



República Federativa do Brasil
Ministério da Economia
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) PI 0919081-3 B1



(22) Data do Depósito: 20/10/2009

(45) Data de Concessão: 07/01/2020

(54) Título: MÉTODO PARA FORMAR UM COMPÓSITO REFORÇADO COM FIBRA

(51) Int.Cl.: B29C 70/50; B29C 70/54; C08J 5/24; B29C 37/00; B29C 70/30.

(30) Prioridade Unionista: 20/10/2008 US 61/106905.

(73) Titular(es): CYTEC TECHNOLOGY CORP..

(72) Inventor(es): CHRISTOPHER LEE BONGIOVANNI; JACK DOUGLAS BOYD.

(86) Pedido PCT: PCT US2009061211 de 20/10/2009

(87) Publicação PCT: WO 2010/048101 de 29/04/2010

(85) Data do Início da Fase Nacional: 24/03/2011

(57) Resumo: MÉTODO PARA FORMAR UM COMPÓSITO REFORÇADO COM FIBRA Sistemas e métodos para a fabricação de prepregs possuindo habilidade realçada para a remoção de gases de dentro 5 do prepregs e assentamentos de prepreg antes e/ou durante pelo menos uma porção de consolidação e processo de cura para formar estruturas compósitas são divulgados. Em certas formas de realização, perfurações de configurações selecionadas podem ser introduzidas no prepregs antes, durante, e depois do assentamento. As perfurações fornecem caminhos para gases aprisionados dentro e entre os prepregs perfurados e assentamentos de prepreg para escapar durante a consolidação e processo de cura, reduzindo a porosidade residual dentro do compósito resultante. Por exemplo, compósitos tendo porosidades residuais menor do que 10 % em vol, na base do volume do compósito, podem ser obtidos nesta maneira.

“MÉTODO PARA FORMAR UM COMPÓSITO REFORÇADO COM FIBRA”

FUNDAMENTOS

CAMPO

5 As formas de realização da presente divulgação dizem respeito a fibras pré-impregnadas e, em particular, a métodos para a fabricação de prepregs perfurados, assentamentos de prepreg perfurados, e estruturas compósitas.

DESCRIÇÃO DA TÉCNICA RELACIONADA

10 Compósitos reforçados com fibra (FRCS) são materiais estruturais híbridos que compreendem um componente de matriz circundando pelo menos uma porção de um reforço de fibra que é configurado em uma ou mais camadas. Devido à sua razão de dureza para peso relativamente alta, assim como sua densidade relativamente baixa, FRCS têm encontrado
15 utilidade em aplicações, tais como componentes de aeronave, onde o peso é uma preocupação significativa.

 Componentes de FRC podem ser fabricados usando fibras que são pré-impregnadas com o componente de matriz, também conhecido como prepregs. Para formar uma parte compósita do prepregs, uma ou mais
20 camadas de prepregs são montadas dentro de um molde e calor pode ser aplicado para fazer com que a resina de matriz escoe, permitindo a consolidação das camadas de prepreg. O calor aplicado pode adicionalmente curar ou polimerizar os componentes de matriz.

 A consolidação de prepregs para formar compósitos nesta
25 maneira é difícil, entretanto. Gases podem ser aprisionados dentro do prepreg e entre o prepregs durante o assentamento e também podem expandir durante o aquecimento e/ou cura do prepregs. Estes gases são difíceis para remover do

assentamento, visto que a matriz substancialmente inibe o movimento dos gases e pode resultar em porosidade dentro do compósito. Esta porosidade pode reduzir ainda as propriedades mecânicas do compósito.

Técnicas têm sido desenvolvidas para realçar a remoção de gases capturados durante a fabricação do compósito, entretanto, problemas permanecem. Por exemplo, respiros de borda podem ser utilizados para aplicar vácuo à borda de preregs de modo a extrair os gases das laterais das camadas de prepeg. Entretanto, a remoção de gases aprisionados dos preregs nesta maneira é lenta e pode não fornecer a remoção substancialmente completa dos gases aprisionados.

SUMÁRIO

Em uma forma de realização, preregs possuindo habilidade realçada para a remoção de gases, tais como ar e outras espécies voláteis, de dentro de preregs e assentamentos de prepeg são fornecidos. Em certas formas de realização, perfurações de configuração selecionada estão presentes dentro dos preregs. As perfurações fornecem caminhos para os gases aprisionados dentro dos preregs perfurados para escapar dos preregs.

Em uma forma de realização, um prepeg perfurado é fornecido onde as perfurações são distribuídas através de pelo menos uma porção do prepeg. As perfurações também são dimensionalmente estáveis em torno da temperatura ambiente e permitem ainda o movimento do gás através do prepeg perfurado.

Em uma outra forma de realização, um compósito fabricado usando um ou mais dos preregs perfurados é fornecido. O compósito possui uma porosidade menor do que 10 % em vol na base do volume total do compósito.

Em uma outra forma de realização, um método para fabricar o prepeg perfurado é fornecido. O método compreende aplicar manipulação mecânica ou energia ao prepeg para formar em pelo menos uma porção do

prepreg uma ou mais perfurações.

Em uma forma de realização alternativa, um método para formar um compósito reforçado com fibra é fornecido. O método compreende introduzir uma ou mais perfurações em um prepreg compreendendo uma resina de matriz e uma fibra embutida dentro de pelo menos uma porção da matriz para formar um prepreg perfurado. Uma ou mais perfurações são configuradas de modo a permitir que os gases percorram de dentro do corpo do prepreg perfurado a uma superfície externa do prepreg perfurado.

Em uma outra forma de realização, um assentamento de prepreg perfurado é fornecido. O assentamento de prepreg perfurado pode compreender um ou mais preregs perfurados como debatido acima. O assentamento de prepreg perfurado pode compreender adicionalmente combinações do prepreg perfurado e preregs não contendo perfurações. Em uma outra forma de realização, um prepreg perfurado é fornecido em que a fração de peso do reforço de fibra no prepreg perfurado é menor do que 20 % em peso tal como para uma película adesiva ou película de formação de superfície, e pode ser zero tal como para uma película de resina.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

As Figuras 1A a 1C são ilustrações de formas de realização de preregs completamente impregnados (1A) e parcialmente impregnados (1B e 1C);

As Figuras 2A a 2B são ilustrações de formas de realização de preregs completamente e parcialmente impregnados, respectivamente, tendo perfurações;

As Figuras 3A a 3B são ilustrações de mecanismos possíveis pelos quais os gases podem ser substancialmente removidos dos preregs completamente e parcialmente perfurados e assentamentos de prepreg das Figuras 2A a 2B, respectivamente;

A Figura 4 ilustra métodos para a introdução de perfurações

dentro de sistemas de prepreg;

As Figuras 5A-5B são vistas de cima para baixo de formas de realização de preregs tendo perfurações distribuídas; (A) distribuição de perfuração aleatória; (B) distribuição de perfuração substancialmente uniforme; e

A Figura 6 ilustra uma forma de realização de um sistema para a consolidação e cura de preregs perfurados para formar estruturas compósitas.

DESCRIÇÃO DETALHADA

Os termos “aproximadamente”, “cerca de”, e “substancialmente” como usado aqui representam uma quantidade próxima à quantidade declarada que ainda realiza a função desejada ou obtém o resultado desejado. Por exemplo, os termos “aproximadamente”, “cerca de”, e “substancialmente” podem referir-se a uma quantidade que está dentro menor do que 10 %, dentro menor do que 5 %, dentro menor do que 1 %, dentro menor do que 0,1 %, e dentro menor do que 0,01 % da quantidade declarada.

Uma perfuração que possui uma seção transversal circular que é substancialmente uniforme pode exibir diâmetros que estão dentro menor do que 10 % do diâmetro médio, dentro menor do que 5 % do diâmetro médio, dentro menor do que 1 % do diâmetro médio, dentro menor do que 0,1 % do diâmetro médio, e dentro menor do que 0,01 % do diâmetro médio. Em um outro exemplo, uma perfuração que estende-se substancialmente perpendicular a um plano selecionado de uma fibra pode exibir orientações que estão dentro menor do que 10 % do ângulo do normal ao plano da fibra, dentro menor do que 5 % do ângulo do normal ao plano da fibra, dentro menor do que 1 % do ângulo do normal ao plano da fibra, dentro menor do que 0,1 % do ângulo do normal ao plano da fibra, e dentro menor do que 0,01 % do ângulo do normal ao plano da fibra.

O termo “pelo menos uma porção de” como usado aqui

representa uma quantidade de um todo que compreende uma quantidade do todo que pode incluir o todo. Por exemplo, o termo “uma porção de” pode referir-se a uma quantidade que é maior do que 0,01 %, maior do que 0,1 %, maior do que 1 %, maior do que 10 %, maior do que 20 %, maior do que 30 %, maior do que 40 %, maior do que 50 %, maior do que 60 %, maior do que 70 %, maior do que 80 %, maior do que 90 %, maior do que 95 %, maior do que 99 %, e 100 % do todo.

O termo “temperatura ambiente” como usado aqui tem seu significado habitual como conhecido àqueles habilitados na técnica e pode incluir temperaturas dentro da faixa de cerca de 15° C a 43° C.

O termo “fibra” ou “fibras” como usado aqui tem seu significado habitual como conhecido àqueles habilitados na técnica e pode incluir um ou mais materiais fibrosos adaptados para o reforço de compósitos. Fibras podem tomar a forma de qualquer um de partículas, flocos, cristais capilares, fibras curtas, fibras contínuas, folhas, dobras, e combinações dos mesmos. Fibras contínuas podem adotar ainda qualquer uma de fibras unidirecionais, multidimensionais (por exemplo, bi- ou tri-dimensionais), não tecidas, tecidas, entrelaçadas, costuradas, enroladas, e trançadas, assim como estruturas de esteira com fibras concêntricas, esteira de feltro, e esteira cortada. Fibras tecidas podem compreender uma pluralidade de estopas tecidas tendo menos do que cerca de 1000 filamentos, menos do que cerca de 3000 filamentos, menos do que cerca de 6000 filamentos, menos do que cerca de 12000 filamentos, menos do que cerca de 24000 filamentos, menos do que cerca de 48000 filamentos, menos do que cerca de 56000 filamentos, menos do que cerca de 125000 filamentos, e maior do que cerca de 125000 filamentos. Estopas tecidas podem ser seguradas na posição por pontos de costura de fibra bruta cruzada, pontos de tricô de inserção em trama, ou uma quantidade pequena de resina, tal como um encolamento.

A composição das fibras pode ser variada, conforme

necessário. Fibras incluem, mas não são limitadas a, vidro, carbono, aramida, quartzo, polietileno, poliéster, poli-p-fenileno-benzobisoxazol (PBO), boro, carboneto de silício, poliamida, Nylon[®], nitreto de silício, Astroquartz[®], Tyranno[®], Nextel[®], Nicalon[®], e grafita, e combinações dos mesmos.

