



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

(11) BR 102015017178-1 B1



(22) Data do Depósito: 17/07/2015

(45) Data de Concessão: 15/12/2020

(54) Título: DISPOSITIVO INDICADOR DE IMPACTO POR OBJETO CONTUNDENTE, E, MÉTODO PARA MONITORAR UMA ESTRUTURA QUANTO AO DANO DEVIDO AO IMPACTO POR OBJETO CONTUNDENTE

(51) Int.Cl.: G01L 1/24; G01M 5/00; B64D 45/00; G01M 9/00.

(52) CPC: G01L 1/247; G01M 5/0091; B64D 45/00; G01M 9/00.

(30) Prioridade Unionista: 22/07/2014 US 14/337,285.

(73) Titular(es): THE BOEING COMPANY.

(72) Inventor(es): GARY E. GEORGESON; WILLIAM JOSEPH TAPIA.

(57) Resumo: DISPOSITIVO INDICADOR DE IMPACTO POR OBJETO CONTUNDENTE, E, MÉTODO PARA MONITORAR UMA ESTRUTURA QUANTO AO DANO DEVIDO AO IMPACTO POR OBJETO CONTUNDENTE. Sistemas e métodos usando microesferas ocas preenchidas com fluido para assistir na monitoração ou indicação de impactos por objeto contundentes de alta energia sobre estruturas, tal como aeronave. Uma multiplicidade de microesferas pode ser aderida ou embutida em um revestimento aplicado sobre uma superfície de um substrato (por exemplo, uma fita ou um aplique), cujo substrato, por sua vez, pode ser aderido a uma superfície de uma estrutura a ser monitorada. As microesferas são projetadas para ruptura em um ou mais limites de pressão especificados. Em algumas modalidades, as microesferas são preenchidas com fluido eletricamente condutor que, se liberado da microesfera rompida, modifica o estado eletromagnético do substrato. Em resposta à detecção de uma modificação suficientemente grande no estado eletromagnético do substrato, uma indicação de impacto por objeto contundente é gerada. O local do impacto pode então ser submetido a inspeção não destrutiva.

“DISPOSITIVO INDICADOR DE IMPACTO POR OBJETO CONTUNDENTE, E, MÉTODO PARA MONITORAR UMA ESTRUTURA QUANTO AO DANO DEVIDO AO IMPACTO POR OBJETO CONTUNDENTE”

FUNDAMENTOS

[001] Esta descrição relaciona-se em geral a sistemas e métodos para monitorar ou indicar impactos de alta energia sobre uma estrutura. Mais particularmente, esta descrição relaciona-se a sistemas e métodos para medir a magnitude e localização de um evento de impacto de alta energia.

[002] Quando há suspeita de dano a um componente estrutural, é habitual avaliar a integridade estrutural do componente possivelmente danificado usando técnicas de avaliação não destrutiva (NDE). Quando são usadas técnicas NDE pode ser difícil determinar pontos específicos de danos rapidamente, porque pode ser necessário explorar grandes áreas da estrutura. Portanto, é desejável ter uma técnica pela qual a localização precisa do dano possa ser facilmente determinada.

[003] Na indústria da aviação, uma aeronave pode ser vulnerável aos impactos por objeto contundentes de alta energia de veículos de suporte e de equipamento de suporte terrestre, tais como carregadores de esteira de carga, carrinhos de bagagem, reabastecedores da aeronave, veículos com refeições, unidades de potência terrestres, ônibus do aeroporto e esteira de embarque de passageiros. Em resposta a qualquer indicação de que um impacto por objeto contundente de alta energia ocorreu, o primeiro procedimento de manutenção habitual é realizar uma avaliação não destrutiva da área impactada para determinar uma disposição apropriada, por exemplo, reparar o dano à aeronave.

