



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

(11) BR 112012000203-1 B1



(22) Data do Depósito: 11/06/2010

(45) Data de Concessão: 28/01/2020

(54) Título: MÉTODO PARA PROTEÇÃO DE UM SUBSTRATO CONTRA RELÂMPAGOS

(51) Int.Cl.: C09D 5/00.

(30) Prioridade Unionista: 12/06/2009 US 61/186,415; 12/06/2009 US 61/186,492.

(73) Titular(es): LORD CORPORATION.

(72) Inventor(es): SETH B. CARRUTHERS; NICHOLAS D. HUFFMAN.

(86) Pedido PCT: PCT US2010038250 de 11/06/2010

(87) Publicação PCT: WO 2010/144762 de 16/12/2010

(85) Data do Início da Fase Nacional: 12/12/2011

(57) Resumo: MÉTODO PARA PROTEÇÃO DE UM SUBSTRATO CONTRA RELÂMPAGOS A invenção refere-se a um método para proteção de um substrato contra relâmpagos incluindo provisão de uma composição protetora contra relâmpago ao substrato. A composição protetora contra relâmpago compreende um composto orgânico reativo e uma carga condutora que, durante a cura do composto orgânico, é capaz de automontagem em uma estrutura heterogênea compreendida de uma rede tridimensional, contínua, de metal situada entre domínios ricos em polímero (contínuos ou semicontínuos). A composição resultante tem condutividades térmica e elétrica excepcionalmente altas.

"MÉTODO PARA PROTEÇÃO DE UM SUBSTRATO CONTRA RELÂMPAGOS"

CAMPO DA INVENÇÃO

[0001] A presente invenção refere-se a materiais poliméricos eletricamente condutores. Mais particularmente, a presente invenção refere-se a composições eletricamente condutoras usadas para proteção contra relâmpago (LSP) (*Lightning Strike Protection*).

ANTECEDENTES DA INVENÇÃO

[0002] Devido às excelentes combinações de resistência e peso, materiais compósitos estão sendo cada vez mais usados para substituir alumínio em estruturas de aeronave. Embora isso forneça eficiência de combustível significativamente aumentada e/ou capacidade de carga maior, estruturas de aeronave infelizmente se tornam mais vulneráveis a dano por relâmpago. Esta vulnerabilidade aumentada tem origem na condutividade elétrica inferior de compósitos, tais como aqueles baseados em materiais reforçados com fibra de carbono, com relação àqueles de metal alumínio. Naturalmente, quanto menos condutor é um material mais energia ele vai absorver devido a mecanismos de aquecimento resistivo. Foi relatado que compósitos de fibra de carbono podem absorver quase 2.000 vezes a quantidade de energia dos relâmpagos comparada com a mesma massa de alumínio. A energia absorvida aumentada leva a efeitos "diretos" e "indiretos" aumentados.

[0003] Efeitos diretos estão associados com dano físico ou "direto" a estruturas carregando carga, com os piores tipos de dano sendo punções severas através de laminados compósitos. Efeitos "indiretos" estão associados com tempestades elétricas causadas por campo eletromagnético massivo do relâmpago. Essas tempestades podem romper controle de aviões e por sua vez comprometer a habilidade do piloto em controlar a aeronave. Efeitos indiretos ultimamente têm sido

mais preocupantes uma vez que controles de aeronave estão cada vez mais mudando para sistemas de controle por cabo elétrico (fly-by-wire). É por essa razão que quantidades massivas de materiais de proteção contra interferência eletromagnética (EMI) (Eletromagnetic Interference) na forma de caixas, gaxetas, folhas e malhas de metal, adesivos, blindagem de metal, etc, são usadas para proteger componentes elétricos, fiação e conexões.

[0004] A fim de proteger compósitos contra os efeitos mencionados acima, projetistas de aeronave procuram manter as correntes elétricas fortes na superfície externa da aeronave através da integração de partes externas altamente condutoras na estrutura de compósito. Várias tentativas em produzir tais partes externas de proteção contra relâmpago (LSP) foram feitas e/ou propostas, cada uma com graus de sucesso variáveis. Por exemplo, malhas de fio de metal e folhas de metal expandidas (EMF) (Expanded Metal Foil) baseadas em metais tal como cobre, alumínio ou bronze foram encaixadas em películas de superfície (ou adesivas) e cocuradas com prepegs compósitas de base. Alternativamente, fios individuais foram intertecidos com fibras de carbono para produzir prepegs híbridos. Similarmente, técnicas de deposição de metal têm sido empregadas para revestir fibras de carbono ou outras fibras de reforço em suas formas brutas ou tecidas. Em adição a fibras metalizadas, pulverização com chama é outra abordagem de LSP usada, que envolve deposição de metal derretido, alumínio típico sobre substratos.

[0005] Tentativas mais recentes foram feitas para superar a falta de condutividade z nas prepegs de fibra bem como as malhas mencionadas acima, EMFs, híbridos e fibras metalizadas; isto envolve incorporação de cargas condutoras de razão de aspecto alta tais como nanotubos de carbono (ou nanofibras), grafeno ou nanofilamentos a resinas que são usadas como uma película adesiva independente ou em conjunto com fibra de carbono ou prepeg de fibra de carbono. Similarmente, partículas de razão de aspecto baixa ou suas combinações

com partículas de razão de aspecto alta têm sido usadas para o mesmo propósito. Essas abordagens, embora muito mais eficientes em condutividade alta com relação a resinas pesadamente carregadas, ainda não têm a capacidade de condutividade e de carregamento de corrente máxima necessária em aplicações LSP. Outras abordagens tentaram aliviar esta questão ao substituir resinas não condutoras por polímeros intrinsecamente condutores. Infelizmente, esses materiais e os mencionados acima ainda sofrem de proteção contra relâmpago limitada, ganho de peso substancial, desafios de fabricação e/ou limitações em propriedades básicas tais como condutividades térmica e elétrica, capacidade de carregamento de corrente, viscosidade (ou manuseamento) e/ou propriedades mecânicas.

[0006] Dos sistemas diferentes mencionados na literatura, aqueles baseados em folhas de metal, particularmente EMFs, foram os mais bem sucedidos em serem reduzidos para prática. Apesar de sua presença na maioria das aeronaves de asas fixa e giratória, EMFs possuem várias características indesejadas. Por exemplo, os sistemas de EMF exibem "proteção indireta" limitada através da provisão de proteção em uma faixa limitada de frequências. Sistemas de EMF foram mostrados ser muito suscetíveis a frequências na e acima da faixa de 1 GHz. Por causa disso, projetistas de aeronave frequentemente adicionam materiais de proteção extra ou mais robustos à aeronave para proteger contra rompimentos em comunicações elétricas o que por sua vez adiciona peso considerável.

[0007] Sistemas de EMF também sofrem de questões de manuseamento durante fabricação e reparos. Especificamente, EMFs devem ser integradas com películas adesivas no fornecedor ou no fabricante de equipamento original (OEM) (Original Equipment Manufacturer), o que pode ser desafiador e caro. Ainda, EMFs são difíceis de dar forma em modelagem com contorno, sofrem de questões de pegajosidade e são facilmente enrugadas e danificadas durante operações de manuseamento e corte normais. Há também questões na manutenção

da integridade elétrica entre painéis durante operações de união, junção e aterramento. Por tais razões, os OEMs são forçados a esticar esses materiais com a mão, desta maneira levando a tempo de trabalho e custo consideráveis. Várias tentativas foram feitas para automatizar o esticamento de EMF com pouco sucesso devido a essas mesmas questões em adição a penalidades de peso devido à sobreposição de EMF em muitas uniões. Em adição ao manuseamento, malhas de metal baseadas em alumínio e cobre são propensas à corrosão devido a diferenças em potenciais galvânicos entre o metal e o carbono de base. Para combater esta questão, folhas de isolamentos são frequentemente adicionadas entre a camada de EMF e as folhas de carbono. Infelizmente, adição de folha adiciona etapas extras, aumenta o trabalho, custos e adiciona mais peso à aeronave.

[0008] Reparo é também uma questão com sistemas de EMF. Folhas danificadas devem ser adequadamente removidas através de operações de lixamento e corte ou chanframento e remendadas com um material de EMF novo. União da folha nova à folha existente de maneira que os cursos condutores se alinhem é novamente um desafio bem como lidar com efeitos de porosidade que surgem de aprisionamento de ar.

[0009] Dado o acima, há a necessidade de materiais de LSP aperfeiçoados que sejam: altamente condutores na direção z, de peso mais leve, resistentes à corrosão, menos complexos (isto é, menos camadas) e fáceis de aplicar e integrar durante montagem e reparo de estruturas compósitas e correspondentemente capazes de ser automatizados em uma operação de fabricação.

SUMÁRIO DA INVENÇÃO

[0010] Em uma modalidade preferida da presente invenção, os materiais descritos no Pedido de Patente U.S. Nº 12/055.789 depositado em 26 de março de 2008 e publicado como U.S. 2010/0001237, de propriedade comum, e

incorporado aqui a título de referência em sua totalidade, são empregados como uma matriz condutora formada in situ durante a cura e aplicados a um substrato para prover proteção direta e proteção indireta contra relâmpagos.

[0011] Em um esforço em se endereçar às várias questões com sistemas de LSP existentes, uma modalidade da presente invenção emprega uma composição protetora contra relâmpago compreendendo um composto orgânico reativo e carga eletricamente condutora que durante a cura do composto orgânico é capaz de automontagem em uma estrutura heterogênea compreendida de uma rede tridimensional, contínua, de metal situada entre domínios ricos em polímero (contínuos ou semicontínuos) cuja condutividade elétrica está dentro de várias ordens de magnitude daquela de metais de massa.

[0012] Em outra modalidade da presente invenção, um método para proteção de um substrato contra relâmpagos é provido compreendendo provisão de um substrato, provisão de uma composição protetora contra relâmpago ao substrato, onde o protetor contra relâmpago compreende um material curável, carregado, capaz de automontagem para formar cursos condutores durante um processo de cura. Em outra modalidade da presente invenção, o material curável compreende um composto orgânico curável e uma carga, preferivelmente uma carga de prata revestida, e a carga e o composto orgânico exibem uma interação durante a cura do composto orgânico, a dita interação fazendo com que a carga realize automontagem em cursos condutores.

[0013] Em ainda outra modalidade da presente invenção, a composição é curada desta maneira formando cursos condutores nela, e a condutividade da composição automontada curada é maior do que 100 vezes a condutividade de uma composição não automontada tendo uma quantidade equivalente da carga condutora.

[0014] Em modalidades adicionais da presente invenção, o composto

orgânico curável compreende diglicidil éter de bisfenol F e o composto orgânico curável compreende ainda um agente de cura, preferivelmente compreendendo um aduto de anidrido de poliamina com base em reação entre anidrido ftálico e dietilenotriamina.

[0015] Em uma modalidade adicional da presente invenção, a composição protetora contra relâmpago provê ainda proteção contra radiação eletromagnética tendo uma frequência entre 1 MHz e 20 GHz, onde a dita proteção reduz a radiação eletromagnética em pelo menos 20 decibéis.

[0016] Em outro aspecto da presente invenção, uma etapa de provisão de uma composição protetora contra relâmpago a um substrato compreende as etapas que seguem: identificação de uma seção danificada de um sistema de proteção contra relâmpago compreendendo pelo menos um curso condutor descontínuo, deposição da composição na seção danificada e cura da composição depositada para prover pelo menos um curso condutor automontado completando o pelo menos um curso condutor descontínuo na seção danificada.

[0017] Em modalidades adicionais da presente invenção, o sistema de proteção contra relâmpago danificado compreende pelo menos um de uma folha de metal expandida condutora, malha de metal, cocondulações de fibra de carbono-metal, carbono metalizado ou polímero condutor carregado e em outra modalidade o sistema de proteção contra relâmpago danificado compreende um material curável capaz de automontagem para formar cursos condutores durante um processo de cura.