5 Os termos “matriz”, “resina”, e “resina de matriz” como usado aqui têm seu significado habitual como conhecido àqueles habilitados na técnica e podem incluir um ou mais compostos compreendendo um material de termocura e/ou termoplástico. Exemplos podem incluir, mas não são limitados a, epóxis, agentes de cura epóxis, fenólicos, fenóis, cianatos, imidas
10 (por exemplo, poliimidas, bismaleimida (BMI), polieterimidas), poliésteres, benzoxazinas, polibenzimidazóis, polibenzotiazóis, poliamidas, poliamidimidas, polissulfonas, poliéter sulfonas, policarbonatos, tereftalatos de polietileno, e poliéter cetonas (por exemplo, poliéter cetona (PEK), poliéter éter cetona (PEEK), poliéter cetona cetona (PEKK) e semelhantes),
15 combinações dos mesmos, e precursores dos mesmos.

Matrizes, como debatido aqui, podem compreender adicionalmente aditivos solúveis, insolúveis ou parcialmente solúveis. Tais aditivos podem ser fornecidos para influenciar uma ou mais de propriedades mecânicas, reológicas, elétricas, ópticas, químicas, e/ou térmicas da matriz.
20 Tais aditivos podem compreender adicionalmente materiais que reagem quimicamente com a matriz, interagem com a matriz, ou são não reativos com a matriz. A distribuição de tamanho, e geometria de tais aditivos também podem ser variadas, conforme necessário. Por exemplo, o tamanho dos aditivos pode variar entre dimensões em nanoescala (aproximadamente 1 nm
25 a 100 nm), dimensões em microescala (aproximadamente 100 nm a 100 µm), e dimensões em macroescala, maiores do que cerca de 100 µm. Em outros exemplos, os aditivos podem ser configurados em geometrias incluindo, mas não limitadas a, partículas, flocos, hastes, e semelhantes. Em exemplos adicionais, os aditivos podem ser distribuídos dentro de uma área selecionada

da matriz (por exemplo, adjacente a uma superfície da matriz) ou uniformemente distribuídos ou dissolvidos dentro da matriz. Exemplos de aditivos podem incluir, mas não são limitados a, substâncias orgânicas e inorgânicas tais como retardantes de chama, protetores ultravioletas (UV),
5 espessantes (por exemplo, Cabosil®), e reforços para realçar um ou mais de tolerância ao dano, tenacidade, resistência ao desgaste (por exemplo, borrachas, cerâmicas, e/ou vidros).

Aditivos particularmente vantajosos são partículas de borracha, partículas termoplásticas ou combinações que são bem conhecidas
10 na técnica para melhorar a tolerância ao dano.

O termo “impregnar” como usado aqui tem seu significado habitual como conhecido àqueles habilitados na técnica e pode incluir a introdução de uma película de matriz, pó, líquido, e ou solução em pelo menos uma porção das fibras. A impregnação pode ser facilitada pela
15 aplicação de um ou mais de calor, pressão, e solventes. “Impregnação total”, como debatido aqui, pode incluir seu significado habitual e pode incluir ainda impregnações que embutem substancialmente todas as fibras dentro da matriz, tal como no prepreg. “Impregnação parcial”, como debatido aqui, inclui seu significado habitual e pode incluir impregnações que são menos do que
20 substancialmente impregnação total e contêm regiões de fibras secas onde uma porção das fibras não é embutida dentro da matriz.

O termo “prepreg” como usado aqui tem seu significado habitual como conhecido àqueles habilitados na técnica e assim inclui folhas ou lâmina de fibras que foram impregnadas com uma resina de matriz dentro
25 de pelo menos uma porção de seu volume. A matriz pode estar presente em um estado parcialmente curado ou não curado.

O termo “assentamento” como usado aqui tem seu significado habitual como conhecido àqueles habilitados na técnica e pode incluir um ou mais preregs que são colocados adjacentes entre si. Em certas formas de

realização, os prepregs dentro do assentamento podem ser posicionados em uma orientação selecionada com respeito um ao outro. Em uma outra forma de realização, os prepregs podem ser opcionalmente costurados juntos com um material de rosqueamento de modo a inibir seu movimento relativo a partir de uma orientação selecionada. Em formas de realização adicionais, “assentamentos” podem compreender qualquer combinação de prepregs completamente impregnados, prepregs parcialmente impregnados, e prepregs perfurados como debatido aqui. Assentamentos podem ser fabricados por técnicas que podem incluir, mas não são limitadas a, assentamento manual, assentamento por fita automática (ATL), colocação de fibra avançada (AFP), e enrolamento de filamento.

O termo “estabilidade dimensional” como usado aqui tem seu significado habitual como conhecido àqueles habilitados na técnica e assim inclui a habilidade de uma estrutura para manter a dimensão dentro de uma faixa selecionada durante um período selecionado de tempo. Em certas formas de realização, a faixa selecionada pode ser determinada pela habilidade da estrutura para realizar uma função intencionada, tal como permitindo a passagem de um gás em uma taxa selecionada sob uma pressão selecionada.

O termo “consolidação” como usado aqui tem seu significado habitual como conhecido àqueles habilitados na técnica e assim inclui processos em que a resina ou resina de matriz escoar de modo a deslocar o espaço vazio. Por exemplo, “consolidação” pode incluir, mas é não limitada a, fluxo da matriz em espaços vazios entre e dentro de fibras e prepregs, perfurações, e semelhantes. “Consolidação” pode ocorrer ainda sob a ação de um ou mais de calor, vácuo, e pressão aplicada.

Os termos “cura” e “curar” como usado aqui têm seu significado habitual como conhecido àqueles habilitados na técnica e podem incluir processos de polimerização e/ou reticulação. A cura pode ser realizada

por processos que incluem, mas não são limitados a, aquecimento, exposição à luz ultravioleta, e exposição à radiação. Em certas formas de realização, a cura pode ocorrer dentro da matriz. Antes da cura, a matriz pode compreender adicionalmente um ou mais compostos que são, em torno da temperatura ambiente, líquidos, semi-sólidos, sólidos cristalinos, e combinações dos mesmos. Em outras formas de realização, a matriz dentro do prepreg pode ser formulada ou parcialmente curada de modo a exibir uma pegajosidade ou adesão selecionadas. Em certas formas de realização, a consolidação e a cura podem ser realizadas em um processo único.

Formas de realização da presente divulgação fornecem prepregs perfurados, assentamentos de prepreg perfurados, e métodos de fabricação. O prepreg perfurado possui habilidade realçada para a remoção de gases aprisionados dentro de e entre os prepregs perfurados e assentamentos de prepreg perfurados. Gases aprisionados podem ser removidos ainda antes e/ou durante pelo menos uma porção do processo de consolidação dos prepregs perfurados sozinhos, ou quando incorporados em assentamentos de prepreg perfurados, assim como antes e/ou durante pelo menos uma porção de processos de consolidação para formar estruturas compósitas. Em certas formas de realização, perfurações tendo configurações selecionadas são introduzidas nos prepregs antes do assentamento. Em formas de realização alternativas, perfurações tendo configurações selecionadas são introduzidas nos prepregs durante ou depois do assentamento. Antes e/ou durante pelo menos uma porção de consolidação dos prepregs, as perfurações fornecem caminhos para os gases aprisionado dentro de e entre os prepregs perfurados ou assentamentos de prepreg perfurados para escapar, reduzindo a porosidade residual dentro do compósito resultante e podem elevar suas propriedades mecânicas. Por exemplo, compósitos tendo porosidades residuais menor do que 10 % em vol, menor do que 4 % em vol, e menor do que 1 % em vol, na base do volume total da compósito, podem ser obtidos nesta maneira.

Em certas formas de realização, os preregs perfurados são configurados para permitir a estabilidade dimensional das perfurações. Como um resultado, as perfurações, uma vez introduzidas, podem permanecer dimensionalmente estáveis durante um período selecionado de tempo. Em certas formas de realização, as perfurações podem permanecer dimensionalmente estáveis durante o armazenamento dos preregs perfurados. Em outras formas de realização, as perfurações podem permanecer dimensionalmente estáveis durante pelo menos uma porção do processo de consolidação. Beneficamente, este projeto dos preregs perfurados permite a remoção de gases que são aprisionados dentro de preregs perfurados e entre as camadas de preregs perfurados dentro dos assentamentos de prepeg perfurados.

Em certas formas de realização, a estabilidade dimensional pode ser fornecida adaptando-se a viscosidade da matriz. Por exemplo, viscosidades relativamente altas da matriz, maiores do que cerca de 1.000.000 centipoise (cp) em torno da temperatura ambiente, podem fornecer perfurações com estabilidade dimensional. Preferivelmente, a resina de matriz é adaptada para formar perfurações dimensionalmente estáveis em torno da temperatura ambiente e é capaz de escoar em uma temperatura selecionada maior do que a temperatura ambiente para preencher uma ou mais das perfurações.

Em outras formas de realização, as perfurações podem ser introduzidas em preregs completamente ou parcialmente impregnados. Como debatido em maior detalhe abaixo, é possível fabricar preregs perfurados em que uma porção das fibras de prepeg não é impregnada com a resina de matriz, um prepeg parcialmente impregnado. Introduzindo-se perfurações dentro de tais preregs parcialmente impregnados, os gases podem percorrer através das porções não impregnadas do prepeg perfurado, as porções perfurados, áreas inter-camada entre prepeg em assentamentos de

pregreg, e combinações dos mesmos, realçando a habilidade de gases para escapar dos preregs e assentamentos perfurados, parcialmente impregnados. Beneficamente, a habilidade das perfurações a serem introduzidas em preregs completamente ou parcialmente impregnados permite que os métodos debatidos aqui sejam usados com uma faixa ampla de preregs e aplicações.

Em formas de realização adicionais, a configuração das perfurações pode ser variada ainda de modo a realçar ainda mais a habilidade dos gases para escapar dos preregs antes e/ou durante pelo menos uma porção da consolidação. Em um exemplo, as perfurações podem estender-se parcialmente ou completamente através da espessura dos preregs. Em um outro exemplo, as perfurações podem ser distribuídas através do prepeg em uma maneira controlada, levando em consideração a remoção de gases por todo o prepeg, facilitando a formação de compósitos homogêneos. Em um outro exemplo, parâmetros das perfurações, incluindo, mas não limitados a, tamanho, forma, distribuição, e densidade de perfuração (número de perfurações por área unitária) podem ser variados, conforme necessário.

As Figuras 1A a 1B ilustram formas de realização de preregs completamente e parcialmente impregnados 100, 108. Em uma forma de realização, os preregs 100, 108 compreendem fibras 104, e uma matriz 102 que foi impregnada em pelo menos uma porção das fibras 104.

