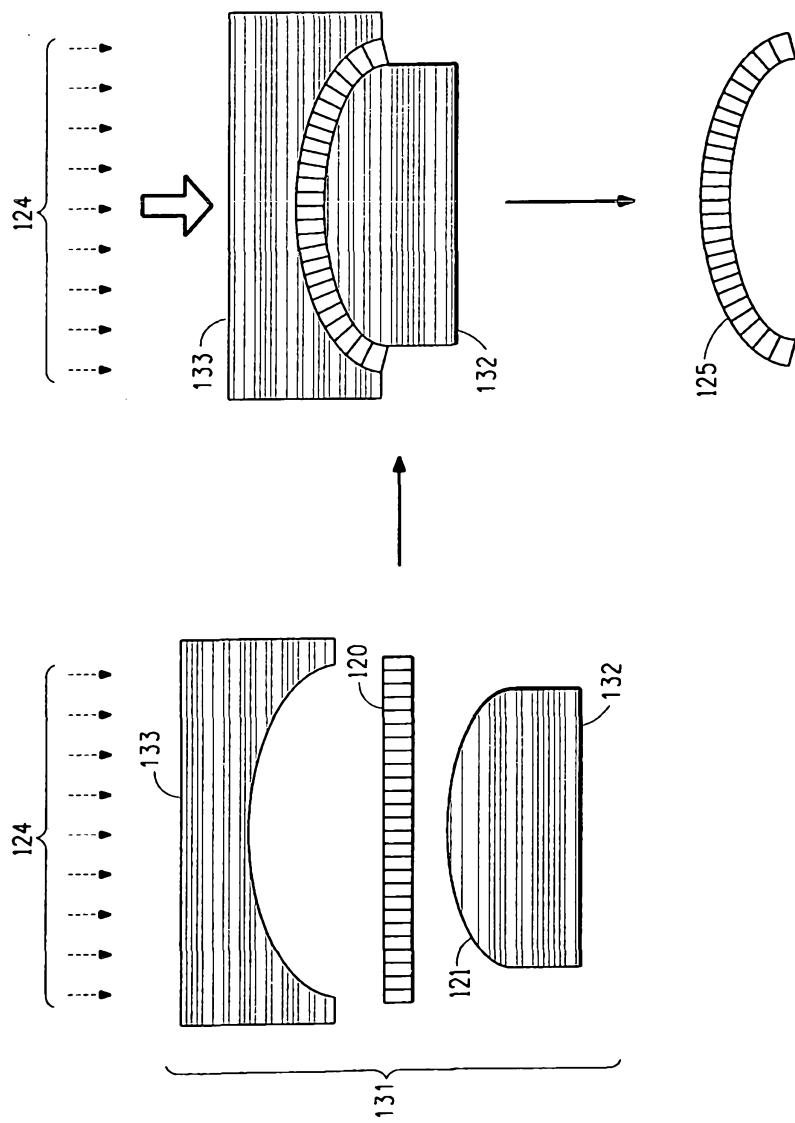


Fig. 11B

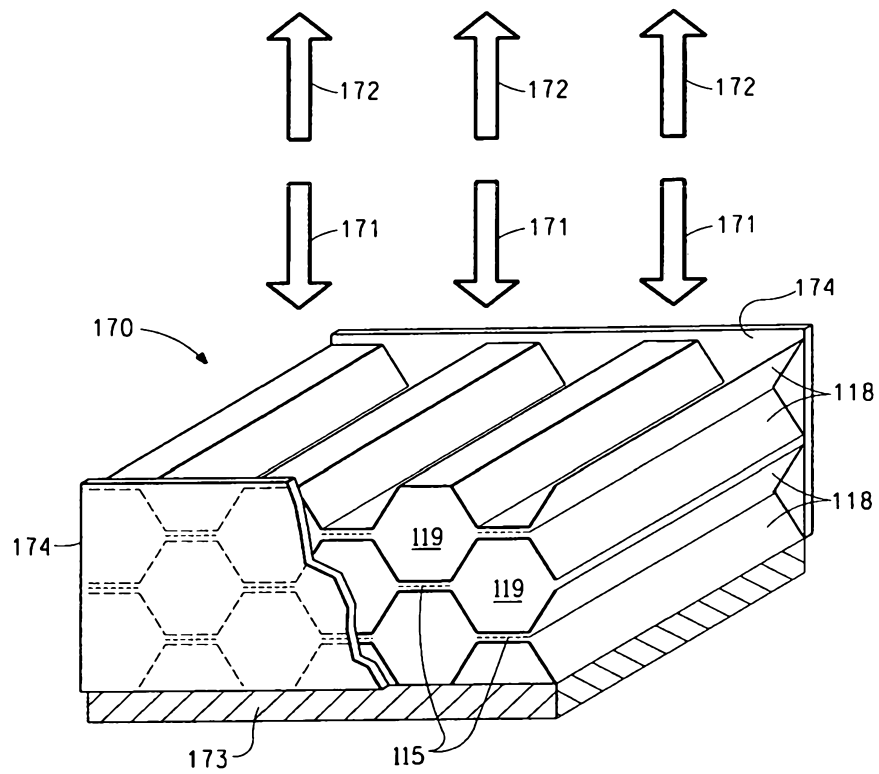


Fig. 12