[0018] Em um aspecto adicional da presente invenção, um método para teste não destrutivo de um compósito protetor contra relâmpago (LSP) é provido compreendendo provisão de uma composição eletricamente condutora capaz de prover proteção contra relâmpago, medição de uma propriedade elétrica da composição e equação da propriedade elétrica medida da composição com a

condutividade elétrica de uma amostra previamente degradada da composição para determinar o grau de degradação do compósito. Em uma modalidade da presente invenção, a composição compreende um material curável capaz de automontagem para formar cursos condutores durante um processo de cura. E em outra modalidade da presente invenção, a propriedade elétrica compreende resistividade elétrica.

[0019] Devido à estrutura heterogênea formada, a composição de LSP é capaz de induzir uma rede percolada de partículas condutoras em concentrações de partícula consideráveis abaixo daquelas de composições tradicionais que possuem estruturas homogêneas compreendidas de partículas uniformemente situadas através da matriz de polímero. Além disso, a estrutura heterogênea formada durante a cura permite a sinterização de partículas desta maneira eliminando a resistência de contato entre as partículas e por sua vez levando a aperfeiçoamentos drásticos em condutividades térmica e elétrica. Além disso, o curso contínuo de metal sinterizado permite carregamento de quantidades substanciais de calor e corrente elétrica encontradas durante um evento de relâmpago. A combinação de carga menor e a automontagem relacionada de cursos contínuos permitem materiais de LSP que são de peso menor e mais fáceis de fabricar e reparar que são desejáveis para economias de combustível, razões de capacidade de carga e razões de construção e reparo.

[0020] Devido à sua natureza isotrópica, a composição é condutora em todas as direções ortogonais, desta maneira levando a condutividades elétrica e térmica significativamente aperfeiçoadas na direção z de estruturas de compósito. Por sua vez, este aperfeiçoamento permite redução considerável em efeitos de capacidade e formação de calor associados com camadas de resinas não condutoras presentes no laminado compósito bem como sistemas de LSP de EMF existentes e similar.

[0021] Em outra modalidade da presente invenção, por causa da habilidade do componente orgânico em reagir e formar ligações covalentes, ele pode ser facilmente cocurado com ou curado em substratos reativos ou não reativos (por exemplo, termoplástico ou um termorrígido previamente reagido), respectivamente. Ainda, seleção apropriada de química de resina permite potencialmente a substituição de uma ou mais camadas tipicamente encontradas na parte externa de aeronave, tais como camadas de primer e revestimento usadas para pintar a aeronave. Ainda, com seleção apropriada de carga, é capaz de provisão de desempenho contra relâmpago e corrosão sem a necessidade de uma folha de isolamento.

[0022] Ainda, por causa de sua natureza isotrópica, altamente condutora, ele é capaz de ser usado como um material funcional para o propósito de proteção contra relâmpago e, mas não limitado a, proteção contra campos eletromagnéticos, eliminação de formação de carga estática e um conduíte de calor para derretimento de gelo (por exemplo, material de descongelamento). Além disso, a habilidade multifuncional da composição resolve as questões de ter que combinar estruturas metálicas, por exemplo, EMFs, com películas adesivas antes da sua integração na estrutura compósita.

[0023] Ainda, a composição não curada (estágio A, estágio B, mas não estágio C) tem propriedades de manuseamento desejáveis e é facilmente adaptável para várias formas de aplicação. Tais formas incluem, mas não estão limitadas a, um adesivo aplicável, um revestimento com pulverização, uma película adesiva ou uma resina a ser usada em ou em conjunto com um prepeg ou fita de fibra compósito.

[0024] Em uma modalidade adicional da presente invenção, a composição de automontagem pode ser usada para produzir uma estrutura laminada de duas ou mais camadas de maneira que a camada superior compreenda a composição de automontagem condutora e as camadas de base compreendam

camadas de resina eletricamente condutoras ou não condutoras, de peso mais leve. Ainda, a estrutura laminada fornece condutividade de superfície aumentada enquanto mantendo um dado peso com relação a uma película monolítica de condutividade de superfície menor. Ainda, a espessura de cada camada pode ser variada para aumentar mais a condutividade da superfície enquanto mantendo um dado peso.

[0025] Ainda, em uma modalidade da presente invenção, a composição não curada é empregada em combinação com um sistema de LSP existente para criar uma estrutura híbrida única desta maneira produzindo combinações atraentes de proteção contra LSP e peso. Exemplos incluem, mas não estão limitados a, o material de automontagem usado como uma película de estágio B para encaixe de folhas de metal sólidas, EMFs, fibras metalizadas, fibras tecidas metalizadas, não tecidos metalizados (por exemplo, coberturas) ou coondulações de fibra de metal-carbono.

[0026] Em uma modalidade adicional da presente invenção, a composição automontada provê ainda proteção secundária a um substrato. Por exemplo, embora um relâmpago inicial possa criar dano físico na área imediata do relâmpago, corrente elétrica pode surgir através do substrato/estrutura e danificar componentes elétricos ou superfícies distantes. O material condutor automontado da presente invenção provê um meio para dissipação e controle desta tempestade elétrica em adição à provisão de proteção primária à área imediata do relâmpago.

[0027] Em outra modalidade da presente invenção, a composição de automontagem é capaz de ligar em ponte eletricamente interfaces associadas com a montagem de seções diferentes de materiais de LSP ou durante o reparo de materiais de LSP. Em modalidades adicionais da presente invenção, o material é aplicado como um revestimento de pulverização não curado, adesivo em película não curado (não estágio C) ou como película curada flexível que é ligada usando um

adesivo secundário ou resina que é opcionalmente carregada com uma carga condutora. Em uma modalidade adicional da presente invenção, o substrato existente ou de união a ser reparado ou ligado pode ser da mesma composição que o material heterogêneo de automontagem ou ser baseado em sistemas de LSP existentes tais como aqueles baseados em, mas não limitado a, EMFs.

[0028] Ainda, a natureza de automontagem da composição torna possível usar equipamento automático para aplicação de LSP às estruturas compósitas. Exemplos incluem, mas não estão restritos a, aplicação do material de automontagem em forma de pulverização usando equipamento de pulverização automático de maneira que o material pulverizado seja aplicado à parte externa do polímero reforçado com fibra não curado em uma estrutura de molde macho ou à superfície de uma estrutura de molde fêmea que foi pré-tratada com um agente de liberação. Ainda, o material de automontagem poderia ser aplicado em combinação com filamentos unidirecionais múltiplos (por exemplo, fibra ou fita) usando máquinas de colocação de fibra ou fita automática. A habilidade em formar cursos eletricamente condutores contínuos seguindo a cura de filamentos adjacentes supera as questões mencionadas acima associadas com materiais do estado da técnica.

[0029] Ainda, devido à sua natureza isotrópica, altamente condutora, os materiais discutidos aqui se prestam a teste não destrutivo quantitativo. Em uma modalidade adicional da presente invenção, a condutividade da composição curada pode ser medida para os propósitos de, mas não limitado a, avaliação dos defeitos durante a fabricação da parte protegida, avaliação do grau de dano do material de LSP ou degradação do material de desempenho de materiais no campo.

[0030] Desta maneira, foram descritas, ao invés de amplamente, as características mais importantes da invenção a fim de que o relatório detalhado que segue possa ser melhor compreendido e a fim de que a presente contribuição para a

técnica possa ser melhor compreendida. Há, obviamente, características adicionais da invenção que serão descritas a seguir e que vão formar a matéria objeto das reivindicações apenas a ela. Com relação a isso, antes de explicar as várias modalidades da invenção em detalhes, deve ser compreendido que a invenção não é limitada em sua aplicação aos detalhes e construção e à disposição dos componentes mostrados no relatório que segue ou ilustrados nos desenhos. A invenção é capaz de outras modalidades e de ser praticada e realizada de várias maneiras.

[0031] Deve ser também compreendido que a fraseologia e a terminologia aqui são para os propósitos de descrição e não devem ser consideradas como limitantes em nenhum aspecto. Aqueles versados na técnica vão compreender os conceitos sob os quais a presente invenção é baseada e que podem ser prontamente utilizados como a base para designação de outras estruturas, métodos e sistemas para realização dos vários propósitos do presente desenvolvimento. É importante que as reivindicações sejam consideradas como incluindo tais construções equivalentes, contanto que elas não se afastem do espírito e do escopo da presente invenção.

[0032] De maneira que as características, vantagens e objetos da invenção mencionados acima, bem como outros que se tornarão mais aparentes, sejam obtidos e possam ser compreendidos em detalhes, uma descrição mais particular da invenção sumarizada rapidamente acima pode ter havido através de referência à sua modalidade que é ilustrada nos desenhos apenas, desenhos que formam parte do relatório e onde caracteres de referência iguais designam partes iguais em todas as várias vistas. Deve ser notado, no entanto, que os desenhos apenas ilustram apenas modalidades preferidas e alternativas da invenção e não devem ser, então, considerados limitantes de seu escopo, uma vez que a invenção pode admitir modalidades igualmente eficazes adicionais.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

[0033] A figura 1 é uma vista de um laminado composto em uma modalidade da presente invenção.

[0034] A figura 2 é um gráfico de eficácia de proteção eletromagnética versus frequência para um material automontado empregado em uma modalidade da presente invenção.

[0035] A figura 3 é um gráfico de dano a um composto de LSP em uma modalidade da presente invenção após um relâmpago na Zona 1A versus a resistência elétrica da superfície do revestimento.

DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO

[0036] Em uma primeira modalidade da presente invenção método para proteção de um substrato contra relâmpago é provido compreendendo provisão de um substrato e provisão de uma composição protetora contra relâmpago ao substrato, onde a composição protetora contra relâmpago compreende um material curável, carregado, capaz de automontagem para formar cursos condutores durante um processo de cura. A carga condutora realiza automontagem em cursos condutores durante cura da matriz de polímero para prover um material de LSP condutor que se direciona a muitas das desvantagens dos materiais da técnica anterior.

[0037] O mecanismo de automontagem e formação de estrutura é obtido através da seleção apropriada de materiais componentes e aderência a condições de processamento particulares. Em uma modalidade da presente invenção, o componente de carga compreende uma carga condutora (térmica, elétrica ou ambas) e o composto orgânico compreende um monômero e opcionalmente um agente de cura. A formação de domínios ricos em carga durante reação do material orgânico permite que contatos de partícula carga-para-carga sejam feitos. Na presença de calor as partículas podem sinterizar mais juntas.

Sinterização elimina a resistência de contato entre as partículas de carga não-sinterizadas previamente desta maneira melhorando substancialmente a condutividade térmica e/ou elétrica do compósito.

[0038] Embora não completamente compreendida e não desejando ser limitado por esta teoria, acredita-se que a automontagem e formação de domínio e a sinterização sejam sensíveis à temperatura da cura do material orgânico, ao tempo de cura e ao nível de pressão aplicada durante a cura. Em outras palavras, formação de domínio e sinterização são processos cineticamente direcionados. Em uma modalidade adicional, a taxa na qual a amostra é aquecida vai afetar o grau de formação de domínio e sinterização. No total, as condições de processamento podem ser especificamente escolhidas para obter um adesivo condutor tendo a melhor combinação de propriedades em carga mínima, o que frequentemente se traduz em custo menor e oportunidade de levar vantagem de outras propriedades que são adversamente afetadas por cargas altas. Em alguns casos, quando o adesivo é empregado em uma aplicação que não é capaz de suportar temperaturas de sinterização alta, pressões mais altas ou técnicas de sinterização não tradicionais podem ser usadas para obter condutividades excepcionalmente altas.

[0039] O componente de carga e os compostos orgânicos reativos são escolhidos de maneira a criar uma mistura homogênea quando misturados. No entanto, durante a cura, acredita-se que o polímero resultante formado do composto orgânico então tenha uma interação repulsiva com a carga de maneira a permitir que a composição realize automontagem no composto heterogêneo tendo domínios ricos em carga onde a composição de carga é significativamente maior do que a concentração de carga da massa. Desta maneira, enquanto a concentração de carga (massa) geral do composto não muda, as partículas de carga e o componente orgânico realizam automontagem in situ em respectivas regiões de concentração alta. Este fenômeno pode levar a uma rede automontada de partículas de carga

interconectadas formadas in situ de uma mistura tendo pouquíssimos, se algum, contatos de carga-carga iniciais.