A matriz 102 pode ser completamente ou parcialmente impregnada nas fibras 104 na forma de sólidos, películas semi-sólidas, pós, e líquidos, com ou sem aplicação de calor e/ou pressão. Em um exemplo, um prepeg completamente impregnado 100 pode ter fibras que são substancialmente embutidas dentro da matriz 102. Em um outro exemplo, um prepeg parcialmente impregnado 108 pode conter áreas selecionadas que são substancialmente livres da matriz 102, tais como zona livre da matriz 114 contendo fibras secas 116 que não são substancialmente embutidas dentro da

matriz 102 como mostrado na Fig 1C. Em um outro exemplo, um prepreg parcialmente impregnado 108 pode conter áreas selecionadas que são parcialmente livres da matriz 102, tal como mostrado como zona livre da matriz 114 contendo principalmente fibra seca 116, com algumas fibras na zona livre da matriz 114 embutidas dentro da matriz 102 como mostrado na Fig 1B. Em uma forma de realização, prepregs parcialmente impregnados 108 podem ser formados impregnando-se fibras 104 a partir dos dois lados, deixando uma zona livre da matriz 114 que é substancialmente sem matriz 102 dentro do interior do prepreg 108. Em um outro exemplo, prepregs parcialmente impregnados 108 podem ser formados impregnando-se fibras 104 a partir de um único lado. Como debatido abaixo, a região livre da matriz 114 pode cooperar com perfurações introduzidas para permitir a remoção de gases dos prepregs parcialmente impregnados 108 durante a consolidação e/ou processo de cura.

Prepregs 100, 108 podem ser formados usando várias técnicas incluindo, mas não limitadas a, processos em solução, tais como imersão em solução e pulverização em solução, assim como processos de fusão e operação, tais como fusão direta e registro de película. Estes processos são projetados para levar pelo menos uma porção das fibras 104 em contato com a matriz 102 em um estado escoável ou maleável e impregnar as fibras 104 com a matriz 102. Para facilitar o processo de assentamento, a adesão da matriz 102 pode ser ajustada correspondentemente durante e/ou depois da impregnação da matriz.

Em processos de imersão em solução, as fibras 104 podem ser passadas através de um banho de sólidos de matriz que são dissolvidos dentro de um solvente. Conforme as fibras 104 passam através do banho, elas captam uma quantidade de sólidos de matriz que varia com fatores tais como a velocidade em que as fibras 104 são passadas através do banho e o teor de sólidos de matriz dentro do banho. Em processos de pulverização em solução,

uma quantidade selecionada de sólidos de matriz é pulverizada na fibra 104. Em cada caso de processamento em solução, a fibra impregnada 104 é aquecida depois da exposição ao banho ou pulverização de modo a substancialmente remover os solventes e pode fazer com que a matriz comece o processo de cura.

Em processos em fusão diretos, a matriz 102 é fornecida como um revestimento aproximadamente sem solvente diretamente na fibra 104. Em temperaturas de aplicação, a matriz 102 é suficientemente escoável de modo a impregnar pelo menos uma porção das fibras 104 para formar os preregs 100, 108. Alternativamente, no registro de película, a matriz 102 é fundida em uma película da massa em fusão ou solução. As fibras 104 são subsequentemente intercaladas entre uma ou mais películas de matriz, ou uma película aplicada a partir de um lado, e registradas de modo a operar películas de matriz nas fibras 104.

Aditivos também podem ser adicionados à matriz 102 antes ou depois da impregnação. Em uma forma de realização, aditivos podem compreender particulados que são adicionados por aspersão em ou dentro da matriz 102. Tais aditivos também podem ser vantajosos para a remoção de gases entre dobras de assentamento porque os gases podem mover-se mais livremente através das passagens criadas pelos aditivos posicionados entre as dobras. Tais aditivos de particulado podem incluir, mas não são limitados a, partículas, tal como qualquer combinação de partículas termoplásticas, partículas de termocura, partículas siliciosas, partículas vítreas, partículas de borracha e inorgânicas tendo um diâmetro médio menor do que cerca de 200 μm .

O teor da fibra do prepeg 100, 108 também pode ser variado, como declarado pelo pedido. Em uma forma de realização, a fração de peso da fibra 104 pode variar entre cerca de 20 a 80 % em peso, na base do peso total dos preregs 100, 108. Em uma outra forma de realização a fração de

peso da fibra 104 em um prepreg perfurado é menor do que 20 % em peso tal como para uma película adesiva ou de formação de superfície, e pode ser zero tal como para uma película de resina. O prepreg perfurado de uma tal forma de realização pode ser vantajosamente usado como uma película adesiva ou de superfície onde as perfurações fornecem caminhos para a remoção de gases a partir de uma superfície, dentre os aderentes ou a partir do núcleo. Tais adesivos incluiriam aplicações de ligação co-curáveis para compósitos, aplicações em metal e estrutura tipo sanduíche. Formas de realização vantajosas onde a fração de peso da fibra 104 em um prepreg perfurado é menor do que 20 % em peso ou nada incluem um adesivo, por exemplo, em que as fibras no adesivo são um poliéster de peso leve ou tecido para forro de náilon.

A fração dos preregs 100, 108 ocupados pela matriz 102 também pode ser variada, conforme desejado. Em certas formas de realização, a matriz 102 pode ocupar entre cerca de 20 a 80 % em peso dos preregs 100, 108, na base do peso total dos preregs 100, 108.

As Figuras 2A a 2B ilustram formas de realização de preregs completamente e parcialmente impregnados 200, 202 tendo perfurações 204A e perfurações parciais 204B. Em certas formas de realização, perfurações 204A podem estender-se substancialmente através da largura dos preregs 200, 202, enquanto perfurações parciais 204B podem estender-se através de uma porção selecionada da largura dos preregs 200, 202.

As perfurações 204A, 204B podem compreender passagens que são introduzidas nos preregs 100, 108 e podem incluir, mas não são limitadas a, penetrações, furos, poros, fendas, intervalos, rachaduras, e combinações dos mesmos. As perfurações 204A, 204B podem ser substancialmente uniformes ao longo de seu comprimento, substancialmente não uniformes ao longo de seu comprimento, e combinações das mesmas. As perfurações 204A, 204B podem ser orientadas adicionalmente em um ângulo

selecionado com respeito ao eixo longo das fibras 104. Por exemplo, as perfurações 204A, 204B, podem estender-se aproximadamente perpendicular ao eixo longo das fibras 104.

Sem estar ligado a uma teoria específica, preregs perfurados 200, 202 podem facilitar a remoção de gases de preregs perfurados individuais 200, 202 e assentamentos de prepeg 300, 310 que incorporam preregs perfurados 200, 202 (Figuras 3A a 3B) antes e/ou durante pelo menos uma porção da consolidação e assim reduzem o volume de porosidade dentro dos compósitos formados a partir dos mesmos, quando comparado a compósitos formados sem preregs perfurados 200, 202. Por exemplo, as perfurações 204A, 204B fornecem caminhos de escape para gases dos preregs perfurados 200, 202 e permitem que os gases sejam removidos dos preregs perfurados 200, 202 com maior facilidade e em maior volume quando comparado com preregs não perfurados. Os gases podem incluir gases intra-camada 302A que originam-se de dentro da matriz 102 ou zona livre da matriz 114 de preregs parcialmente e/ou completamente impregnados 200, 202 e gases inter-camada 302B, 302C que originam-se da região inter-camada de dentro da matriz 102 e entre as camadas de prepeg em assentamentos de prepeg. Em particular, acredita-se que preregs perfurados 200, 202 sejam apropriados para a remoção de gases que podem expandir durante a consolidação.

As Figuras 3A e 3B ilustram formas de realização de assentamentos de prepeg perfurados parcialmente impregnados 300 e assentamentos de prepeg perfurados completamente impregnados 310 dos quais os gases podem ser removidos. Pode ser entendido que formas de realização da divulgação podem incluir assentamentos compreendendo qualquer combinação de preregs completamente impregnados 100, preregs parcialmente impregnados 102, preregs perfurados completamente impregnados 200, e preregs perfurados parcialmente impregnados 202.

Como ilustrado nas Figuras 3A a 3B, os gases 302A, 302B, 302C dentro dos preregs perfurados 200, 202 podem mover-se através de qualquer combinação da matriz 102, zonas livres da matriz 114, e perfurações 204A, 204B de modo a percorrer fora dos preregs perfurados 200, 202. Por exemplo, sob a influência de uma força, que pode surgir devido ao fluxo da matriz, pressão aplicada, e/ou vácuo, os gases 302A, 302B, 302C podem ser impelidos entre e/ou dentro de uma perfuração adjacente 204. Uma vez na perfuração 204, os gases 302A, 302B, 302C podem facilmente percorrer fora dos preregs perfurados 200, 202, sem resistência substancial da matriz 102.

Como ilustrado ainda no assentamento de prereg perfurado parcialmente impregnado 300 da Figura 3A, a zona livre da matriz 114 pode permitir a comunicação dos gases 302A, 302C entre qualquer combinação de duas ou mais perfurações 204A e 204B. Por exemplo, uma vez que os gases 302A, 302C entram na perfuração 204A, ao invés de escoar a perfuração 204A para percorrer fora do prereg perfurado 202, os gases 302A, 302C podem percorrer através da zona livre da matriz 114 para a perfuração 204C antes de percorrer fora do prereg perfurado 202. Em um outro exemplo, os gases 302A, 302C podem percorrer através de uma ou mais perfurações 204A, 204B para a zona livre da matriz 114, onde os gases 302A, 302C podem percorrer através da zona livre da matriz 114 de modo a escapar do assentamento de prereg perfurado parcialmente impregnado 300. Beneficamente, a habilidade dos gases 302A, 302C para mover-se entre as perfurações 204A, 204B pode permitir os gases 302A, 302C uma variedade de caminhos a partir do prereg perfurado 202. Tais caminhos alternativos podem ser benéficos sob circunstâncias em que uma ou mais perfurações 204A, 204B são bloqueadas ou de outro modo impassíveis, visto que os gases 302A, 302C podem ainda percorrer fora dos preregs perfurados 200, 202 através de outras combinações de perfurações 204A, 204B e da zona livre da matriz 114.

Em certas formas de realização, as perfurações 204A, 204B podem ser introduzidas nos preregs 100, 108 depois da impregnação da matriz pela aplicação de energia, como ilustrado na Figura 4. A energia pode compreender adicionalmente pelo menos uma de energia mecânica e térmica.

5 Embora os preregs completamente e parcialmente impregnados 100, 108 sejam debatidos abaixo no contexto de introduzir perfurações 204A, 204B, pode ser entendido que perfurações também podem ser introduzidas em preregs perfurados completamente impregnados 200 e preregs perfurados parcialmente impregnados 202. Além disso, as perfurações 204A, 204B

10 podem ser introduzidas em assentamentos tendo qualquer combinação de preregs completamente impregnados 100, preregs parcialmente impregnados 102, preregs perfurados completamente impregnados 200 e preregs perfurados parcialmente impregnados 202.

Em certas formas de realização, o processo de perfuração pode

15 quebrar várias fibras no prereg. Em certas formas de realização, as perfurações 204A, 204B são introduzidas tal que as propriedades mecânicas tais como resistência à tração, módulo de tensão, e força de compressão de compósitos formados a partir de preregs perfurados 200, 202 são reduzidas em menos do que 10 %, menos do que 5 %, e/ou menos do que 1 %, quando

20 comparado a um compósito fabricado a partir de preregs comparáveis sem perfurações.