[004] Embora sejam conhecidos métodos para produzir uma indicação visual de um impacto por objeto contundente de alta energia sobre a aeronave a um observador eventual, pela colocação de uma fita de impacto

(compreendendo microesferas rompíveis preenchidas com fluido indicador colorido) sobre a superfície de uma estrutura de aeronave que é vulnerável a tais impactos, em algumas situações a indicação visual de dano à superfície pode não ser desejada.

[005] Há escopo para melhoramentos na tecnologia existente para monitorar ou indicar impactos por objeto contundentes de alta energia sobre estruturas, tal como uma aeronave.

SUMÁRIO

[006] O assunto aqui descrito é direcionado a sistemas e métodos usando microesferas ocas preenchidas com fluido para auxiliar a monitoração ou indicação de impactos por objeto contundentes de alta energia sobre estruturas, tais como uma aeronave. Uma multiplicidade de microesferas pode ser aderida ou embutida em um revestimento aplicado sobre uma superfície de um substrato (por exemplo, uma fita ou um aplique), cujo substrato, por sua vez, pode ser aderido a uma superfície de uma estrutura a ser monitorada. As microesferas são projetadas para ruptura em um ou mais limites de pressão especificados. Em algumas modalidades, as microesferas são preenchidas com fluido eletricamente condutor que, se liberado a partir de microesfera rompida, modifica o estado eletromagnético do substrato. Em resposta à detecção de uma modificação suficientemente grande no estado eletromagnético do substrato, uma indicação de impacto por objeto contundente é gerada. O local do impacto pode então ser submetido a inspeção não destrutiva.

Um aspecto do assunto descrito em detalhe abaixo é um dispositivo indicador de impacto por objeto contundente compreendendo: um substrato, compreendendo primeira e segunda superfícies; e uma multiplicidade de invólucros rompíveis dispostas na proximidade da dita primeira superfície do dito substrato, os invólucros tendo um fluido eletricamente condutor disposto em um volume interno dos invólucros. Os invólucros podem ser microesferas ocas constituídas de material dielétrico. O substrato pode ser na forma de uma

fita ou um aplique.

[007] De acordo com uma implementação, o indicador de impacto por objeto contundente compreende adicionalmente: primeiro e segundo condutores elétricos; e um suprimento de tensão conectada ao primeiro e segundo condutores elétricos, onde o primeiro e segundo condutores elétricos são dispostos de um lado da primeira superfície do substrato e espaçados afastados, de tal modo que o primeiro e segundo condutores elétricos serão eletricamente acoplados um ao outro por fluido eletricamente condutor liberado da multiplicidade de invólucros e não serão eletricamente acoplados um ao outro na ausência do fluido eletricamente condutor da multiplicidade de invólucros. Um medidor pode ser provido para medir uma magnitude de corrente elétrica fluindo através do primeiro condutor elétrico.

[008] De acordo com uma outra implementação, o dispositivo indicador de impacto por objeto contundente compreende adicionalmente: primeiro e segundo condutores elétricos que não estão eletricamente acoplados um ao outro na ausência de fluido eletricamente condutor; e um circuito de identificação de radiofrequência conectado ao primeiro e segundo condutores elétricos, onde o primeiro e segundo condutores elétricos são dispostos de um lado da primeira superfície do substrato e configurados e espaçados de tal modo que o primeiro e segundo condutores elétricos podem ser eletricamente acoplados um ao outro na presença de fluido eletricamente condutor liberado da multiplicidade de invólucros. Nesta implementação, o circuito de identificação de radiofrequência pode compreender um transceptor acoplado ao primeiro e segundo condutores elétricos e uma informação de armazenagem de memória não volátil que identifica univocamente o circuito de identificação de radiofrequência.

[009] De acordo com uma implementação adicional, o dispositivo indicador de impacto por objeto contundente compreende adicionalmente: uma primeira camada de material eletricamente condutor disposta sobre a

primeira superfície do substrato; uma segunda camada de material eletricamente condutor sobrepondo-se à primeira camada de material eletricamente condutor com um espaço entre elas, a multiplicidade de invólucros sendo disposta no espaço; e um suprimento de tensão conectada à primeira e segunda camadas de material eletricamente condutor, onde a primeira e segunda camadas de material eletricamente condutor são espaçadas afastadas, de tal modo que a primeira e segunda camadas de material eletricamente condutor serão eletricamente acopladas uma à outra, quando molhadas pelo fluido eletricamente condutor liberado a partir da multiplicidade de invólucros, e não serão eletricamente acopladas uma à outra na ausência de fluido eletricamente condutor da multiplicidade de invólucros.