[0040] Existem várias abordagens que podem ser empregadas para criar a interação repulsiva entre o componente de carga e o composto orgânico. No entanto, em uma modalidade preferida da presente invenção, isto é conseguido através de revestimento de uma partícula de carga com um revestimento não polar e mistura da carga revestida em um composto orgânico reativo compreendendo uma resina relativamente não polar e um agente de cura polar. Em um estado não curado, a resina, o curativo e a carga formam uma mistura relativamente homogênea onde a carga revestida e a resina são compatíveis umas com as outras e formam uma mistura relativamente homogênea. No entanto, com a aplicação de calor o agente de cura reage com a resina formando um polímero tendo porções polares no mesmo, resultando em uma interação repulsiva entre o revestimento não polar na carga e as porções polares no polímero. Esta interação repulsiva leva à automontagem de domínios ricos em polímero e ricos em carga cujas respectivas concentrações são significativamente maiores do que as concentrações da massa de polímero e carga, respectivamente. Além disso, formação de domínio extensiva é capaz de criar domínios ricos em carga contínuos com contato partícula com partícula substancial entre a maioria das partículas da carga.

[0041] Outros tipos de interações capazes de criar efeitos repulsivos quando da cura do composto orgânico na presença da carga consistiriam, mas não estão limitados a, interações eletrostáticas, interações de ligação de hidrogênio, interações dipolo-dipolo, interação dipolo induzida, interações hidrofóbicas-hidrofílicas, interações Van der Waals e interações metálicas (como com um composto organometálico e carga metálica). Outras formas de interações repulsivas poderiam surgir de efeitos entrópicos relacionados tais como diferenças em peso molecular nos polímeros formados do(s) composto(s) orgânico(s). Ainda, interações

repulsivas poderiam surgir como um resultado de um estímulo externo tal como campo elétrico.

[0042] Os domínios formados quando da cura do composto orgânico na presença da carga resultam em domínios ricos em carga tendo concentrações de carga maiores do que da massa (média) e em domínios ricos orgânicos tendo concentrações de carga menores do que da massa (média). As áreas de concentração de carga maior do que a média podem formar cursos semicontínuos ou contínuos de material de carga condutor se estendendo através do corpo da composição curada. Esses cursos proveem uma via de resistência baixa através da qual elétrons e/ou fônons podem viajar. Em outras palavras, os cursos ou canais permitem condutividade térmica ou elétrica bastante aumentada. Este curso condutor pode ser aumentado mais através da sinterização das partículas de carga juntas. Tais cursos altamente condutores são particularmente benéficos para LSP dada a grande quantidade de corrente elétrica e calor que deve dissipar durante um evento de golpe.

[0043] Sinterização, como é compreendido na técnica, é um fenômeno de derretimento de superfície onde partículas são derretidas juntas em temperaturas abaixo da temperatura de derretimento da massa do material. Este comportamento é causado por uma tendência do material em relaxar para um estado de energia menor. Desta maneira, seleção de tipo de carga, tamanho e formato pode afetar muito a capacidade de sinterização das partículas de carga. Certas partículas, tais como placas finas, largas, planas, são frequentemente formadas por cisalhamento de partículas grandes através de vários processos de moagem. Este processo fornece uma grande quantidade de estresse interno em adição à criação de uma grande quantidade de área de superfície. Quando uma certa quantidade de calor é adicionada às partículas, elas terão a tendência em derreter e fundir juntas desta maneira aliviando a corrente interna e diminuindo a energia de superfície geral das

partículas. Por esta razão, as partículas de carga preferidas para uso na presente invenção são aquelas que compreendem algum grau de condutividade térmica ou elétrica e sinterizam facilmente. Em uma modalidade adicional da presente invenção, a carga preferida compreende uma partícula metálica que foi submetida a trabalho a frio que forneceu corrente na estrutura da carga que permite ainda sinterização.

[0044] A temperatura de sinterização vai variar de acordo com o material escolhido como a carga, bem como a geometria da partícula de carga. No entanto, em uma modalidade preferida da presente invenção, é vantajoso equilibrar a cura do composto orgânico e a sinterização da carga de maneira que elas ocorram simultaneamente. Nesta modalidade, a temperatura e o perfil de cura são selecionados para coincidir com a temperatura de sinterização da carga, de maneira que o composto orgânico se torna repulsivo para a carga e as partículas da carga são forçadas juntas, as partículas de carga individuais podem sinterizar uma vez o contato partícula com partícula tendo sido feito. Isto é acreditado ser responsável pela estrutura de carga contínua vista na composição totalmente curada. Em uma modalidade preferida da presente invenção, a temperatura de sinterização é pelo menos cerca de 100°C, mais preferivelmente cerca de 150°C e mais preferivelmente ainda acima de 150°C para uma carga de lasca de prata.

[0045] Em outra modalidade da presente invenção, uma cura de temperatura baixa pode ser desejável. Por exemplo, quando revestindo/aplicando a composição curável a um substrato sensível ao calor, o agente de cura e o mecanismo de cura podem ser feitos especialmente para obter um material automontado, curado, em temperaturas abaixo de 50°C e alternativamente abaixo da temperatura ambiente (20-25°C). Em modalidades da presente invenção onde sinterização não ocorre durante uma etapa de cura, por exemplo, em um ambiente de cura de temperatura baixa, as partículas podem inicialmente formar cursos

automontados que não são sinterizados. Uma etapa de sinterização pode então ser adicionada posteriormente. Esta etapa de sinterização adicionada posteriormente pode compreender aquecimento do material automontado, curado, ou através de aquecimento do ambiente ou aquecimento eletricamente induzido tal como através de um relâmpago.

[0046] Em modalidades da presente invenção, a composição de automontagem pode ser curada sem a adição de calor. No entanto, em uma modalidade preferida da presente invenção, a composição é curada através da aplicação de calor à composição. Cura com calor é geralmente realizada em um forno de cura tal como um forno de convecção ou uma autoclave, com o que ar quente ou calor irradiado é usado para aumentar a temperatura da composição. Em modalidades alternativas da presente invenção, outros métodos de cura podem ser empregados tal como cura por indução em um campo eletromagnético, cura com micro-ondas, cura com infravermelho, cura com feixe de elétron, cura com ultravioleta e cura através de luz visível. Ainda, a reação de cura pode ser autoacelerada através do uso de uma reação de cura exotérmica. Uma cura não térmica pode ser desejável, por exemplo, quando a composição é revestida em um substrato sensível à temperatura tal como um plástico.

[0047] Em uma modalidade da presente invenção, a carga compreende cargas inorgânicas. Cargas disponíveis incluem metais puros tais como alumínio, ferro, cobalto, níquel, cobre, zinco, paládio, prata, cádmio, índio, estanho, antimônio, platina, ouro, titânio, chumbo e tungstênio, óxidos de metais e cerâmicas tais como óxido de alumínio, nitrida de alumínio, nitrida de silício, nitrida de boro, carbida de silício, óxido de zinco. Cargas contendo carbono poderiam consistir em grafite, negro-de-fumo, nanotubos de carbono e fibras de carbono. Cargas adequadas compreendem ainda ligas e combinações das cargas mencionadas acima. Cargas adicionais incluem pós de óxido inorgânico tal como pó de sílica fundida, óxidos de

alumina e titânio e nitratos de alumínio, titânio, silício e tungstênio. Os materiais em partícula incluem versões tendo dimensões de partícula na faixa de alguns nanômetros a dezenas de microns.

[0048] Em uma modalidade da presente invenção, a carga está presente em cerca de 40 por cento em volume ou menos, com base no volume total da composição curada. Em uma modalidade mais preferida da presente invenção, a carga está presente em cerca de 30 por cento em volume ou menos, com base no volume total da composição curada. Em uma modalidade mais preferida da presente invenção, a carga está presente em cerca de 15 por cento em volume ou menos, com base no volume total da composição curada.

[0049] Em uma modalidade preferida da presente invenção, a carga compreende um material que é ou eletricamente condutor, termicamente condutor ou ambos. Embora metais e ligas de metal sejam preferidos para uso em várias modalidades da presente invenção, a carga pode compreender um material não metálico sinterizável condutor. Em uma modalidade alternativa da presente invenção a carga pode compreender uma partícula híbrida onde um tipo de carga, por exemplo, uma carga não condutora, é revestido com um material sinterizável, condutor, tal como prata. Desta maneira, a quantidade geral de prata usada pode ser reduzida enquanto mantendo a capacidade de sinterização das partículas de carga e a condutividade do material sinterizado.

[0050] Em uma modalidade da presente invenção, o componente de carga deve ser capaz de interagir com o composto orgânico para fornecer uma estrutura heterogênea no material acabado. Em uma modalidade preferida da presente invenção conforme discutido acima, isto é realizado através da interação de um composto orgânico polar com uma carga não polar. Para materiais de carga preferidos, tais como metais, a carga é revestida com um material compreendendo o grau de polaridade desejado. Em uma modalidade preferida da presente invenção, o

revestimento de carga compreende um revestimento de ácido graxo não polar, tais como ácidos esteárico, oleico, linoleico e palmítico. Em uma modalidade adicional da presente invenção, o revestimento de carga compreende pelo menos um dos vários materiais não polares, tais como um alceno, parafina, ácido graxo saturado ou insaturado, alceno, ésteres graxos, revestimentos cerosos ou oligômeros e copolímeros. Em modalidades adicionais da presente invenção, revestimentos não polares compreendem organotitanatos com filamentos hidrofóbicos ou revestimentos à base de silício tais como silanos contendo filamentos hidrofóbicos ou silicones funcionais.

[0051] Em uma modalidade adicional da presente invenção, o revestimento (ou tensoativo, agente de acoplamento, modificador de superfície, etc) é aplicado à partícula de carga antes da incorporação da partícula à composição curável. Exemplos de métodos de revestimento são, mas não são limitados a, deposição do revestimento a partir de um álcool aquoso, deposição a partir de uma solução aquosa, deposição a partir da massa sobre carga bruta (por exemplo, usando uma solução de pulverização e um misturador de cone, mistura do revestimento e da carga em um moedor ou Attritor) e deposição por vapor. Em uma modalidade adicional, o revestimento é adicionado à composição para tratar a carga antes da reação entre os componentes orgânicos (a saber a resina e curativos).

[0052] Em uma modalidade alternativa da presente invenção, as polaridades da carga/revestimento e do polímero são revestidas onde a carga/revestimento compreende uma porção polar e o composto orgânico compreende um polímero não polar. Similarmente, em uma modalidade da presente invenção, onde um efeito repulsivo que não a polaridade é empregado para direcionar a automontagem, as propriedades ativas da carga e dos componentes orgânicos podem ser interconectadas.

[0053] Em uma modalidade preferida da presente invenção o composto

orgânico compreende uma resina epóxi e um agente de cura. Nesta modalidade, o composto orgânico compreende de a partir de cerca de 60 a cerca de 100 por cento em volume da composição total. Nesta modalidade, o composto orgânico compreende aproximadamente de a partir de 70 a 85 por cento em peso de um diglicidil éter de um composto bisfenol, tal como bisfenol F, e 15 a 30 por cento em peso de um agente de cura, tal como um aduto de anidrido poliamina com base na reação entre anidrido ftálico e dietilenotriamina.

[0054] Em modalidades adicionais da presente invenção, compostos orgânicos adequados compreendem monômeros, oligômeros reativos ou polímeros reativos dos tipos que seguem siloxanas, fenólicos, novolac, acrilatos (ou acrílicos), uretanas, ureias, imidas, ésteres de vinila, poliésteres, resinas de maleimida, ésteres de cianato, poliimidas, poliureias, cianoacrilatos, benzoxazinas, polímeros de dieno insaturados e suas combinações. A química de cura seria dependente do polímero ou resina utilizado no composto orgânico. Por exemplo, uma matriz de siloxana pode compreender uma matriz curável de reação de adição, uma matriz curável de reação de condensação, uma matriz curável de reação de peróxido ou uma combinação das mesmas. Seleção do agente de cura é dependente da seleção de componente de carga e condições de processamento conforme mostrado aqui para prover a automontagem desejada de partículas de carga em cursos condutores.