Em uma forma de realização, energia mecânica pode ser aplicada através do uso de uma ferramenta perfurante 400 tendo uma ou mais

25 protrusões 402, tal como um rolo de pinos. Em uma forma de realização a ferramenta perfurante 400 pode ser um rolo de pinos contendo uma pluralidade de pinos cada pino sendo de cerca de 100 μ m de altura a cerca de 5 cm de altura ou mais, mais preferivelmente cerca de 1 mm a cerca de 25 mm, como é necessário para penetrar o prereg até a profundidade desejada. Cada pino pode ser de qualquer forma variada tal como cônica, trapezoidal,

chanfrada, etc. com um diâmetro médio de cerca de 1 μm a cerca de 10 mm, mais preferivelmente cerca de 500 μm a 1500 μm na superfície do prepreg quando penetrado no prepreg. A pluralidade de pinos pode ser da mesma altura e diâmetro ou diferente. Os pinos são preferivelmente terminados em uma ponta afiada, mas podem ser terminados por uma ponta que é cega, chanfrada arredondada ou outra forma desejada. As protrusões 402 da ferramenta perfurante 400 podem perfurar os preregs 100, 108, através de pelo menos uma porção de sua espessura de modo a introduzir as perfurações 204A, 204B. As protrusões 402 podem ser configuradas ainda em torno do tamanho, densidade, e/ou padrão desejados para as perfurações 204A, 204B. Em formas de realização alternativas, uma pluralidade de ferramentas perfurantes 400 pode ser utilizada de modo a obter a configuração desejada das perfurações 204A, 204B.

Em uma outra forma de realização, energia mecânica pode ser aplicada aos preregs 100, 108 através do uso de um dispositivo de ultrassom 406 capaz de emitir ondas de ultrassom 410. As ondas de ultrassom 410 compreendem ondas de pressão tendo uma frequência dentro da faixa ultrassônica. Na entrada do prepreg 100, 108, as ondas de pressão podem fazer com que a matriz 102 frature, gerando as penetrações 204A, 204B. A formação das penetrações 204A, 204B por ondas de ultrassom 410 também pode ser facilitada resfriando-se os preregs 100, 108 de modo a reduzir a energia necessária para fraturar a matriz 102. Em uma outra forma de realização, manipulação mecânica é aplicada aos preregs resfriados para formar poros ou perfurações.

Em um outro exemplo, energia térmica pode ser aplicada através do uso de um laser 404. Um feixe 412 do laser 404 é configurado para queimar uma perfuração 204A, 204B de profundidade selecionada através dos preregs 100, 108. A área em seção transversal do feixe 412 pode ser aproximadamente igual à área em seção transversal da perfuração desejada

204.

As perfurações formadas podem ser de qualquer diâmetro por tamanho suficiente para o escape dos gases do prepreg perfurado ou assentamento de prepreg perfurado. Por exemplo, o diâmetro médio de cada perfuração pode ser de cerca de 1 μm , ou menos, a cerca de 5000 μm , ou mais, e preferivelmente cerca de 50 μm a cerca de 500 μm , dependendo da densidade das perfurações e outros fatores tal que a pluralidade de perfurações permite o escape suficiente de gases. Em outras formas de realização, a distribuição das perfurações 204 pode ser selecionada de modo a permitir que os gases 302A, 302B, 302C escapem dos prepregs perfurados 200, 202, como ilustrado nas vistas de cima para baixo das Figuras 5A a 5B. Por exemplo, as perfurações 204 podem ser distribuídas aproximadamente sobre o volume inteiro dos prepregs perfurados 200, 202. A distribuição pode ser aleatória, como ilustrado na Figura 5A, ou aproximadamente uniforme, como ilustrado na Figura 5B. Em uma forma de realização, as perfurações 204 podem estar presentes em uma densidade média maior do que cerca de uma perfuração por 20 cm quadrados até tanto quanto necessário para permitir o escape suficiente dos gases dependendo do diâmetro da perfuração. Em um outro exemplo, as perfurações 204 podem ser distribuídas em um padrão selecionado. Adicionalmente, as perfurações 204 podem ser separadas por uma distância selecionada (por exemplo, distância de borda a borda, distância do centro a centro, e semelhantes), tal como cerca de 0,01 a 100 mm. Vantajosamente, distribuindo-se as perfurações 204 dentro do volume inteiro dos prepregs perfurados 200, 202, os gases 302A, 302B, 302C podem escapar por todo o volume dos prepregs perfurados 200, 202, inibindo o desenvolvimento de regiões de porosidade não homogênea. Pode ser entendido, entretanto, que em formas de realização alternativas, as perfurações 204A, 204B podem ser introduzidas em uma porção selecionada dos prepregs 100, 108, ao invés de através de substancialmente o volume

inteiro dos prepregs 100, 108.

Em outras formas de realização, a viscosidade da matriz 102 pode ser configurada de modo a permitir que as perfurações 204 permaneçam dimensionalmente estáveis. Beneficamente, a estabilidade dimensional das perfurações 204 pode permitir o manejo dos prepregs perfurados 200, 202 durante a fabricação, armazenamento, e uso, sem precauções excessivas. As perfurações formadas são completamente ou substancialmente destituídas de fibras de carbono assim como resina de matriz.

Em uma outra forma de realização, a viscosidade da matriz 102 pode ser configurada para escoar e preencher os espaços vazios dentro de e entre os prepregs perfurados 200, 202 durante a consolidação. Por exemplo, em uma forma de realização, a viscosidade da matriz 102 pode ser configurada para escoar e preencher os espaços vazios na aplicação de calor, sem pressão externa. Em outras formas de realização, a viscosidade da matriz 102 pode ser configurada para escoar e preencher os espaços vazios na aplicação de calor e pressão externa e/ou vácuo. Beneficamente, permitindo-se que as perfurações 204A, 204B e outros espaços vazios sejam preenchidos durante a consolidação, as perfurações 204A, 204B e outros espaços vazios podem ser configurados de modo a não contribuir para a porosidade do compósito resultante.

Em outras formas de realização, prepregs perfurados 200, 202 podem ser configurados para exibir níveis variados de adesão. Vantajosamente, prepregs perfurados 200, 202 exibindo um nível relativamente alto de adesão podem ser adequados para a fabricação de partes compósitas complexas, visto que eles podem ser posicionados em raios relativamente estreitos.

A Figura 6 ilustra uma forma de realização de um sistema 600 para a consolidação e cura de prepregs perfurados 200, 202. Em certas formas de realização, os prepregs perfurados 200, 202 são configurados como lâmina

que são designados a serem empilhados juntos em uma orientação selecionada ou assentamento 602, consolidados, e curados para formar uma parte compósita. Por exemplo, em prepregs perfurados 200, 202 tendo orientações unidirecionais da fibra 104, as fibras 104 podem ser orientadas em 0° , 90° , ou um ângulo θ selecionado com respeito à maior dimensão do prepeg 100, 108. Prepregs perfurados 200, 202 tendo qualquer combinação de orientações podem ser combinados para formar o assentamento 602. Similarmente, assentamentos 602 podem ser gerados para prepeg perfurados 200, 202 tendo outras arquiteturas de fibra.

10 O assentamento 602 pode compreender adicionalmente materiais colocados entre uma ou mais das camadas de prepeg perfurado dentro do assentamento 602. Em uma forma de realização, um núcleo central compreendendo madeira, espuma, favo de mel, ou outros materiais estruturais pode ser deste modo colocado. Alternativa ou adicionalmente, camadas
15 duplicadoras podem ser colocadas entre as camadas de prepeg perfurado de modo a criar regiões de reforço alongadas. Além disso, tecidos para forro de peso leve não impregnados, ou parcialmente impregnados, tais como fibra de vidro, carbono, material termoplástico ou outros materiais tecidos ou não tecidos, por exemplo, como descrito na Publicação de Patente U.S. Nº
20 2005/0255766, podem ser introduzidos dentro do assentamento 602 em localidades selecionadas de modo a facilitar a remoção de gases 302A, 302B, 302C ou a aumentar propriedades mecânicas tais como tolerância ao dano.

Em outras formas de realização, uma película de resina contínua ou descontínua tendo uma viscosidade mais baixa do que a resina de
25 matriz pode ser adicionada ao prepeg 200/202 e/ou assentamento 602 de modo a melhorar a adesão. A adição de uma tal película de resina ao assentamento 602 pode facilitar a preparação do prepeg 200/202 e assentamento 602, especialmente sob circunstâncias onde a matriz dos prepeg 200, 202 compreende aditivos, tais como partículas, ou tecidos para

forro. A película de resina podem ser, e é preferivelmente, perfurada.

Em formas de realização do assentamento 602 que incorpora estruturas de núcleo, um material adesivo também pode ser utilizado de modo a ligar o núcleo ao material de prepreg durante a cura dos prepregs. Visto que estruturas centrais de núcleo aberto, tais como estruturas em favo de mel, podem conter uma quantidade significativa de gases, a camada de adesivo também pode ser perfurada ou reticulada de modo a facilitar a remoção dos gases. Em formas de realização adicionais, as perfurações 204A, 204B podem ser introduzidas através dos prepregs 100, 102A, camadas de adesivo, e camadas de núcleo de modo a fornecer um caminho substancialmente desobstruído para os gases 302A, 302B, 302C a serem removidos.

O assentamento 602 pode ser colocado em contato com uma ferramenta 604 que fornece uma forma padrão para os prepregs perfurados 200, 202 para adotar durante a consolidação e cura. Por exemplo, a ferramenta 604 pode compreender uma superfície relativamente planar, superfícies curvadas, e combinações das mesmas. Em uma forma de realização, uma segunda ferramenta pode estar localizada oposta à ferramenta 604 de modo a moldar a face do assentamento 602 adjacente à segunda ferramenta. Uma força pode ser aplicada à ferramenta 604 e à segunda ferramenta para consolidar os prepregs perfurados 200, 202 e aquecida para curar os prepregs perfurados 200, 202 em um sistema de cura por pressão. Um envelope de vácuo 610 é opcional para um tal sistema de cura por pressão. Para inibir o fluxo da matriz 102 para fora do assentamento 602, ou para melhorar o fluxo de gás uma ou mais contenções 606 também podem ser colocadas adjacentes às bordas do assentamento 602.

O assentamento 602 e a ferramenta 604 podem ser circundados ainda por um envelope de vácuo 610 com um respiro 612, tal como fibra de vidro não impregnada. Em uma forma de realização, o respiro 612 pode ser posicionado adjacente a pelo menos uma das superfícies horizontais do

assentamento 602 para o respiro da superfície. Em uma outra forma de realização, o respiro 612 pode ser colocado adjacente a uma ou mais bordas do assentamento 602 para respiro da borda. Em outras formas de realização, o respiro 612 pode ser posicionado tanto para o respiro da superfície e borda.

- 5 Fitas selantes podem ser utilizadas ainda, conforme necessário, para criar um selo a vácuo aproximadamente estreito entre a ferramenta 604 e o envelope de vácuo 610.

- 10 Em outras formas de realização, uma película separadora 614 pode ser introduzida entre os prepregs 200, 202 e o respiro 612 em uma ou mais superfícies de modo a facilitar a remoção de compósitos fabricados do sistema 600. Em certas formas de realização, a película separadora 614 pode ser permeável a gás. Em formas de realização alternativas, a película separadora 614 pode ser perfurada. Em formas de realização adicionais, a película separadora 614 pode ser substancialmente impermeável a gás, mas
15 pode permitir que os gases 302A, 302B, 302C percorram para as bordas do assentamento 602 para a remoção.