[0010] Um outro aspecto do assunto descrito em detalhe abaixo é um dispositivo indicador de impacto por objeto contundente compreendendo: um substrato; um condutor elétrico quebradiço disposto sobre ou embutido no substrato e tendo primeiro e segundo terminais; um suprimento de tensão conectada ao primeiro e segundo terminais do condutor elétrico quebradiço; e um indicador de continuidade eletricamente conectado ao condutor elétrico quebradiço. Opcionalmente, o dispositivo indicador de impacto por objeto contundente compreende adicionalmente: uma multiplicidade de invólucros rompíveis dispostas na proximidade de uma superfície do substrato, os invólucros sendo distribuídas através de uma área abrangendo o condutor elétrico quebradiço, cada invólucro tendo um volume interno; e um fluido eletricamente condutor disposto nos volumes internos dos respectivos invólucros da multiplicidade de invólucros.

[0011] Um aspecto adicional do assunto aqui descrito é um método para monitorar uma estrutura quanto ao dano devido ao impacto por objeto contundente, compreendendo: anexar um substrato a uma superfície da estrutura, o substrato compreendendo uma multiplicidade de invólucros rompíveis aderidos a ele ou embutidos nele, cada invólucro tendo um volume

interno, e um fluido eletricamente condutor disposto nos volumes internos dos respectivos invólucros da multiplicidade de invólucros; e detectar uma modificação na condutividade elétrica do substrato. De acordo com uma modalidade, a etapa de detectar uma modificação na condutividade elétrica do substrato compreende: colocar uma bobina nas proximidades do substrato; fazer com que corrente alternada flua através da bobina, durante o primeiro e segundo intervalos de tempo, uma magnitude da corrente alternada e uma distância separando a bobina do substrato sendo selecionadas para induzir correntes de Foucault no substrato; e medir qualquer diferença entre a primeira impedância da bobina durante o primeiro intervalo de tempo e de uma segunda impedância da bobina durante o segundo intervalo de tempo. Opcionalmente, a etapa de detectar uma modificação na condutividade elétrica do substrato compreende adicionalmente: determinar se uma diferença entre a primeira e segunda impedâncias é maior que um limite especificado; e executar inspeção não destrutiva na área da estrutura próxima da bobina, se a diferença entre a primeira e a segunda impedâncias for maior que o limite especificado.

[0012] Ainda um outro aspecto é um método para monitorar uma estrutura para dano devido ao impacto por objeto contundente, compreendendo: anexar um substrato a uma superfície de uma estrutura, o substrato compreendendo uma multiplicidade de invólucros rompíveis dispostos em proximidade a uma superfície do substrato, cada invólucro tendo um volume interno e um fluido eletricamente condutor disposto nos volumes internos dos respectivos invólucros da multiplicidade de invólucros; e detectar uma modificação no estado térmico do substrato que é indicativa do escape de fluido eletricamente condutor dos invólucros. De acordo com uma modalidade, a etapa de detectar uma modificação no estado térmico do substrato compreende realizar as seguintes etapas durante primeiro e segundo intervalos de tempo, que não se superpõem: (a) colocar uma bobina na

proximidade do substrato; (b) fazer com que corrente alternada flua através da bobina, enquanto a bobina está nas proximidades do substrato; (c) após o substrato ter sido aquecido em uma área durante a etapa (b) devido a correntes de Foucault induzidas no fluido eletricamente condutor pela corrente alternada na bobina, remover a bobina; e (d) após a bobina ter sido removida adquirir uma imagem térmica da área do substrato aquecido usando uma câmera formadora de imagem térmica. Preferivelmente, a etapa de detectar uma modificação no estado térmico do substrato compreende adicionalmente: comparar uma primeira imagem térmica adquirida durante o primeiro intervalo de tempo com uma segunda imagem térmica adquirida durante o segundo intervalo de tempo. O método pode compreender adicionalmente a exibição de uma imagem representando diferenças entre a primeira e segunda imagens térmicas.