[0055] Em outra modalidade, devido à sua natureza isotrópica, a composição é condutora em todas as direções ortogonais, desta maneira levando a condutividades elétrica e térmica significativamente aperfeiçoadas na direção z de estruturas de compósito. Por sua vez, este aperfeiçoamento permite redução considerável em efeitos capacitivos e de formação de calor associados com camadas de resina não condutoras presentes nos laminados compósitos, bem como sistemas de LSP e EMF existentes e similar. Ainda, o material pode facilitar transferência de calor e elétron através de formação de ponte de fibras de carbono

adjacentes dentro das ou entre as camadas do substrato compósito. Em uma modalidade adicional da presente invenção, a natureza isotrópica, altamente condutora, do material automontado permite que ele seja submetido a teste não destrutivo quantitativo discutido em mais detalhes abaixo.

[0056] Ainda, a composição de automontagem não curada (estágio A ou estágio B, mas não estágio C) tem propriedades de manuseamento desejáveis e é facilmente adaptável a várias formas de aplicação. Em uma modalidade da presente invenção, a composição de automontagem compreende um agente adesivo fluido (por exemplo, líquido ou pasta) que é capaz de se ligar a um substrato reativo ou não reativo durante a cura de composto orgânico. Desta maneira, a composição de automontagem compreende qualidades adesivas que aprimoram certas técnicas de aplicação e permitem conexões mecânicas mais fortes a substratos que por sua vez aumentam as conexões elétricas entre o substrato e a rede condutora dentro do adesivo. O resultado é um adesivo capaz de ligação de duas superfícies adjacentes juntas enquanto provendo adicionalmente proteção contra LSP.

[0057] Em uma modalidade adicional da presente invenção, a composição de automontagem é provida como um sistema de duas partes onde o componente orgânico curável está presente em um "lado A" e o agente de cura está presente em um "lado B", de maneira que, quando misturados, a reação de cura é iniciada. A carga e quaisquer outros componentes opcionais podem residir em qualquer lado A, lado B ou ambos.

[0058] Em outra modalidade a composição é a forma de um adesivo em película em estágio B que é geralmente usado em aplicações de compósito. Ainda, o adesivo em película tem tecido carreador opcional, tal como uma cobertura não tecida para aprimorar as propriedades de manuseamento. Em ainda outra modalidade, a cobertura pode ser eletricamente condutora para aprimorar mais a

habilidade de proteção contra LSP da composição.

[0059] Em outra modalidade da presente invenção, a composição pode ser aplicada como uma pulverização a um substrato através da adição de um solvente à composição. Em uma modalidade preferida da presente invenção, o solvente compreende uma estrutura adequada para dissolver (totalmente ou em parte) o composto orgânico enquanto sendo capaz de ser evaporado sob condições de processamento comuns para estruturas compósitas. Em uma modalidade preferida da presente invenção, onde uma resina epóxi é empregada, o solvente compreende, mas não é limitado a, acetona, metiletilcetona, tolueno, xileno, álcool de benzila, acetato de butila, cicloexanona, dimetoxietano, tricloroetileno, éteres de glicol e misturas dos mesmos. Além disso, a escolha de solvente será também ditada pelo curativo usado. Em uma modalidade preferida, é desejável selecionar um agente químico tal como acetona que aja como solvente para a resina epóxi e um não solvente para o aduto de anidrido de poliamina. Em uma modalidade preferida da presente invenção, o solvente compreende 0,25 a 1,5 parte em peso dos componentes não solvente.

[0060] Em outra modalidade da presente invenção, a composição é usada em conjunto com reforço de fibra (por exemplo, fibras, feixes de fibra, fibras tecidas ou tecidos e similar) para produzir fibras revestidas ou pultrudidas, prepeg compósitos, fitas e similar. Em outras palavras, a composição age como o componente de resina tradicional usado para formar prepeg tradicional e materiais relacionados. Em uma modalidade adicional, o material automontado discutido aqui é condescendente e facilita muitas técnicas de fabricação conhecidas incluindo técnicas de infiltração tais como moldagem por transferência de resina, infusão de película de resina e moldagem por transferência de resina auxiliada por vácuo, etc.

[0061] Em uma modalidade adicional da presente invenção, a composição de automontagem pode ser usada para produzir uma estrutura

laminada de duas ou mais camadas de maneira que a camada superior compreenda a composição de automontagem condutora e a(s) camada(s) de base seja(m) compreendida(s) de resina eletricamente condutora, de peso mais leve, e/ou uma resina não condutora tal como uma película de superfície tradicional. Ainda, a resina não condutora pode ser mencionada, a estrutura laminada dá condutividade de superfície aumentada enquanto mantendo um dado peso relativo a uma película monolítica de condutividade de superfície menor. Ainda, a espessura de cada camada pode ser variada para aumentar mais a condutividade de superfície enquanto mantendo um dado peso.

[0062] Em ainda outra modalidade da presente invenção, a composição não curada é empregada em combinação com um sistema de proteção contra LSP existente para criar uma estrutura híbrida única desta maneira produzindo combinações atraentes de proteção contra LSP e peso. Exemplos incluem, mas não estão restritos a, o material de automontagem usou uma película de estágio B para encaixe de folhas de metal sólidas, EMFs, fibras metalizadas, fibras tecidas metalizadas, não tecidas metalizadas (por exemplo, coberturas), ou coondulações de fibra de carbono-metal.

[0063] Os métodos e materiais das modalidades da presente invenção podem ser usados para prover proteção contra relâmpago a uma variedade de substratos, partes, máquinas, veículos e aparelhos. Em uma modalidade preferida da presente invenção, os métodos e os materiais da presente invenção são empregados para prover LPS a veículos, incluindo aeronave, veículos marítimos e terrestres, bem como estruturas tais como antenas, radares e turbinas de vento.

[0064] Com referência à figura 1, um exemplo de substrato em uma modalidade da presente invenção é provido como é geralmente encontrado em aplicações de compósito comerciais tais como aquelas envolvidas na indústria aeroespacial. O substrato na figura 1 é compreendido de estrutura laminada tipo

sanduíche onde camadas múltiplas de prepeg de fibra de carbono estrutural 4-6 e 10-12 intercalam um núcleo de casa de abelha 8 de peso leve, interno, com camadas de película adesiva 7 e 9 aderindo a montagem junta. O sistema de LSP 3 é aplicado na parte superior das folhas de carbono superiores 4-6. Deve ser notado que sistemas de LSP comerciais frequentemente possuem uma folha de isolamento de fibra de vidro que é algumas vezes usada para prevenir corrosão galvânica que ocorre entre substrato de fibra de carbono e os metálicos no sistema de LSP (especialmente aqueles que possuem um potencial galvânico diferente com relação àquele de carbono). O material de automontagem de uma modalidade da presente invenção 3 provê LSP e é subsequentemente revestido com camadas de tinta protetoras e decorativas de primer 2 e revestimento 1. Em modalidades alternativas da presente invenção, estruturas monolíticas, isto é, aquelas baseadas apenas em prepegs de fibra, são também geralmente encontradas. Prepegs e fibra relacionada reforçam resinas que podem consistir em várias formas diferentes tais como fibras tecidas encaixadas em resina, fibras unidirecionais dentro de uma resina (por exemplo, na forma de uma folha grande ou uma fita) ou fibras pultrudidas que são impregnadas com uma resina. Reforço de fibra pode consistir em muitos tipos diferentes de fibras e muitas configurações de fibra tais como fibras feitas de vidro, carbono, boro, aramida, carbida de silício, etc, e configurações de fibra tais como feixes unidirecionais ou tecidos tramados. Ainda, conforme previamente mencionado, o material de automontagem da presente invenção pode ser usado com componente de resina tradicionalmente usado para formar prepegs de resina, feixes pultrudidos e similar. Em outra modalidade, o substrato pode ser compreendido de plástico de reforço de fibra.

[0065] Em outra modalidade da presente invenção, devido à habilidade do componente orgânico em reagir e formar ligações covalentes, ele pode ser facilmente cocurado com ou curado em substratos reativos ou não reativos (por

exemplo, termoplástico ou um termorrígido previamente reagido), respectivamente. Ainda, seleção apropriada de potencial químico de resina permite a substituição de uma ou mais camadas tipicamente encontradas na parte externa da aeronave, tais como camadas de primer e de revestimento, usadas para pintar a aeronave (isto é, camadas 1 e 2 na figura 1). Ainda, com seleção apropriada de carga, a presente invenção é capaz de prover desempenho contra relâmpago e corrosão sem a necessidade de uma folha de isolamento.

[0066] Ainda, devido à natureza isotrópica, altamente condutora, ele é capaz de ser usado como um material multifuncional para o propósito de proteção contra relâmpago e, mas não limitado a, proteção contra campos eletromagnéticos causados por efeitos indiretos de um relâmpago ou de fontes feitas pelo homem tais como eletrônicos e comunicações. Além disso, o material pode também servir para eliminar a formação de carga estática através de dissipação eletrostática ou como um conduíte de calor para derretimento de gelo como parte de um sistema de descongelamento. Além disso, a habilidade multifuncional da composição supera as questões de ter que combinar estruturas metálicas, por exemplo, EMFs, com películas adesivas antes da sua integração na estrutura compósita.

[0067] Em outra modalidade da presente invenção, o material automontado curado provê um curso claro para a base ao longo da parte externa de uma aeronave compósita ou outro substrato. Este curso para a base permite que fabricantes reduzam a quantidade de fios na base para dispositivos elétricos através do emprego do material condutor para completar um circuito.

[0068] Conforme anteriormente mencionado, a fabricação do LSP - substrato de prepeg de fibra pode ser realizada através de cocura dos materiais juntos durante técnicas de processamento de compósito típicas tal como cura em autoclave, cura fora de autoclave ou moldagem por compressão. Alternativamente, o adesivo de automontagem poderia ser curado após o substrato de compósito de

base ter sido curado. Além disso, o adesivo de automontagem poderia ser curado para o substrato termoplástico. Em uma modalidade adicional, níveis de pressão aumentados que são geralmente encontrados no processamento e na cura de compósito podem auxiliar mais na sinterização das partículas de carga que ocorre seguindo a automontagem da composição. Exemplos de aplicações de compósito compreendem: revestimentos de asa e cauda, superfícies de controle, aerofólios, cúpulas para antena, lâminas de helicóptero, lâminas para turbina de vento, longarinas, mastros e apoios.

[0069] Em outra modalidade da presente invenção, o material de automontagem pode ser usado como um adesivo de LSP para ligar e/ou vedar uma junta, parafuso, prendedor, rebite e similar. O material pode prover ambas a integridade mecânica e a continuidade elétrica através da união de seções para prevenir arqueamento dentro ou ao redor da junta. Em uma modalidade adicional da presente invenção, o material serve para fundamentar o compósito a um substrato, tal como uma estrutura de avião.

[0070] Conforme anteriormente mencionado, EMFs são difíceis de reparar quando danificadas. As malhas e a estrutura de base danificada devem ser cuidadosamente lixadas e cortadas e substituídas com material novo. A dificuldade em reparar surge na união de EMF nova com a existente. É essencial que a EMF nova alinhe perfeitamente. Se não, surgem vãos que limitam o fluido de eletricidade em casos de relâmpago futuros; isto pode por fim comprometer a segurança da aeronave. Além disso, a EMF pode ser facilmente deformada com manuseamento simples. A EMF é também conhecida causar defeitos de superfície no processo de pintura que requerem retrabalho. É por essas razões que deve haver muito cuidado e levar tempo para assegurar reparos adequados usando os materiais de EMF do estado da técnica.