- Vácuo pode ser aplicado ao envelope de vácuo 610 por intermédio do respiro 612, para facilitar a remoção dos gases 302A, 302B, 302C do assentamento 602. O assentamento 602 pode ser aquecido ainda com
20 pressão, tal como dentro de uma autoclave, ou sem pressão, tal como dentro de um forno, de modo a reduzir a viscosidade da matriz 102 e induzir diferenciais de pressão que permitem que matriz 102 escoe. O fluxo da matriz pode preencher áreas evacuadas e deslocar os gases 302A, 302B, 302C do assentamento 602. A matriz 102 pode ainda escoar e entrar nas perfurações
25 204 e outro volume evacuado ou aberto dentro do assentamento quando a viscosidade da matriz 102 for suficientemente baixa de modo a facilitar a consolidação.

Na conclusão da consolidação e cura do assentamento 602, o assentamento 602 forma a parte compósita, que pode possuir uma porosidade

menor do que cerca de 10 % em vol na base do volume total do compósito.

Exemplos

Os seguintes exemplos são fornecidos para demonstrar os benefícios das formas de realização dos preregs perfurados divulgados. Por exemplo, foi observado que os preregs perfurados 200, 202 significativamente melhoram a remoção de gases dos assentamentos de prepeg perfurados 300, 310, sem respiro da borda, quando comparados aos preregs sem perfurações, e produzem compósitos de porosidade baixa na consolidação e cura. Além disso, os exemplos mostram que a taxa de remoção dos gases 302A, 302B, 302C de dentro de e entre as camadas dos preregs perfurados dentro de um assentamento foi descoberta ser maior do que aquela de preregs comparáveis sem perfurações. Estes exemplos são debatidos para propósitos ilustrativos e não devem ser interpretados para limitar o escopo das formas de realização divulgadas.

Exemplo 1 - Compósitos de fibra de carbono/epóxi fabricados a partir de preregs parcialmente impregnados com condições de saco a vácuo apenas (VBO) em um forno

Três compósitos de fibra de carbono/epóxi, experiências 1, 2, e 3, foram fabricados a partir de preregs parcialmente impregnados circundados dentro de uma vedação por saco a vácuo e submetidos à pressão a vácuo apenas (nenhuma pressão de autoclave). Esta maneira de processamento também é referida como processamento por saco a vácuo apenas (VBO). O uso de respiro ou vedação da borda e a presença e ausência de perfurações foram variados para examinar o efeito de cada sobre a porosidade do compósito. Foi observado que compósitos fabricados a partir de preregs perfurados com bordas vedadas (sem respiro da borda), exibiram porosidade significativamente mais baixa do que compósitos fabricados sob condições substancialmente idênticas a partir de preregs sem perfurações. Além disso, o nível de porosidade de compósitos fabricados a partir de

prepregs perfurados, com bordas vedadas, exibiu aproximadamente o mesmo nível de porosidade como compósitos comparáveis fabricados a partir de prepregs não perfurados com respiro da borda.

Experiência 1- Prepregs não perfurados com respiro da borda

5 O compósito de fibra de carbono/epóxi da Experiência 1 foi fabricado a partir de prepregs unidirecionais compreendendo uma fibra com base em poliacrilonitrila (PAN), Thornel[®] T40/800 (Cytac Industries, West Paterson, NJ), tendo um peso da fibra por área de cerca de 145 g/m². A matriz, compreendendo resina epóxi CYCOM[®] 5215 (Cytac Industries, West Paterson, NJ), foi parcialmente impregnada tal que a fração de peso da matriz do prepreg foi aproximadamente 35 % em peso. O prepreg foi cortado em 10 folhas de aproximadamente 30,5 cm x 30,5 cm e aproximadamente 30 destas folhas foram empilhadas em um assentamento (0)₃₀. O assentamento foi ensacado com contenções de silicone tendo fileiras de respiro ao longo das 15 bordas para facilitar o respiro da borda, colocado dentro de um envelope de vácuo, e submetido a um vácuo de aproximadamente 20 mm Hg absoluto durante cerca de 4 horas. Subsequentemente, o assentamento foi curado por aquecimento a uma temperatura de cerca de 82° C durante cerca de 4 horas. O laminado compósito deste modo formado foi seccionado e polido e observado 20 a fim de possuir uma porosidade menor do que cerca de 0,1 % em volume.

Experiência 2 - Prepregs não perfurados com bordas vedadas

O compósito de fibra de carbono/epóxi da Experiência 2 foi fabricado em uma maneira similar à Experiência 1, exceto que o assentamento foi ensacado com todas as bordas vedadas usando fita selante, que 25 substancialmente inibiu o respiro da borda. O laminado compósito deste modo formado foi seccionado e polido e observado a fim de possuir uma porosidade de cerca de 5,5 % em volume.

Experiência 3 - Prepregs perfurados com bordas vedadas

O compósito de fibra de carbono/epóxi da Experiência 3 foi

fabricado em uma maneira similar à Experiência 2, exceto que os preregs foram mecanicamente perfurados com um rolo de pinos cilindricamente formados, de madeira de cerca de 18” de comprimento e 4” em diâmetro contendo pinos fixos de forma cônica com dimensões de 6 mm de altura e 1 mm de diâmetro na base os quais terminam em uma ponta afiada uniformemente espaçam aproximadamente 6 mm à parte. Os pinos do rolo de pinos penetram em um prepeg uma distância selecionada através da espessura do prepeg para formar perfurações. Quanto maior a distância de penetração, maior o tamanho da perfuração resultante. As perfurações podem variar em tamanho de cerca de 100 μm a cerca de 1 mm em diâmetro conforme desejado, dependendo da densidade das penetrações. Passagens múltiplas do rolo de pinos através de um prepeg aumentarão a densidade das perfurações resultantes conforme desejado enquanto mantendo um tamanho relativamente compatível de cada perfuração fornecem uma densidade de perfuração de aproximadamente 2 perfurações/ cm^2 . As perfurações estenderam-se substancialmente através da espessura de cada camada de prepeg resultando na perfuração de cerca de 300 μm em diâmetro e foram introduzidas nos preregs antes do assentamento. Laminados compósitos deste modo formados foram seccionados e polidos e observados a fim de possuir uma porosidade menor do que cerca de 0,1 % em volume.

Exemplo 1 - Resumo

Tabela 1 - Resumo do Exemplo 1

Experiência	Matriz	Fibra	Impregnação parcial	Fração da Matriz (% em peso)	Perfurações	Respiro da Borda	Porosidade (% em volume)
1	Cycom 5215	T40/800	Sim	35	Não	Sim	Menos do que 0,1
2	Cycom 5215	T40/800	Sim	35	Não	Não	5,5
3	Cycom 5215	T40/800	Sim	35	Sim	Não	Menos do que 0,1

Os dados da Tabela 1 mostram que o uso do respiro da borda, quando da fabricação de assentamentos de prepeg não perfurados usando

pressão a vácuo apenas, possibilitou uma redução significativa na porosidade do compósito, de cerca de 5,5 % em vol a menos do que cerca de 0,1 % em vol.. Foi observado ainda que uma redução similar na porosidade do compósito poderia ser obtida através do uso de preregs perfurados, sem a
5 necessidade para o respiro da borda.

Exemplo 2 - Compósitos de fibra de carbono/epóxi fabricados a partir de preregs parcialmente impregnados usando pressão de autoclave e vácuo

Três compósitos de fibra de carbono/epóxi, experiências 4, 5, e 6, foram fabricados a partir de preregs parcialmente impregnados com vácuo e pressão de autoclave. O respiro da borda e a presença e ausência de perfurações foram variados para examinar o efeito de cada sobre a porosidade do compósito. Foi observado que os compósitos fabricados com pressão de autoclave a partir de preregs perfurados, parcialmente impregnados, sem respiro da borda, exibiram porosidade significativamente mais baixa do que
10 os compósitos fabricados sob condições substancialmente idênticas a partir de preregs parcialmente impregnados sem perfurações. O nível de porosidade dos compósitos fabricados com pressão de autoclave a partir de preregs perfurados, sem respiro da borda, exibiu aproximadamente o mesmo nível de porosidade como compósitos comparáveis fabricados a partir de preregs não
15 perfurados com respiro da borda e substancialmente menos do que um prepeg não perfurado sem ruptura da borda.

Experiência 4 - Preregs não perfurados com respiro da borda

O compósito de fibra de carbono/epóxi da Experiência 4 foi fabricado a partir de preregs unidirecionais compreendendo uma fibra com
25 base em poliacrilonitrila (PAN), HTS (Toho Tenax) tendo um peso da fibra por área de cerca de 190 g/m². A matriz, compreendendo resina epóxi CYCOM[®] 977-2 (Cytec Industries, West Paterson, NJ), foi parcialmente impregnada tal que a fração de peso do prepeg foi aproximadamente 34 % em peso. Um assentamento que foi de cerca de 50,8 cm x 50,8 cm foi

formado tendo construções de dobra múltipla variando em tamanho entre cerca de 7,6 cm x 7,6 cm a 10,2 cm x 10,2 cm em torno do centro do painel. O assentamento foi configurado com prepregs em uma orientação a 0°/90°, alternada de cerca de 20 dobras com a construção de cerca de um adicional de 20 dobras intercaladas dentro das dobras maiores. O assentamento foi configurado ainda tal que uma quantidade grande de ar, aproximadamente 200 cm³ em total foi aprisionada entre as camadas de prepeg próximas à construção. O assentamento foi ensacado com contenções de borda de silicona com fileiras de respiro ao longo da borda tal que as bordas foram fixadas ao respiro. O assentamento foi colocado em um envelope de vácuo e submetido a um vácuo de aproximadamente 20 mm Hg absoluto durante cerca de 4 horas. Subsequentemente, o assentamento foi curado por aquecimento a uma temperatura de cerca de 177° C e aplicação de pressão de cerca de 100 psi durante cerca de 2 horas. O laminado compósito deste modo formado foi seccionado e polido e observado a fim de possuir uma porosidade menor do que cerca de 0,1 % em volume por todo o laminado e nas áreas de construção de dobra e em torno delas.

Experiência 5 - Prepregs não perfurados com bordas vedadas

O compósito de fibra de carbono/epóxi da Experiência 5 foi fabricado em uma maneira similar à Experiência 4, exceto que o assentamento foi ensacado com todas as quatro bordas vedadas com fita selante a vácuo, substancialmente inibindo o respiro da borda. A porosidade do laminado compósito deste modo formado, nas áreas de construção de dobra e em torno delas, foi medida até mais do que cerca de 5 % em volume.

Experiência 6 - Prepregs perfurados com bordas vedadas

O compósito de fibra de carbono/epóxi da Experiência 6 foi fabricado em uma maneira similar à Experiência 5 com todas as quatro bordas vedadas com fita selante a vácuo, exceto que os prepregs foram mecanicamente penetrados com um rolo de pinos para fornecer uma densidade de perfuração de

aproximadamente 2 perfurações/cm² usando o rolo de pinos descrito no Exemplo 1. As perfurações estenderam-se substancialmente através da espessura de cada camada de prepreg antes do assentamento. O laminado compósito deste modo formado foi seccionado e polido e observado a fim de ter porosidade menor do que cerca de 0,1 % em volume por todo o laminado e nas áreas de construção de dobra e em torno delas.