[0013] Um outro aspecto é um método para monitorar uma estrutura quanto ao dano devido ao impacto por objeto contundente, compreendendo: colocar um circuito de identificação de radiofrequência e primeiro e segundo condutores elétricos em serpentina sobre um substrato, o primeiro e segundo condutores elétricos em serpentina tendo respectivos primeiros terminais conectados a respectivos terminais do circuito de identificação de radiofrequência e respectivos segundos terminais que não estão eletricamente conectados um ao outro; colocar uma multiplicidade de invólucros rompíveis sobre o primeiro e segundo condutores elétricos em serpentina, cada invólucro tendo um volume interno preenchido pelo menos parcialmente com fluido eletricamente condutor; e interrogar o circuito de identificação de radiofrequência transmitindo um sinal de radiofrequência através de um volume de espaço interceptado pelo circuito de identificação de radiofrequência, onde qualquer resposta à interrogação pelo circuito de identificação de radiofrequência terá uma frequência que é uma função de uma impedância de uma antena formada se o primeiro e segundo condutores

elétricos em serpentina estiverem eletricamente acoplados um ao outro pelo fluido eletricamente condutor liberado da multiplicidade de invólucros.

[0014] Um aspecto adicional do assunto descrito é um dispositivo indicador de impacto por objeto contundente, compreendendo: um substrato tendo uma superfície; uma primeira multiplicidade de invólucros rompíveis dispostos em proximidade à superfície do substrato, cada invólucro da primeira multiplicidade tendo um volume interno; um primeiro fluido tendo um primeiro nível de pH disposto nos volumes internos dos respectivos invólucros da primeira multiplicidade de invólucros; e uma camada de material sensível ao pH disposta adjacente a primeira multiplicidade de invólucros rompíveis. Este dispositivo indicador de impacto por objeto contundente pode compreender adicionalmente: uma segunda multiplicidade de invólucros rompíveis entremeados com a primeira multiplicidade de invólucros rompíveis, cada invólucro da segunda multiplicidade tendo um volume interno; e um segundo fluido tendo um segundo nível de pH, diferente do primeiro nível de pH, disposto nos volumes internos dos respectivos invólucros da segunda multiplicidade de invólucros.

[0015] Aspectos do assunto descrito incluem adicionalmente:

A1. Um dispositivo indicador de impacto por objeto contundente compreendendo:

um substrato compreendendo primeira e segunda superfícies; e
uma multiplicidade de invólucros rompíveis dispostos em proximidade à dita primeira superfície do dito substrato, os invólucros tendo um fluido eletricamente condutor disposto em um volume interno dos invólucros.

A2. O dispositivo indicador de impacto por objeto contundente conforme recitado em A1, onde ditos invólucros são microesferas ocas constituídas de material dielétrico.

A3. O dispositivo indicador de impacto por objeto contundente

conforme recitado em qualquer dentre A1 a A2, compreendendo adicionalmente uma camada de adesivo sobre a dita segunda superfície do dito substrato.

A4. O dispositivo indicador de impacto por objeto contundente conforme recitado em qualquer dentre A1 a A3, onde dito substrato é na forma de uma fita ou um aplique.

A5. O dispositivo indicador de impacto por objeto contundente conforme recitado em qualquer dentre A1 a A4, compreendendo adicionalmente:

primeiro e segundo condutores elétricos; e

um suprimento de tensão conectada aos ditos primeiro e segundo condutores elétricos,

onde ditos primeiro e segundo condutores elétricos são dispostos de um lado da dita primeira superfície do dito substrato e espaçados afastados de tal modo que dito primeiro e segundo condutores elétricos serão eletricamente acoplados um ao outro, por fluido eletricamente condutor liberado da dita multiplicidade de invólucros e não serão eletricamente acoplados um ao outro na ausência de fluido eletricamente condutor a partir da dita multiplicidade de invólucros.