[0071] Em uma modalidade adicional da presente invenção, o material

de automontagem da presente invenção é empregado para reparo de superfícies danificadas por relâmpago. Este método de reparo supera as dificuldades de reparo associadas com folhas de metal e outros sistemas da técnica anterior. Devido à estrutura condutora de automontagem única dos materiais da presente invenção, as interfaces metal-para-metal não requerem alinhamento uma vez que o material de automontagem vai formar interconexões in situ quando o material é aplicado a um sítio de reparo. O meio particular para empregar as composições da presente invenção em um procedimento de reparo inclui pulverização ou pintura do material não curado sobre a seção a ser reparada, ou pré-formação de uma folha de estágio B ou estágio C, então aplicação da folha à área danificada.

[0072] Em uma modalidade da presente invenção, um processo de reparo inclui as etapas de lixamento do painel para remover tinta e expor a área danificada incluindo o material condutor original (folha de metal, cursos condutores automontados, etc), então corte ao redor do perímetro da área danificada usando um corte que penetra através da casa de abelha, retirada das folhas de carbono e casa de abelha, e lixamento das três camadas de cima de folha de carbono deixando uma estrutura gradativa. Então a parte inferior do orifício é levemente lixada com um afiador de ângulo pneumático, e a área de reparo limpa com ar comprimido sem óleo. Então uma película adesiva é aplicada às laterais e à parte inferior do orifício na casa de abelha, um tampão de casa de abelha pré-fabricado é aplicado ao reparo e película adesiva adicional é posta sobre a casa de abelha e a área chanfrada, antes da aplicação de 3 folhas de prepeg de fibra de carbono de acordo com os tamanhos do reparo, começando com o menor. O material de LSP de automontagem de uma modalidade da presente invenção é posto sobre a área de reparo de maneira que ele se sobrepõe à LSP existente para condutividade elétrica e os painéis são postos em uma face de modelagem revestida de liberação e uma bolsa a vácuo foi construída em torno deles, e a montagem tem o excesso de

volume removido por cerca de 20 minutos e então curada em uma autoclave a 344,74 kPa (50 psi), 2 horas isotérmica a 177°C, antes de friccionar levemente os painéis com lixa de 240 grit e limpeza com ar comprimido sem óleo e pintar os painéis com um primer e revestimento conforme desejado.

[0073] Em uma modalidade adicional da presente invenção, o material de LSP de automontagem pode ser usado para reparar sistemas de proteção contra relâmpago da técnica anterior tal como folha de metal expandida condutora, malha de metal, cocondulações de fibra de carbono-metal, carbono metalizado, fibra de vidro metalizada ou polímero condutor carregado. O material de automontagem único de modalidades da presente invenção permite aplicação fácil a uma área danificada e alinhamento "automático" com os cursos condutores existentes para formar um curso condutor contínuo entre o sistema da técnica anterior e o material de reparo automontado da presente invenção.

[0074] Em uma modalidade adicional da presente invenção, o material condutor de automontagem permite o uso de equipamento de fabricação automático para aplicação de LSP a estruturas compósitas. Exemplos incluem, mas não estão limitados a, aplicação do material de automontagem em forma de pulverização usando equipamento de pulverização automático de maneira que o material pulverizado é aplicado à parte externa de polímero reforçado com fibra não curado em uma estrutura de molde macho ou a estrutura de molde fêmea da superfície que foi pré-tratada com um agente de liberação. Ainda, o material de automontagem poderia ser aplicado em combinação com filamentos unidirecionais múltiplos (por exemplo, fibra ou fita) usando máquinas de colocação de fibra ou fita automática. A habilidade em formar cursos eletricamente condutores contínuos seguindo a cura de filamentos adjacentes supera as questões mencionadas acima de fabricação e peso associadas com os materiais do estado da técnica.

[0075] Em uma modalidade adicional da presente invenção, o material

condutor de automontagem permite inspeção não destrutiva (NDI) (Non-Destructive Inspection) do material conforme aplicado à superfície. Técnicas de NDI são críticas em aplicações tal como a fabricação de estruturas aeroespaciais compósitas. Métodos de NDI permitem economias significantes em tempo de fabricação e custo enquanto também permitindo que estruturas críticas de missão sejam feitas para os padrões de qualidade máximos. Os materiais da presente invenção permitem técnicas de inspeção não destrutivas quantitativas simples para partes externas de LSP durante o tempo de vida da parte externa. A camada de LSP curada pode ser rapidamente inspecionada através de contato da superfície com uma sonda de resistência elétrica padrão, tal como uma sonda de 4 pontas. Os valores de resistência elétrica podem então ser relacionados com desempenho com relação ao nível de proteção contra relâmpago e proteção contra interferência eletromagnética (EMI). A resistência da superfície é dependente do volume de condutividade do material bem como a espessura do revestimento.

[0076] Em uma modalidade da presente invenção, o revestimento automontado curado é eletricamente condutor em todas as três dimensões (largura, comprimento e espessura). Desta maneira, medições de resistência elétrica podem ser facilmente feitas na superfície do revestimento usando um dispositivo padrão tal como uma sonda de 4 pontas conectada a um ohmímetro.

[0077] Embora a presente invenção tenha sido descrita com referência a modalidades particulares, deve ser reconhecido que essas modalidades são apenas ilustrativas dos princípios da presente invenção. Aqueles de habilidade comum na técnica vão compreender que as composições, aparelhos e métodos da presente invenção podem ser construídos e implementados de outras maneiras e modalidades. Desta maneira, o presente relatório não deve ser lido como limitante da presente invenção, uma vez que outras modalidades também se encaixam no escopo da presente invenção conforme definido pelas reivindicações apenas.

EXEMPLOS

[0078] A composição de proteção contra relâmpago de automontagem descrita nos Exemplos compreende resina de diglicidil éter de bisfenol F (DGEBF) (ou uma mistura de DGEBF com diglicidil éter de dipropileno glicol), um curativo de aduto de amina baseado na reação com dietileno triamina e anidrido ftálico, e floco de prata revestido com ácido esteárico (área de superfície de cerca de 0,8 m²/g e perda de peso em ar a 538°C de cerca de 03,%), e opcionalmente um solvente baseado em uma mistura de tolueno, metil etil cetona, acetato de etila e ligroína (35%, 32%, 22%, 11% em peso, respectivamente).

[0079] Esses revestimentos foram convertidos em várias formas de aplicação diferentes, aplicados e cocurados com uma estrutura laminada compósita (painel de teste) e testados quanto ao desempenho em relâmpago. Esses materiais de LSP e método proveram por fim proteção contra relâmpagos por causa de sua habilidade em formar cursos elétricos contínuos, altamente condutores, em todas as direções ortogonais. Em outras palavras, os ingredientes dos materiais realizam automontagem para formar uma malha tridimensional durante a cura do material. Ainda, esses materiais permitem proteções direta e indireta em sistemas de proteção de folha de metal expandida do estado da técnica de peso substancialmente reduzido. Por fim, os materiais de LSP de automontagem das modalidades da presente invenção têm o potencial de superar muitas das questões encontradas com materiais do estado da técnica tais como questões de manuseamento, processamento, automação, reparo, dentre outras questões mencionadas antes. Segue abaixo uma lista de Exemplos de apoio precedidos pela descrição de materiais, construção de painel e condições de teste de relâmpago.

[0080] A figura 1 mostra a seção transversal dos painéis de teste laminados usados para teste de sistemas de relâmpago diferentes descritos aqui. A configuração de laminado foi escolhida para representar o tipo de construção que

pode ser encontrado em aeronave de asa fixa e/ou giratória. A construção é também similar a laminados compósitos usados em lâminas compósitas para turbinas de vento e lâminas de helicóptero, ambas são suscetíveis a relâmpagos. A Tabela 1 lista os materiais usados para construir os painéis. Detalhes dos sistemas de LSP usados são descritos a seguir.

Tabela 1. Lista de materiais usados para preparar painéis de teste de relâmpago

Material	Nº de Camada na figura 1	Descrição
Revestimento de Uretana	1	Tinta de uretana de grau aeroespacial PPG CA80000 C5
Primer de Epóxi	2	Primer de epóxi que pode ser lixado de grau aeroespacial PPG 515-349
Sistema de LSP	3	Vide Exemplos Específicos
Prepeg de Carbono	4-6, 10-12	Heatcon® (HCS2402-050) 3k-70-Epóxi de Fibra de Carbono de Onda Plana
Película Adesiva	7,9	Heatcon® Película Adesiva de Epóxi (HCS2404-050)
Casa de abelha	8	Casa de abelha Nomex, espessura de 9,52 mm (3/8"), célula 3,18 mm (1/8")

[0081] Painéis compósitos, 60,9 cm, 60,9 cm x 1,27 cm (24 pol x 24 pol x ½ pol), foram construídos através do procedimento geral descrito a seguir. Os materiais foram primeiro cortados em formatos de 60,9 cm x 121,8 cm (24 pol. X 48 pol.). As camadas 3-6 e 10-12 (vide figura 1) foram esticadas separadamente com a mão, embaladas a vácuo e excesso de volume retirado sob vácuo para remover ar aprisionado e assegurar contato íntimo entre folhas adjacentes. Os dois laminados foram então removidos da bolsa e combinados com o material de núcleo de casa de abelha (camada 8). O laminado resultante estava contido em estruturas de apoio de 60,9 cm x 121,8 cm (24 pol x 48 pol) que foram aderidas a um tampo de mesa de alumínio (superfície de modelagem). O tampo de mesa de alumínio foi tratado com

um agente de liberação de molde Frekote® antes do esticamento dos materiais. A camada de proteção contra relâmpago (LSP) (camada 3) foi orientada com a face para baixo contra a superfície de modelagem. O laminado multicamada foi coberto com película de liberação, tecido de drenagem e película de embalagem a vácuo. A película de embalagem foi aderida à superfície de modelagem com fita de mástique. Vácuo foi aplicado à bolsa por ~20 minutos antes de cura em autoclave. A montagem laminado-modelagem inteira foi posta em uma autoclave, equipado com conexões de vácuo, e curada usando as condições que seguem:

Evolução: 1,25°C/minuto (2°F/minuto), isto é, ~2 h para temp

Embebimento: 179 +/- 6°C (355 +/- 10°F), 2 horas

Pressão: 3,40 atm (50 psi)

Esfriamento: Max 3,75°C (6° F/min) a 27°C (80°F) durante o curso de ~45-60 min

Esfriamento com ar da noite para o dia sob vácuo estático.

[0082] Os painéis curados foram removidos da montagem de bolsa de vácuo/modelagem e cortados em 60,9 cm x 60,9 cm (painéis de 24 pol. X 24 pol.). Cada painel foi pintado com um primer epóxi e tintas de revestimento de uretana. Antes da pintura, a superfície de cada painel foi levemente lixada com lixa de 240 grit. Fita de mascaramento foi aplicada à borda externa de 2,54 cm (1 pol.) do painel. O primer de epóxi (camada 2) foi então aplicado em uma película úmida e espessuras secas direcionadas de 38 microns (0,0015 pol.) e 19 microns (0,00075 pol.), respectivamente. O primer foi deixado secar por um mínimo de 2 horas antes da aplicação do revestimento de uretana (camada 1). O revestimento de uretana foi aplicado em duas aplicações. A primeira aplicação foi direcionada a uma espessura de película úmida de 50 microns (0,002 pol.). A segunda aplicação foi direcionada a uma espessura de película fina de 64 microns (0,0025 pol.). Aproximadamente 7-13 minutos foram destinados para tempo de secagem entre as primeira e segunda

aplicações. O painel foi deixado secar por um mínimo de 2 horas antes do manuseamento. Detalhes adicionais de como os vários materiais de LSP foram preparados e incorporados aos laminados foram descritos nos Exemplos abaixo.

[0083] O teste de relâmpago da Zona 1A e da Zona 2A foi conduzido de acordo com SAE ARP5412. Os painéis foram posicionados ~2,54 cm (1 polegada) abaixo do eletrodo de emissão. Fitas de aterramento foram posicionadas e fixadas com grampos C ao longo do perímetro sem pintura de 2,54 cm (1 polegada) do painel. Inspeção visual foi feita em todos os painéis seguindo o teste. A extensão do dano foi quantificada em termos de extensão de penetração de relâmpago e dano à área de superfície.