Exemplo 2 - Sumário

Tabela 2 - Sumário do Exemplo 2

Experiência	Matriz	Fibra	Impregnação parcial	Fração da Matriz (% em vol)	Perfurações	Bordas Vedadas	Porosidade (% em volume)
4	Cycom 977-2	HTS	Sim	34	Não	Não	Menor do que 0,1
5	Cycom 977-2	HTS	Sim	34	Não	Sim	Maior do que 5
6	Cycom 977-2	HTS	Sim	34	Sim	Sim	Menor do que 0,1

Os dados na Tabela 2 de resumo, mostram que o uso de borda respiro quando da fabricação de assentamentos de prepreg não perfurados usando vácuo e pressão de autoclave permite uma redução significativa na porosidade do compósito, de cerca de 5 % em vol a menos do que cerca de 0,1 % em vol. Os dados mostram ainda que uma redução similar na porosidade do compósito poderia ser obtida através do uso de prepregs perfurados, sem a necessidade para o respiro da borda.

Exemplo 3 - Compósitos de fibra de carbono/epóxi fabricados a partir de prepregs completamente impregnados com condições de saco a vácuo apenas (VBO) em um forno.

Dois compósitos de fibra de carbono/epóxi, experiências 7 e 8, foram fabricados a partir de prepregs substancial e completamente impregnados. Foi observado que, em compósitos fabricados com pressão a vácuo apenas a partir de prepregs perfurados, completamente impregnados, exibem porosidade mais baixa do que compósitos consolidados sob condições substancialmente idênticas a partir de prepregs sem perfurações.

Experiência 7 - Prepregs completamente impregnados não perfurados sem respiro da borda

O compósito de fibra de carbono/epóxi da Experiência 7 foi fabricado a partir de prepregs unidirecionais compreendendo Thornel® T40/800 tendo um peso da fibra por área de cerca de 145 g/m². A matriz, compreendendo resina epóxi CYCOM® 5215, foi substancial e completamente impregnada e a fração de peso da matriz do prepreg foi de aproximadamente 35 % em vol.. O prepreg foi impregnado em uma temperatura de cerca de 105° C, em velocidade de aproximadamente 1 metro/min e usando velocidades lineares mais lentas de modo a permitir que a resina substancial e completamente impregne o prepreg. O prepreg foi cortado em folhas de aproximadamente 30,5 cm x 30,5 cm e aproximadamente 30 destas folhas foram empilhadas em um assentamento (0)₃₀. O assentamento foi ensacado com todas as quatro bordas vedadas com fita selante a vácuo e um separador perfurado por pino revestiu o assentamento de borda vedada. O separador revestido substancialmente inibiu a remoção de gás por respiro da borda e simulou uma parte da fica com fenda muito grande processada com pressão de vácuo apenas. O assentamento ensacado foi colocado dentro de um envelope de vácuo contendo respiros e submetido a um vácuo de aproximadamente 20 mm Hg absoluto durante cerca de 4 horas. Subsequentemente, o assentamento foi curado sob pressão de vácuo apenas por aquecimento a uma temperatura de cerca de 82° C durante cerca de 4 horas. O laminado compósito deste modo formado foi seccionado e polido e observado a fim de possuir uma porosidade de cerca de 5 % em volume.

Experiência 8 - Prepregs completamente impregnados perfurados sem respiro da borda

O compósito de fibra de carbono/epóxi da Experiência 8 foi fabricado em uma maneira similar à Experiência 7, exceto que os prepregs foram mecanicamente penetrados com um rolo de pinos para fornecer

aproximadamente 2 perfurações/cm² usando o rolo de pinos descrito no Exemplo 1. As perfurações estenderam-se substancialmente através da espessura de cada camada de prepreg antes do assentamento. O laminado compósito deste modo formado foi polido e observado a fim de possuir uma porosidade de cerca de 0,1 % em volume.

Tabela 3 - Resumo do Exemplo 3

Experiência	Matriz	Fibra	Impregnação total	Fração da Matriz (% em vol.)	Perfurações	Bordas Vedadas	Porosidade (% em volume)
7	Cycom 5215	Thornel T40/800	Sim	35	Não	Sim	5
8	Cycom 5215	Thornel T40/800	Sim	35	Sim	Sim	0,1

Os dados na Tabela 3 de resumo, mostram que submeter assentamentos de prepreg perfurados, completamente impregnados a vácuo durante o processo de fabricação do compósito permitiu uma redução significativa na porosidade do compósito, quando comparado com assentamentos de prepreg não perfurados, de cerca de 5 % em vol a cerca de 0,1 % em vol.. Estes resultados mostram que a introdução de perfurações dentro de prepgs substancial e completamente impregnados significativamente realçou a remoção de gases do prepreg. A vedação das bordas foi realizada de modo a simular uma parte grande.

Embora a descrição precedente tenha mostrado, descrito, e apontado os novos aspectos fundamentais dos presentes ensinamentos, será entendido que várias omissões, substituições, e mudanças na forma do detalhe do aparelho como ilustrado, assim como os usos do mesmo, podem ser feitas por aqueles habilitados na técnica, sem divergir do escopo dos presentes ensinamentos. Consequentemente, o escopo dos presentes ensinamentos não deve ser limitado ao debate precedente, mas deve ser definido pelas reivindicações anexas.

REIVINDICAÇÕES

1. Método para formar uma estrutura compósita reforçada com fibra, caracterizado pelo fato de que compreende:

5 prover uma pluralidade de preregs perfurados
compreendendo fibras assentadas em um plano, sendo cada um dos ditos
preregs pelo menos parcialmente impregnado com uma resina de matriz, em
que as perfurações dos ditos preregs perfurados se estendem
substancialmente perpendiculares ao plano das ditas fibras, e em que pelo
menos algumas das perfurações estendem-se por toda a espessura dos
10 preregs perfurados;

 formar um assentamento de prepeg assentando a pluralidade
de preregs perfurados;

 consolidar o assentamento de prepeg, aplicando pelo menos
um de calor, pressão externa e vácuo ao assentamento de prepeg, para que a
15 resina da matriz flua para preencher as ditas perfurações e para preencher
outros espaços vazios dentro e entre os ditos preregs; e

 curar o assentamento de prepeg consolidado.

2. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo
fato de que os ditos preregs perfurados são preregs parcialmente
20 impregnados, em que cada prepeg parcialmente impregnado compreende
uma zona livre de matriz que é substancialmente livre da dita resina de matriz,
e em que perfurações de cada prepeg parcialmente impregnado comunica
com a dita zona livre de matriz.

3. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo
fato de que a viscosidade da resina de matriz é maior do que cerca de
25 1.000.000 cP em torno da temperatura ambiente e, em que aquecimento é
aplicado durante dita consolidação para causar a resina de matriz fluir.

4. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo
fato de que pelo menos alguma das perfurações são perfurações parciais que

se estendem parcialmente através de uma espessura selecionada dos preregs perfurados.

5 5. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a estrutura compósito resultante tem uma porosidade menor do que 10 % em vol na base do volume total do mesmo.

6. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que as perfurações são formadas por transmissão da energia a cada prepeg.

10 7. Método de acordo com a reivindicação 6, caracterizado pelo fato de que a energia é transmitida na forma de uma prensa de pinos para perfurar cada prepeg a partir da superfície externa através da espessura do prepeg.

15 8. Método de acordo com a reivindicação 6, caracterizado pelo fato de que a energia é transmitida na forma de uma onda de pressão ultrassônica.

9. Método de acordo com a reivindicação 6, caracterizado pelo fato de que a energia é transmitida pela aplicação de calor.

20 10. Método de acordo com a reivindicação 6, caracterizado pelo fato de que, em média, pelo menos 1 perfuração está presente por 1,0 cm² do prepeg.