A6. O dispositivo indicador de impacto por objeto contundente conforme recitado em A5, onde ditos primeiro e segundo condutores elétricos são em forma de serpentina.

A7. O dispositivo indicador de impacto por objeto contundente conforme recitado em qualquer dentre A5 a A6, compreendendo adicionalmente um medidor para medir uma magnitude da corrente elétrica fluindo através do dito primeiro condutor elétrico.

A8. O dispositivo indicador de impacto por objeto contundente conforme recitado em qualquer dentre A1 a A4, compreendendo adicionalmente:

primeiro e segundo condutores elétricos que não estão eletricamente acoplados um ao outro na ausência de fluido eletricamente condutor; e

um circuito de identificação de radiofrequência conectado aos ditos primeiro e segundo condutores elétricos,

onde ditos primeiro e segundo condutores elétricos são dispostos de um lado da dita primeira superfície do dito substrato e configurados e espaçados de tal modo que os ditos primeiro e segundo condutores elétricos podem ser eletricamente acoplados um ao outro na presença de fluido eletricamente condutor liberado a partir da dita multiplicidade de invólucros.

A9. O dispositivo indicador de impacto por objeto contundente conforme recitado em A8, onde dito circuito de identificação de radiofrequência compreende um transceptor acoplado aos ditos primeiro e segundo condutores elétricos e informação armazenada em memória não volátil que identifica univocamente dito circuito de identificação de radiofrequência.

A10. O dispositivo indicador de impacto por objeto contundente conforme recitado em A1 a A4, compreendendo adicionalmente:

primeira camada de material eletricamente condutor disposta sobre dita primeira superfície do dito substrato;

segunda camada de material eletricamente condutor sobrepondo-se à dita primeira camada de material eletricamente condutor com um espaço entre elas, dita multiplicidade de invólucros sendo dispostos no dito espaço; e

um suprimento de tensão conectada às ditas primeira e segunda camadas de material eletricamente condutor,

onde ditas primeira e segunda camadas de material eletricamente condutor são espaçadas afastadas de tal modo que ditas primeira

e segunda camadas de material eletricamente condutor serão eletricamente acopladas uma à outra quando molhadas pelo fluido eletricamente condutor liberado a partir da dita multiplicidade de invólucros e não serão eletricamente acopladas uma à outra na ausência de fluido eletricamente condutor a partir da dita multiplicidade de invólucros.

B1. Um dispositivo indicador de impacto por objeto contundente, compreendendo:

um substrato;

um condutor elétrico quebradiço disposto sobre ou embutido no dito substrato e tendo primeiro e segundo terminais;

um suprimento de tensão conectada aos ditos primeiro e segundo terminais do dito condutor elétrico quebradiço; e

um indicador de continuidade eletricamente conectado ao dito condutor elétrico quebradiço.

B2. O dispositivo indicador de impacto por objeto contundente conforme recitado em B1, onde dito condutor elétrico quebradiço possui uma configuração em serpentina ou espiral.

B3. O dispositivo indicador de impacto por objeto contundente conforme recitado em qualquer dentre B1 a B2, compreendendo adicionalmente:

uma multiplicidade de invólucros rompíveis dispostos em proximidade a uma superfície do dito substrato, ditos invólucros sendo distribuídos através de uma área abrangendo dito condutor elétrico quebradiço, cada invólucro tendo um volume interno; e

um fluido eletricamente condutor disposto nos volumes internos dos respectivos invólucros da dita multiplicidade de invólucros.