EXEMPLO 1

[0084] A Tabela 2 compara os resultados de relâmpago da Zona 1A para vários sistemas de LSP (representados pictoricamente pela Camada 3 na figura 1). Detalhes específicos dos vários painéis e sistemas de LSP correspondentes são como segue: O Painel A não continha nenhum sistema de proteção contra relâmpago, isto é, a Camada 3 (vide figura 1) estava ausente durante a construção do painel. Os painéis B e C (Estado da Técnica) eram compreendidos de Folhas de Metal Expandidas (EMF) de alumínio e cobre que foram fornecidas pré-embebidas em uma película adesiva de superfície (SG4528-016AL-104V e SG4528-04CU-103V, respectivamente, de APCM-AME, Planfield, Connecticut) que foi combinada ainda com uma folha de isolamento de fibra de vidro (FGF108-29M-990, Toray Composites America, Inc.). A folha de isolamento estava situada entre a película adesiva de EMF e a camada de fibra de carbono superior (Camada 4 na figura 1). Ref1 e Ref2 proveram dados de EMF adicionais previamente relatados por Welch e outros da Spirit AeroSystems (SAMPE Journal, Vol. 44, 4 de julho/agosto de 2008, pp. 6-17). Os painéis descritos neste relatório são muito similares em construção àqueles construídos para os presentes Exemplos (vide figura 1). O sistema de LSP

para Ref1 tem a mesma configuração que o Pannel A, isto é, uma EMF de alumínio encaixada em uma película de superfície (Surface Master 905) que foi esticada sobre uma folha de isolamento de fibra de vidro (Style, 1581, vidro S2). A LSP para Ref2 consistia em EMF de cobre encaixada em uma película de superfície (Surface Master 905). Lembrar que Ref2 não contém uma folha de isolamento de vidro, diferente dos Painéis B, C e Ref1.

[0085] Os painéis D-F eram baseados em materiais de automontagem de uma modalidade da presente invenção. Os materiais de LSP para os painéis D e E foram formados em películas adesivas baseadas na resina, no curativo e na carga mencionados acima. Especificamente, ambas as películas foram preparadas através da maneira que segue: Pastas adesivas compreendendo 17,8% em peso de diglicidil éter de bisfenol F, 6,8% em peso de curativo de aduto de amina e 75,4% em peso de floco de prata (25% em volume) usando um Hauschild, misturador centrífugo de ação dupla.

[0086] Essas pastas foram então esticadas em películas de 66,0 cm x 66,0 cm (26 pol; x 26 pol.) nominalmente de 50 microns de espessura. O esticamento da película foi feito usando uma superfície de espelho de 71,1 cm x 68,6 cm (28 pol. X 27 pol.) que foi coberta firmemente com película de liberação de fluorpolímero (Airtech WL5200 0,002 pol.). Tiras de folha de latão, de 50 microns de espessura (0,002 pol.), foram postas em duas bordas externas do espelho para controlar a espessura da película. Nominalmente, 200 gramas do adesivo de automontagem foram aplicados à película de liberação em duas contas na largura da superfície de película liberada. Uma barra de esticamento de alumínio feita sob medida, 68,6 cm (27 pol.) de largura x 3,8 cm de espessura (1,5 pol.), foi lentamente movida com a mão, sob pressão, ao longo da superfície da película de liberação em direção à extremidade oposta. Conforme a barra passava sobre as contas de pasta condutora, a pasta foi esticada em uma película uniforme. A espessura da película

foi governada pela espessura das tiras de folha de latão. Vários esticamentos usando a barra de esticamento foram requeridos até que a espessura de película e a uniformidade desejada fossem atingidas.

[0087] Uma vez a película adesiva tendo sido esticada, uma película de liberação superior foi aplicada para proteção. O laminado de 3 camadas inteiro (película de liberação, película condutora e película de liberação superior) foi passado por um rolo de deslizamento para melhorar quaisquer irregularidades da película. A película de laminado foi então posta em um substrato de metal em folha e parcialmente curada (Estágio B) em um forno preaquecido a 85°C por 13 minutos. Após o estágio B, a película era coesa, embora flexível, e a película de liberação superior pôde ser removida sem causar dano. As películas de estágio B foram armazenadas a -20°C ou abaixo até necessário para esticamento e cura de painéis de teste.

[0088] O painel F é uma versão de pulverização de um adesivo de automontagem de LSP de acordo com uma modalidade da presente invenção. Pasta condutora foi preparada da mesma maneira que acima usando os ingredientes que seguem: 6,5% em peso de diglicidil éter de bisfenol F, 6,5% em peso de diglicidil éter de dipropileno glicol, 4,8% de curativo de aduto de amina e 82,24% em peso de floco de prata (33% em volume). As pastas foram misturadas com a mão com uma mistura de solvente compreendendo 36% de tolueno, 32% de metil etil cetona, 22% de acetato de etila, e 10% de ligroína, em peso, em uma razão de aproximadamente 1 parte de solvente para 2 partes de pasta em peso. A mistura foi revestida com pulverização sobre painéis laminados não curados usando uma pistola de pulverização HVLP. O material resultante foi carregado na pistola de pulverização de HVLP (ar ~103,42 - 206,84 kPa (~15 - 30 psi), ponteira de 1,4 mm) e aplicado à folha de isolamento de fibra de vidro não-curada ((FGF108-29M-990, Toray Composites America, Inc.) suportada por três folhas de carbono não-curadas por

baixo (Camadas 4-6) em distância de 20-30 cm (8-12 pol.) a partir da superfície. A espessura de revestimento era aproximadamente 107 microns (0,0042 pol). Os substratos foram deixados secar em condições ambientes por um mínimo de 10 minutos e então curados sob as condições mencionadas acima.

[0089] Antes da discussão dos resultados, é importante comentar os critérios básicos para proteção contra relâmpago. O critério básico para LSP é prevenção de "efeitos catastróficos", isto é, efeitos que comprometem a segurança da aeronave que previnem que ela aterrisse com segurança. A partir de um ponto de vista estrutural é desejável preservar o substrato compósito de base seguindo um relâmpago. Idealmente, quebra mínima a nenhuma das fibras dentro do substrato laminado compósito é preferida. Ainda, é desejável, embora não crítico, haver dano cosmético mínimo à superfície pintada. Minimização da área de queima ou chamuscado vai minimizar a quantidade de materiais e tempo necessária para subsequente reparo de superfície danificada. Com isso em mente, os painéis nesses e em Exemplos subsequentes foram inspecionados quanto a dano estrutural, isto é, dano a folhas de carbono, e dano cosmético, extensão de área de queima ou chamuscado.

[0090] Ainda, a integral de ação medida durante o teste de relâmpago é também relatada. Pela SAE ARP5412, a integral de ação está relacionada com a quantidade de energia absorvida e é um fator crítico na extensão de dano. A integral de ação para os testes da Zona 1A deve ser 2×10^6 A2s (+/- 20%). Desvio considerável abaixo deste valor sob condições de teste iguais indica absorção significativa de energia que é frequentemente refletida em dano físico ao espécime de teste, por exemplo, queima, punções, etc.

[0091] Os resultados na Tabela 2 mostram grau de proteção ou dano variável a golpes na Zona 1A dependendo da escolha do sistema de LSP. O Painel A, não tendo nenhuma proteção contra golpe, exibiu falha catastrófica. O relâmpago

penetrou em todas as seis folhas de carbono do painel; desta maneira resultando em um orifício grande e dano de queima extenso. Além disso, a integral de ação caiu abaixo do nível aceito que é uma indicação adicional de absorção significativa de energia do golpe e da incapacidade do material em aterrar adequadamente a corrente.

[0092] Todos os sistemas de EMF do estado da técnica (Painel B, Painel C, Ref1 e Ref2) preveniram a penetração do relâmpago na estrutura de carbono de base com graus variáveis de dano à superfície ou dano cosmético. Os painéis B e C exibiram quantidade comparável de dano à superfície/cosmético que deve ser esperada dada as suas construções muito similares. Ainda, o nível de dano à superfície considerável menor do que o observado para os sistemas de cobre, Painéis C e Ref2. Este resultado é principalmente devido ao volume menor de metal dentro do sistema de LSP devido ao cobre mais denso. Conforme esperado, o sistema de cobre mais pesado (Painel C) supera em desempenho Ref2 por causa da quantidade de cobre maior no sistema de LSP do Painel C. De forma compreensível, todas as integrais de ação estavam em especificação devido à LSP adequada.

[0093] Similar aos sistemas de EMF da técnica anterior, os painéis baseados nos materiais e métodos da presente invenção incluindo um material de automontagem contendo cursos condutores preveniram a penetração do relâmpago na estrutura de base e por sua vez integrais de ação aceitáveis. Isto é verdadeiro para ambas as versões de película e pulverização do material. O painel D, uma versão em película do material automontado acompanhado com uma folha de isolamento, exibiu desempenho e níveis de peso próximos àqueles da película de cobre/superfície usada no Painel Ref2. Remoção da folha de isolamento na película heterogênea (Painel E) provê proteção em peso substancialmente reduzido com relação aos sistemas de EMF do estado da técnica. Especificamente, o Painel E

previne dano ao substrato de carbono em ~ 22% menos peso do que as comparações de EMF mais leves (Painéis B e Ref2). O Painel F demonstra que pulverização de um revestimento condutor diretamente sobre a prepeg de carbono seguido por co-cura é capaz de prover proteção direta contra relâmpago simulado na Zona 1A, isto é, quaisquer folhas de carbono foram penetradas.

Tabela 2. Sumário de Resultados para Testes de Relâmpago da Zona 1A

Nome do Painel	Sistema de LSP (Pesos de Área, g/m ²)	Peso de Área Total de Sistema de LSP, g/m ²	Número de Folhas de Carbono Penetradas	Dano à Superfície ^(b) , cm	Integral de Ação, x10 ⁶ A ² .s
<u>Nenhuma Proteção LSP</u>					
A	nenhuma	0	6	24	1,42
<u>Sistemas de Malha de Metal Expandida do Estado da Técnica</u>					
B	Al (78) + Isoply (82) + Película de Superfície (171)	331	0	23	2,04
C	Cu (195) + Isoply (82) + Película de Superfície (181)	458	0	28	2,08
Ref1 ^(a)	Al (78) + Isoply (82) + Película de Superfície (171)	331	0	14	NA
Ref2 ^(a)	Cu (78) + Película de Superfície (171)	313	0	29	NA
<u>Materiais de LSP de Automontagem</u>					
D	Película Hetero (261) + Isoply (82)	343	0	35	1,90
E	Película	257	0	23	1,97

	Hetero (261)				
F	Pulverização Hetero (452) + Isoply (82)	532	0	19	2,08

(a) Ref1 e Ref2 são resultados de teste com base na Zona 1A para sistemas de LSP de EMF previamente relatados por Welch e outros da Spirit AeroSystems (*SAMPE Journal*, Vol. 44, Nº 4, julho/agosto 2008, pp. 6-17). Os painéis descritos neste relatório são muito similares em construção àqueles listados no resto da Tabela 1. Detalhes adicionais podem ser encontrados no texto descritivo dos exemplos no artigo referido.

(b) O dano à superfície corresponde ao diâmetro de área circular que foi danificada cosmeticamente por carbonização, queima ou evaporação de tinta e/ou resina.

EXEMPLO 2

[0094] A Tabela 3 compara os resultados de golpe da Zona 2A para vários sistemas de LSP (representados pictoriamente pela Camada 3 na figura 1). O Painel G (Estado da Técnica) era compreendido de EMF de alumínio (Grau 016, Pacific Coast Composites) que foi combinada com um adesivo em película (HCS2404-050, 242 g/m², Heatcon® Composites) que foi combinada mais com uma folha de isolamento de fibra de vidro (FGF108-29M-990, Toray Composites America, Inc.). A folha de isolamento foi situada entre a película adesiva de EMF e a camada de fibra de carbono superior. O Painel H foi preparado da mesma maneira que o Painel F exceto pelo uso dos ingredientes que seguem para pasta mistura de pasta condutora e solvente. Pasta condutora: 25,1% em peso de diglicidil éter de bisfenol F, 9,6% em peso de curativo de aduto de amina e 65,3% de floco de prata (17% em volume). Mistura de solvente: acetona 50%, tolueno 18%, metil etil cetona 16%, acetato de etila 11% e ligroína 5%, em peso.