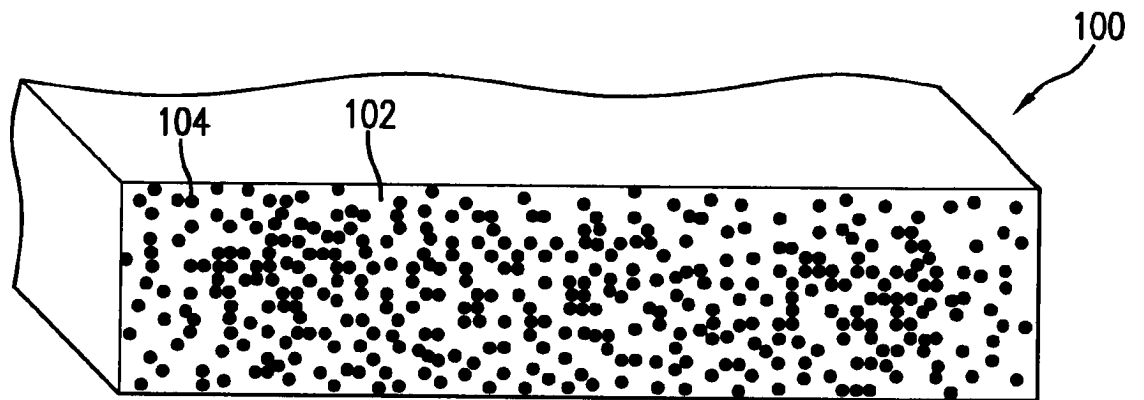


FIG. 1A

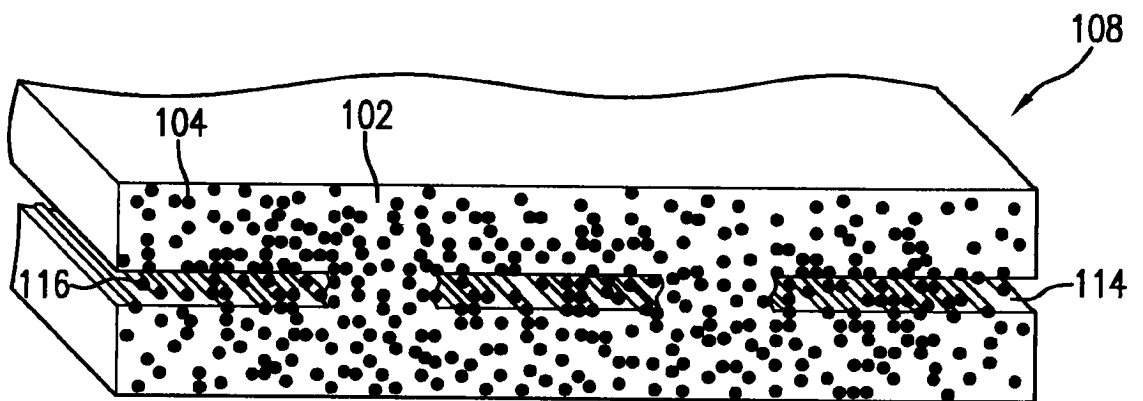


FIG. 1B

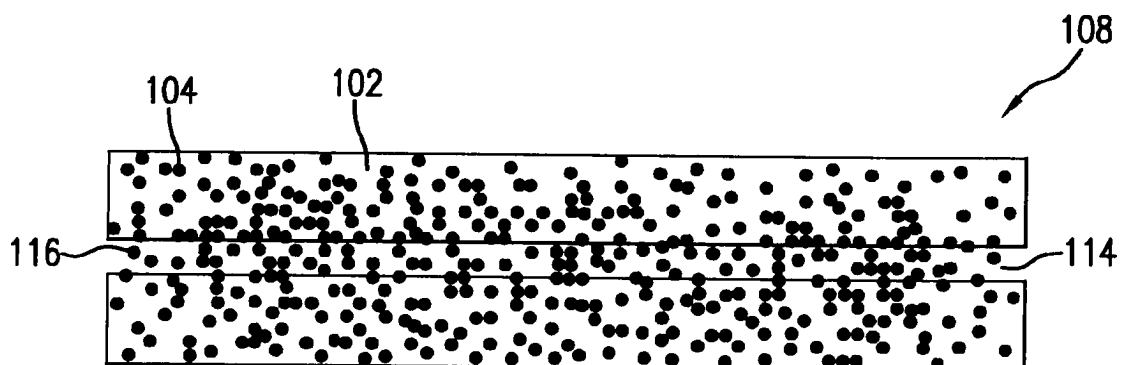


FIG. 1C

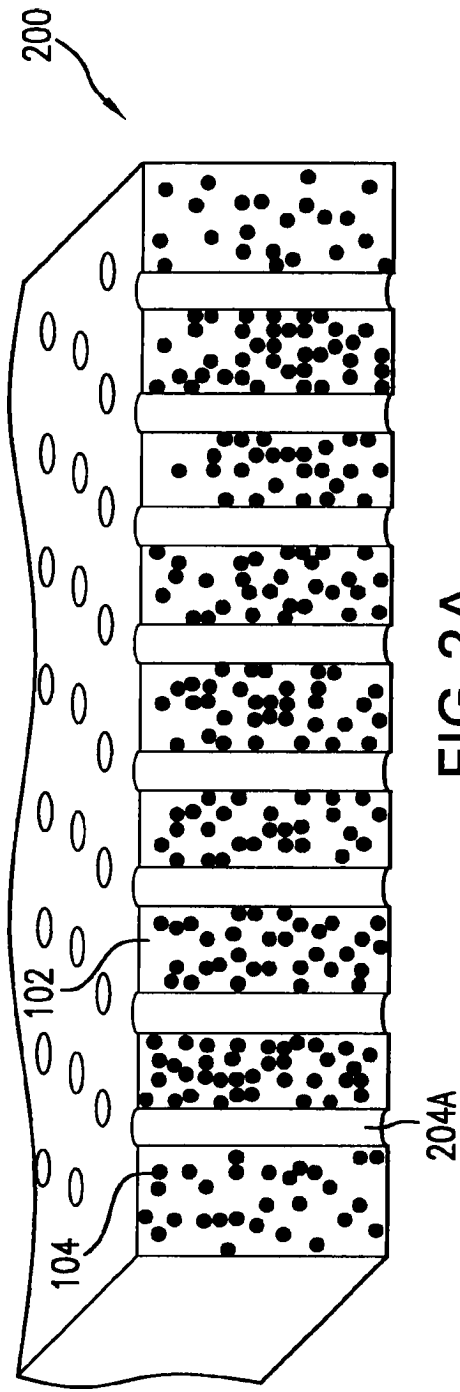


FIG. 2A

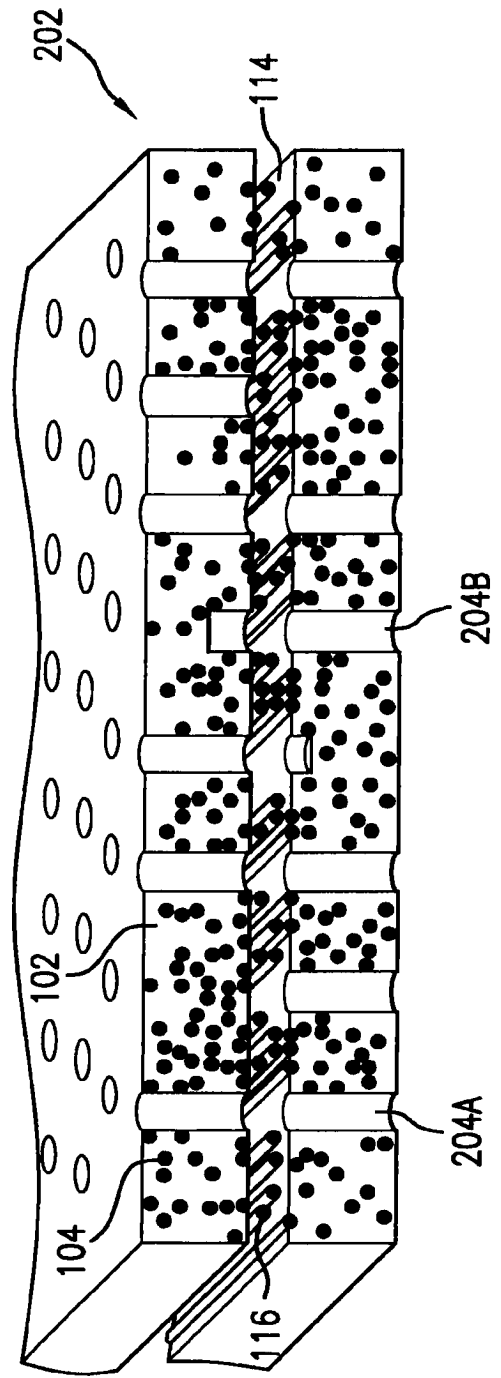
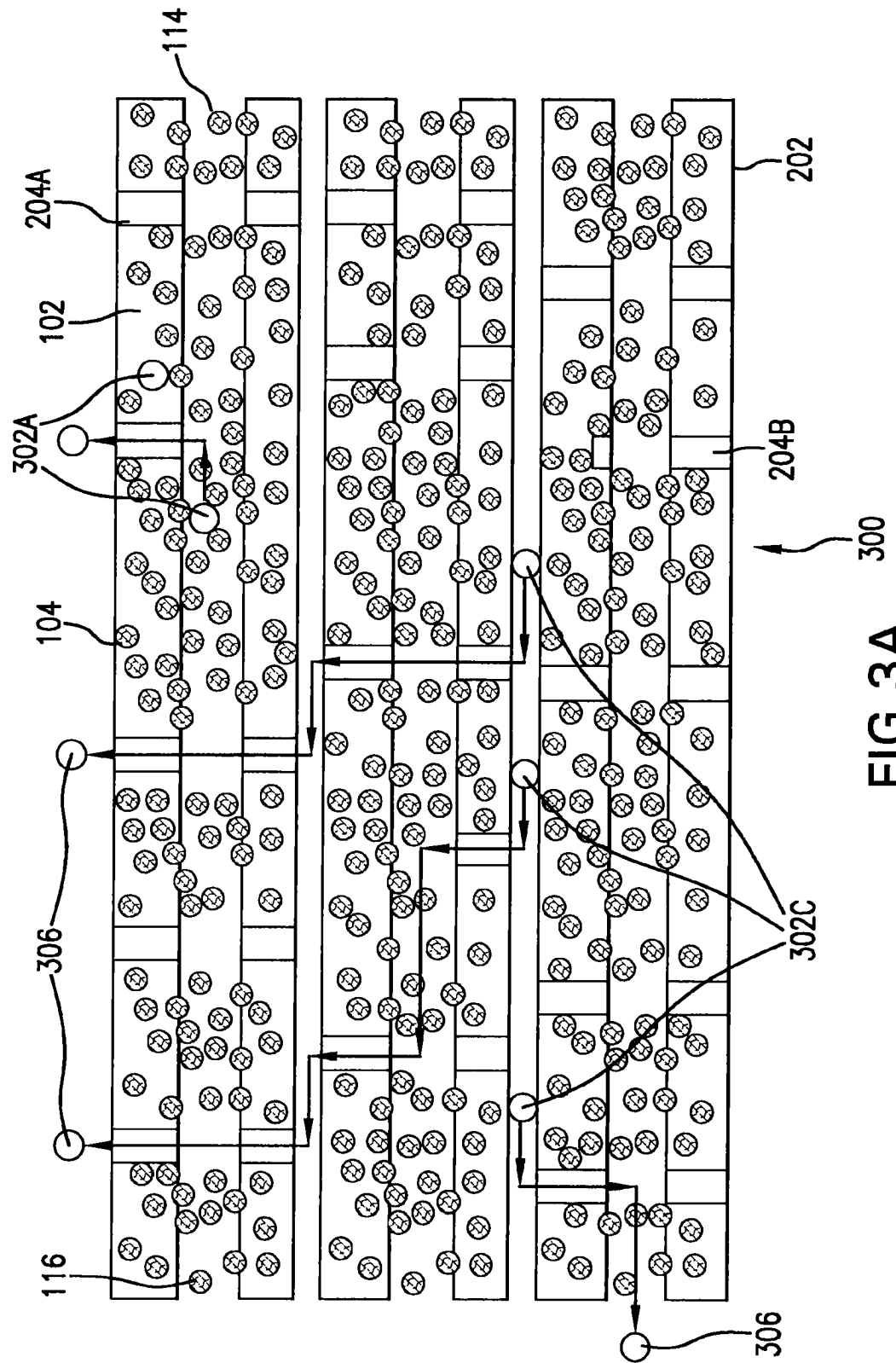


FIG. 2B



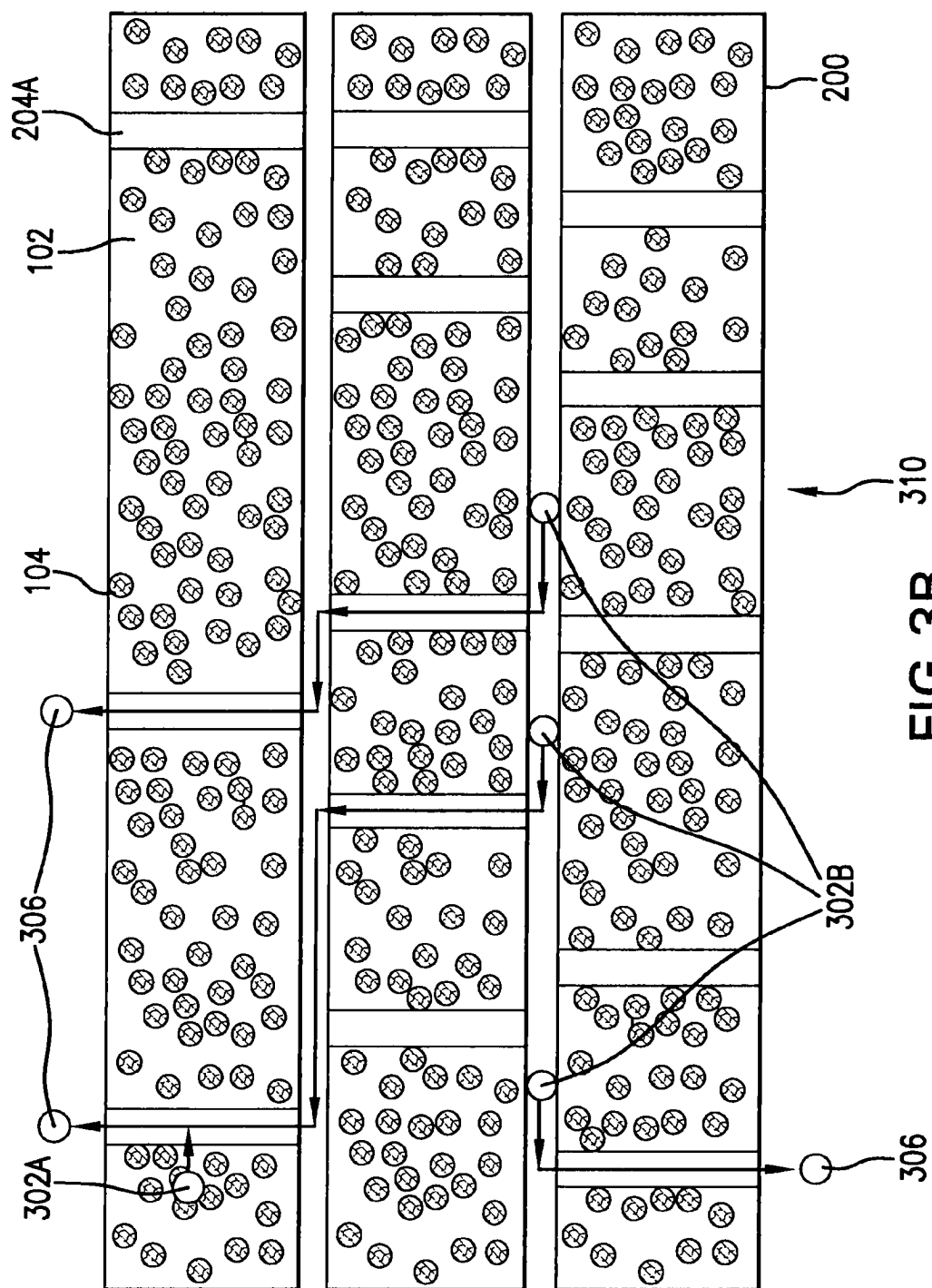


FIG. 3B

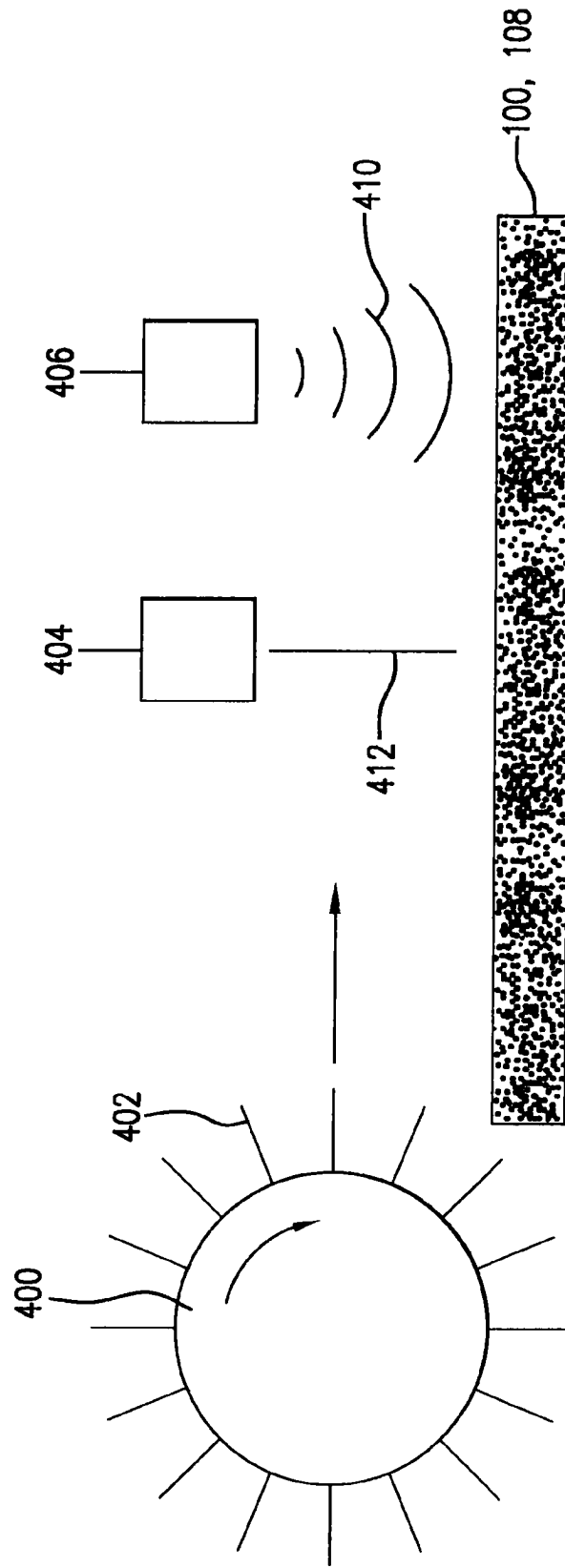


FIG. 4

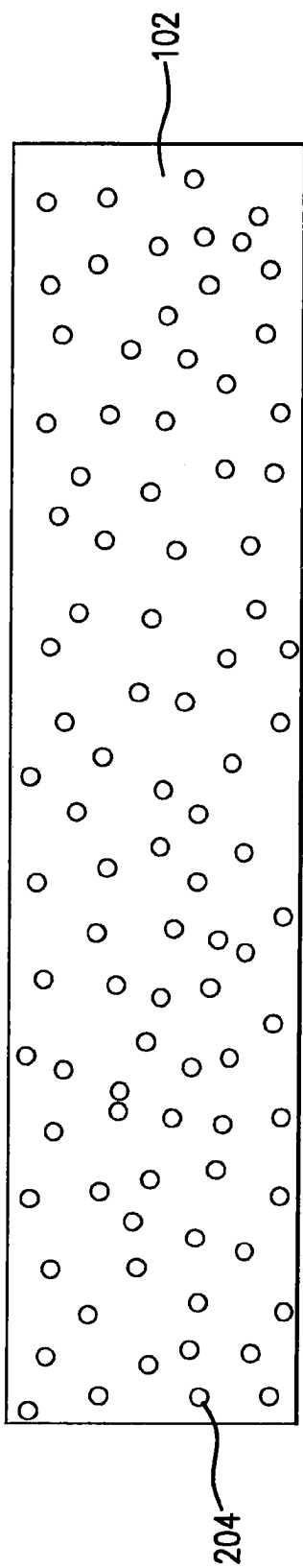


FIG. 5A

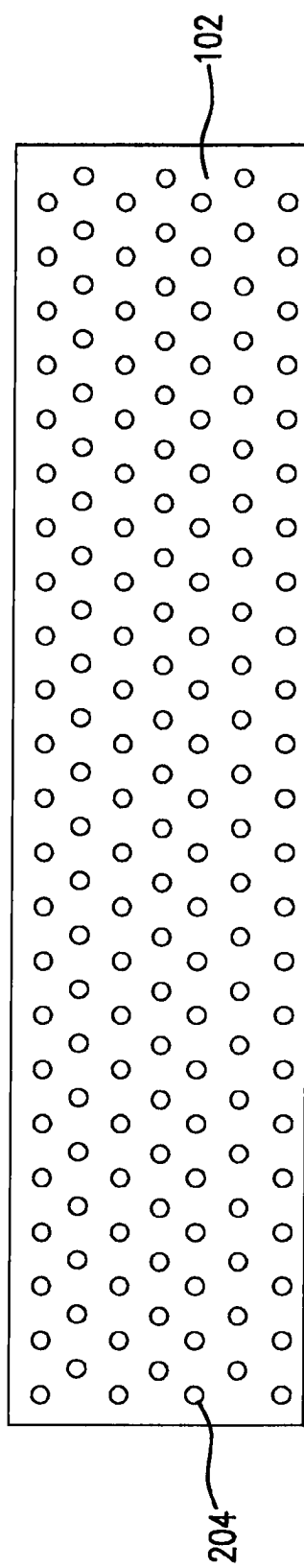


FIG. 5B

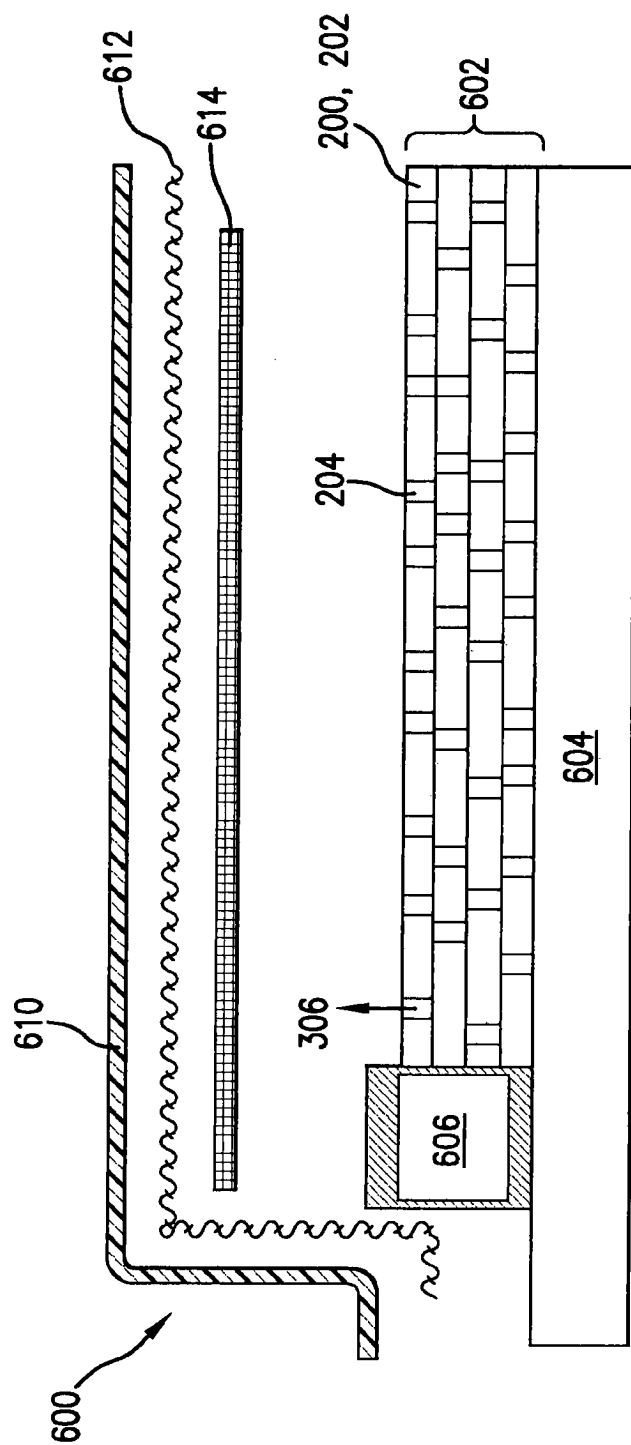


FIG. 6