[0095] Embora ambos os painéis na Tabela 3 previnam falha

catastrófica e demonstrem Integrais de Ação aceitáveis (isto é, 0,25 +/- 20%), O Painel G baseado em EMF de alumínio exibiu dano à primeira folha de fibra de carbono. Em contraste, nenhuma penetração de folhas de carbono foi observada para o painel H com base no material de automontagem de uma modalidade da presente invenção. Além disso, o peso de área foi metade daquele da comparação. Este desempenho da presente invenção deriva em parte da natureza isotrópica que permite condutividade muito alta na direção z em adição às direções x & y.

Tabela 3. Sumário de Resultados para Testes de Golpe de Relâmpago da

Zona 2A

Nome do Painel (Nº da figura)	Sistema de LSP (Pesos de Área de g/m ²)	Peso de Área Total de Sistema de LSP (g/m ²)	Número de Folhas de Carbono Penetradas	Dano à Superfície ^(a) , cm	Integral de Ação, x10 ⁶ A ² .s
<u>Sistemas de Malha de Metal Expandida do Estado da Técnica</u>					
G	Al (78) + Isoply (82) + Película de Superfície (242)	404	1	6	0,28
<u>Materiais de LSP Heterogêneos</u>					
H	Pulverização Hetero (202)	202	0	12,5	0,26

(a) O dano à superfície corresponde ao diâmetro de área circular que foi danificada cosmeticamente por carbonização, queima ou evaporação de tinta e/ou resina.

EXEMPLO 3

[0096] Conforme anteriormente mencionado, a natureza de automontagem dos materiais da presente invenção tem a habilidade em formar cursos condutores, contínuos, durante a cura de material. Esta característica é especialmente única uma vez que ela permite que uma pessoa forme ponte

eletricamente entre interfaces (por exemplo, uma união entre duas seções adjacentes) que são geralmente encontradas na construção original de estruturas e durante o reparo das existentes. Ainda, este método permite que uma pessoa automatize o processo de fabricação de LSP. Os materiais do estado da técnica baseados em folhas de metal não têm a habilidade em formar interfaces contínuas na união, o que frequentemente leva a resistências elétricas muito grandes através das interfaces entre EMFs de LSP separadas. Além disso, LSP automatizada é proibitiva devido a questões de união, questões de fragilidade e peso.

[0097] Para ilustrar a habilidade da presente invenção em formar ponte eletricamente entre interfaces, o mesmo material de LSP de automontagem para o Painel H foi revestido com pulverização sobre duas folhas de 10 cm x 30 cm diferentes (3,9 pol. X 11,8 pol.) de *prepeg* de fibra de carbono (Epóxi de Fibra de Carbono 3k-70 PW). O revestimento resultante era de aproximadamente 75 microns (0,003 pol.) de espessura. As duas folhas revestidas foram então unidas em uma superfície de modelagem de metal (revestimento contra a superfície), desta maneira criando um defeito linear ao longo da interface das duas amostras. Duas folhas de fibra de carbono de 20 cm x 30 cm (7,9 pol. X 11,8 pol.) foram aplicadas à parte traseira das folhas de união. A estrutura inteira foi então embalada a vácuo e curada a 177°C (350° F) por 3 horas. Medições de resistência elétrica foram feitas usando uma sonda de 2x2 pontos com espaçamento de sonda de 7 cm dentro de cada revestimento original e através da junta de união da ponta. O revestimento curado exibiu condutividade elétrica comparável através do defeito de união de ponta inicial conforme medido através de cada uma das amostras originais. Isto é atribuível à estrutura única do material que permite que os cursos condutores de automontagem formem conexões elétricas com o sistema de LSP existente.

Tabela 4. Valores de resistência elétrica para painéis de carbono unidos com base em revestimentos condutores heterogêneos/de automontagem

Localização do Painei	Resistência Elétrica ^(a) (mOhms)
Dentro do Laminado Esquerdo	91,1
Dentro do Laminado Direito	91,1
Através da união de ponta original de dois laminados	88,9

(a) A resistência elétrica foi medida usando uma sonda de quatro pontos 2x2 com um espaçamento de sonda para sonda de 7 cm.

EXEMPLO 4

[0098] Painéis sanduíche compósitos que foram previamente atingidos por relâmpago simulado da Zona 1A foram usados como espécimes de teste. Dois tipos de painéis foram usados: Painei G baseado em folha de cobre expandida (estado da técnica) e Painei H baseado no revestimento adesivo de automontagem. Ambos os painéis foram reparados de acordo com os métodos aprovados pela FAA usando uma abordagem *step-sand* (DOT/FAA/AR-03/74). Ambos os painéis foram reparados com uma solução de pulverização baseada no adesivo de pulverização de automontagem mencionado acima descrito no Exemplo 1. A mistura de adesivo-solvente foi carregada na pistola de pulverização HVLP (ar a 103,42 - 206,84 kPa (15-30 psi), ponta de 1,4 mm) e aplicada aos painéis reparados.

[0099] Detalhes específicos do processo de reparo todo são como segue: Os painéis foram lixados com uma lixadeira orbital dupla para remover tinta e expor o dano. Este lixamento também expôs a EMF de cobre no caso do Painei G, o que permitiu que o material de automontagem fizesse contato elétrico com a folha. Um corte circular que penetrou através da casa de abelha foi então feito em torno do perímetro da área danificada. As folhas de carbono e a casa de abelha foram retiradas. A parte inferior do orifício foi então levemente lixada com um afiador de ângulo pneumático de alta velocidade. As três camadas superiores que eram de carbono foram então lixadas desta maneira deixando uma estrutura escalonada. O passo era de 1,27 cm/folha. A área de reparo foi então soprada com ar comprimido

sem óleo. Em seguida, película adesiva (vide Tabela 1) foi aplicada às laterais e parte inferior do orifício na casa de abelha. Um tampão e casa de abelha foi fabricado e aplicado ao reparo. Película adesiva foi posta na casa de abelha e a área chanfrada. Três folhas de *prepeg* de fibra de carbono (vide Tabela 1) de tamanho compatível com os passos foram aplicadas ao reparo, começando com a menor. A solução de pulverização adesiva de automontagem foi pulverizada sobre a área de reparo de maneira que ela sobrepôs à LSP existente para condutividade elétrica. Os painéis foram postos em uma face moldada revestida de liberação e uma bolsa de vácuo foi construída em torno deles. A montagem teve excesso de volume retirado por 20 minutos e então curada em uma autoclave a 344,74 kPa (50 psi), isotérmica 2 horas a 177°C. Seguindo a cura, os painéis foram levemente friccionados com lixa de 240 grit e limpos com ar comprimido sem ar. Eles sofreram então aplicação de *primer* e pintados conforme anteriormente descrito.

[00100] Os painéis reparados foram golpeados diretamente no sítio de reparo com a Zona 1A conforme previamente descrito. Ambos os reparos foram capazes de proteger adequadamente os painéis compósitos sem qualquer dano estrutural significativo ao painel. O dano foi isolado para a área de tampão na forma de carbonização e resina evaporada das bordas e camada de carbono superior do reparo. Em ambos os casos o tampão permanece firmemente no lugar após o golpe. A descoloração da tinta em torno do perímetro do reparo foi principalmente na forma de fuligem que foi facilmente retirada com limpeza.

EXEMPLO 5

[00101] Uma pasta adesiva de automontagem da presente invenção foi preparada usando a formulação que segue: 25,3% em peso de diglicidil éter de bisfenol F, 9,7% em peso de curativo de aduto de amina e 65,0% em peso de floco de prata (cerca de 17% em volume). Os componentes foram misturados até uniformidade em um misturador Hauschild DAC 150 F.

[00102] Uma mistura de solvente foi então misturada na pasta em uma razão de 1 parte de mistura de solvente para 2 partes de pasta. A mistura de solvente consistia em 50% de acetona, 18% de tolueno, 16% de metil etil cetona, 11% de acetato de etila e 5% de ligroína, em peso.

[00103] A mistura de tinta resultante foi rapidamente misturada manualmente seguido por 5 minutos de mistura em um agitador de tinta padrão. A mistura de tinta foi então filtrada e carregada em uma pistola de pulverização HVLP manual com um tamanho de ponta de 1,4 mm e ~103,42 - 206,84 kPa (~15 - 30 psi), de pressão de ar. A mistura de tinta foi então pulverizada sobre um substrato de placa epóxi G11 não condutor. (O substrato não condutor foi escolhido devido à sua transparência às ondas eletromagnéticas que poderiam permitir medição da eficácia de proteção verdadeira do revestimento condutor). O substrato revestido foi então curado a 160°C por 1 hora. A resistência da folha da película curada foi em média 0,036 Ω /quadrado conforme medido através de uma sonda de 4 pontos. A espessura da película era de aproximadamente 50 microns (0,002 pol.). A eficácia de proteção eletromagnética do revestimento foi medida usando um procedimento MIL-STD-285 modificado em onda de plana em frequências de 30 MHz a 12 GHz. É importante notar que os resultados do teste abaixo de 240 MHz são semiquantitativos uma vez que o porta-amostra de 60,9 cm x 60,9 cm (24 pol. X 24 pol.) (abertura) começa a bloquear a transmissão de EM também. Os resultados na figura 2 mostram que o revestimento baseado na presente invenção é capaz de prover níveis altos de eficácia de proteção, isto é, 50 dB e mais, em uma faixa ampla de frequências.

EXEMPLO 6

[00104] O material de LSP de automontagem de acordo com uma modalidade da presente invenção foi aplicado sobre folhas de polímero reforçado com fibra de carbono comercial (CFRP). A estrutura de apoio sob essas folhas de

CFRP de superfície era um núcleo de casa de abelha Nomex® e folhas de CFRP adicionais na parte traseira. Esses painéis planos foram co-curados em autoclave a $179 \pm 6^\circ\text{C}$ ($355 \pm 10^\circ\text{F}$). O resultado foi um painel de casa de abelha de CFRP totalmente curado cortado para 60,9 cm, 60,9 cm x 1,27 cm (24 pol x 24 pol x ~0,5") com um revestimento de LSP sobre uma superfície.

[00105] Após a cura, esses painéis planos se aproximam de uma estrutura de parte externa de aeronave compósita antes de pintura com *primer* e revestimento. Medições de resistência elétrica podem ser facilmente feitas na superfície do revestimento de LSP. Essas medições podem ser testes de ponto usando todos os 4 pinos da sonda alocados juntos ou testes de distância onde cada par de pinos de sonda é espaçado uma dada distância. Os painéis foram então pintados com *primer* e revestimentos de grau aeroespacial e sofreram testes de golpe de relâmpago de Zona 1A conforme especificações SAE 5412.

[00106] A figura 3 mostra como resistência da superfície pode ser usada para prever desempenho de LSP que é um método de valor em avaliação da qualidade durante fabricação e extensão de dano após golpe ou um impacto. Na figura 3, a resistência elétrica do revestimento de LSP é ilustrada em gráfico contra a área de dano do mesmo painel após o golpe de relâmpago da Zona 1A. A resistência elétrica do revestimento foi medida com um teste de ponto de sonda de 4 pontas. A área danificada (ou "seca") do painel golpeado foi definida como a ausência das camadas de tinta, camada de LSP e resina de superfície das folhas de CFRP. Todos os painéis na figura 3 exibiram dano estrutural para apenas 0-1 folha de CFRP.

REIVINDICAÇÕES

1. Método para proteção de um substrato contra relâmpagos **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende:

(i) prover um substrato,

(ii) prover uma composição protetora contra relâmpago ao substrato, em que a composição protetora contra relâmpago compreende um material curável, carregado, capaz de automontagem para formar cursos condutores durante um processo de cura, em que o material curável compreende um composto orgânico curável e uma carga, o referido composto orgânico compreendendo uma resina relativamente apolar e um agente de cura polar e a referida carga sendo compreendida de partículas, as referidas partículas sendo revestidas com um revestimento apolar e compreendendo um material que é eletricamente condutor e as referidas partículas de carga revestidas sendo misturadas no referido composto orgânico, e

(iii) curar a composição por meios de uma aplicação de calor, em que o agente de cura reage com a resina do composto orgânico curável formando um polímero contendo porções polares neste, resultando em uma interação de repulsão entre o revestimento apolar da carga e as porções polares no polímero, proporcionando a auto-montagem das cargas em cursos condutivos através da composição.

2. Método, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o composto orgânico curável compreende diglicidil éter de bisfenol F, preferivelmente em que o composto orgânico curável compreende ainda um agente de cura, preferivelmente em que o agente de cura compreende um aduto de anidrido de poliamina baseado na reação entre anidrido ftálico e dietilenotriamina.

3. Método, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que a condutividade da composição automontada curada é maior do que 100 vezes

a condutividade de uma composição não montada curada tendo uma quantidade equivalente da carga condutora.

4. Método, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que a carga compreende prata.

5. Método, de acordo com a reivindicação 1 ou 4, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o revestimento compreende ácido esteárico.

6. Método, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende ainda a etapa de aquecimento da composição para cura do material.

7. Método, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que as partículas de carga são sinterizadas para formar cursos automontados condutores sinterizados.

8. Método, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que a composição protetora contra relâmpago é incorporada a uma estrutura laminada compreendendo ainda um substrato *pregreg*, preferencialmente em que a estrutura laminada compreende ainda uma matriz condutora pré-formada adicional, preferivelmente em que a matriz condutora pré-formada compreende uma folha de metal expandida.

9. Método, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o material automontado provê ainda um curso para a base para pelo menos um dispositivo elétrico.

10. Método, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que a composição compreende menos do que 40% em volume de carga condutora, ou em que a composição compreende menos que 15% em volume de carga condutora.

11. Método, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que a etapa de prover uma composição protetora contra relâmpago a um

substrato compreende as seguintes etapas:

identificar uma seção danificada de um sistema de proteção contra relâmpago compreendendo pelo menos um curso condutor descontínuo;

depositar a composição sobre a seção danificada; e

curar a composição depositada para prover pelo menos um curso condutor automontado completando o pelo menos um curso condutor descontínuo na seção danificada.

12. Método, de acordo com a reivindicação 10, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o sistema de proteção contra relâmpago danificado compreende pelo menos um de uma folha de metal expandida condutora, malha de metal, cocondulações de fibra de carbono-metal, carbono metalizado ou polímero condutor carregado, ou

em que o sistema de proteção contra relâmpago danificado compreende um material curável capaz de automontagem para formar cursos condutores durante um processo de cura.

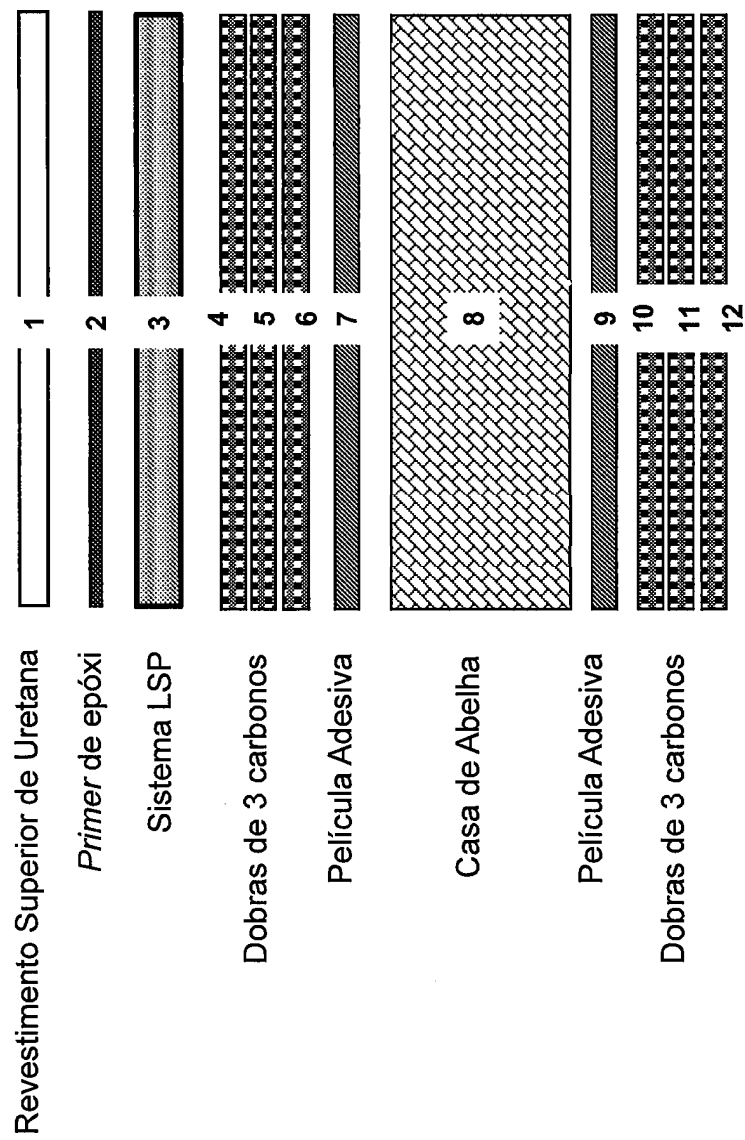


FIG. 1

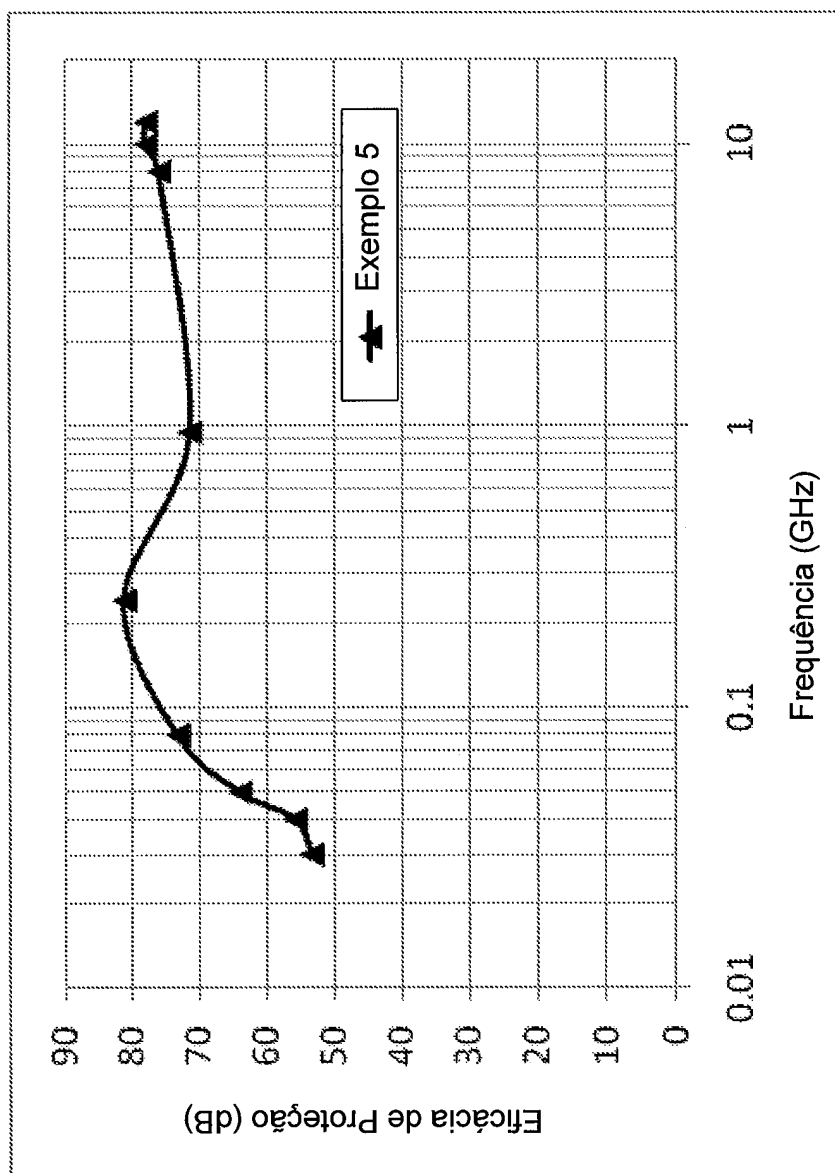


FIG. 2

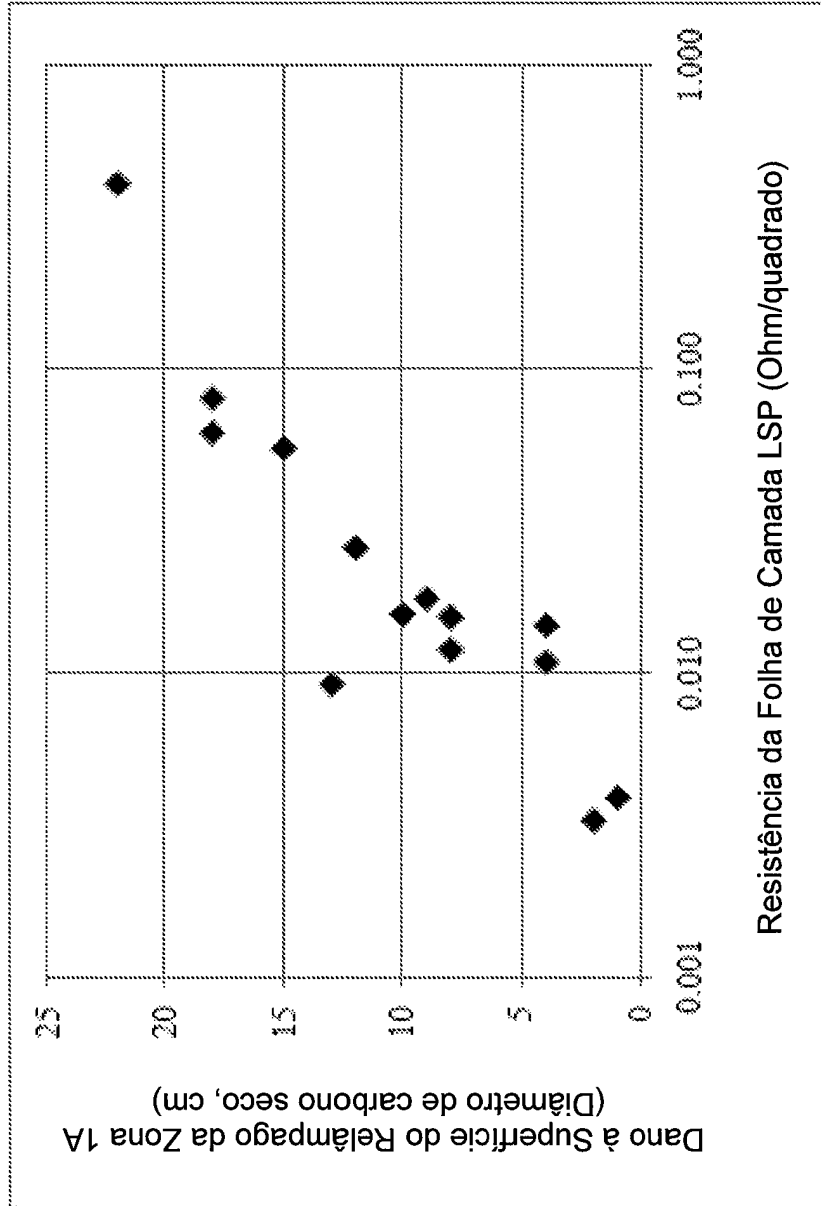


FIG. 3