C1. Um método para monitorar uma estrutura quanto ao dano devido ao impacto por objeto contundente, compreendendo:

anexar um substrato a uma superfície da estrutura, o substrato

compreendendo uma multiplicidade de invólucros rompíveis aderidos a ele ou embutidas nele, cada invólucro tendo um volume interno, e um fluido eletricamente condutor disposto nos volumes internos dos respectivos invólucros da dita multiplicidade de invólucros; e

detectar uma modificação na condutividade elétrica do substrato.

C2. Método conforme recitado em C1, onde dita detecção de uma modificação na condutividade elétrica do substrato compreende:

colocar uma bobina em proximidade ao substrato;

fazer com que corrente alternada flua através da bobina durante o primeiro e segundo intervalos de tempo, uma magnitude da dita corrente alternada e uma distância separando a bobina do substrato sendo selecionado para induzir correntes de Foucault no substrato; e

medir qualquer diferença entre uma primeira impedância da bobina durante dito primeiro intervalo de tempo e uma segunda impedância da bobina durante dito segundo intervalo de tempo.

C3. Método conforme recitado em C2, onde dita detecção de uma modificação na condutividade elétrica do substrato compreende adicionalmente:

determinar se uma diferença entre ditas primeira e segunda impedâncias é maior que um limite especificado; e

efetuar uma inspeção não destrutiva na área da estrutura próxima à bobina, se dita diferença entre ditas primeira e segunda impedâncias for maior que o dito limite especificado.

D1. Um método para monitorar uma estrutura quanto ao dano devido ao impacto por objeto contundente, compreendendo:

anexar um substrato a uma superfície de uma estrutura, o substrato compreendendo uma multiplicidade de invólucros rompíveis dispostos em proximidade a uma superfície do substrato, cada invólucro tendo

um volume interno e um fluido eletricamente condutor disposto nos volumes internos dos respectivos invólucros da dita multiplicidade de invólucros; e

detectar uma modificação no estado térmico do substrato.

D2. O método conforme recitado em D1, onde dita detecção de uma modificação no estado térmico do substrato compreende executar as seguintes etapas durante o primeiro e segundo intervalos de tempo que não se superpõem:

(a) colocar uma bobina na proximidade do substrato;

(b) fazer com que corrente alternada flua através da bobina, enquanto a bobina está nas proximidades do substrato;

(c) após o substrato ter sido aquecido em uma área durante a etapa (b) devido a correntes de Foucault induzidas no fluido eletricamente condutor pela corrente alternada na bobina, remover a bobina; e

(d) após a bobina ter sido removida adquirir uma imagem térmica da área do substrato aquecido usando uma câmera formador de imagem térmica.

D3. Método conforme recitado em D2, onde dita detecção de uma modificação no estado térmico do substrato compreende adicionalmente:

comparar uma primeira imagem térmica adquirida durante dito primeiro intervalo de tempo, com uma segunda imagem térmica adquirida durante dito segundo intervalo de tempo.

D4. Método conforme recitado em D3, compreendendo adicionalmente exibir uma imagem representando diferenças entre ditas primeira e segunda imagens térmicas.

E1. Método para monitorar uma estrutura quanto ao dano devido ao impacto por objeto contundente, compreendendo:

colocar um circuito de identificação de radiofrequência e primeiro e segundo condutores elétricos em serpentina sobre um substrato, o primeiro e segundo condutores elétricos em serpentina tendo respectivos

primeiros terminais conectados eletricamente a respectivos terminais do circuito de identificação de radiofrequência e respectivos segundos terminais que não estão eletricamente conectados um ao outro;

colocar uma multiplicidade de invólucros rompíveis sobre o primeiro e segundo condutores elétricos em serpentina, cada invólucro tendo um volume interno preenchido pelo menos parcialmente com fluido eletricamente condutor; e

interrogar o circuito de identificação de radiofrequência transmitindo um sinal de radiofrequência através de um volume de espaço interceptado pelo circuito de identificação de radiofrequência,

onde qualquer resposta à interrogação pelo circuito de identificação de radiofrequência terá uma frequência que é uma função de uma impedância de uma antena formada se o primeiro e segundo condutores elétricos em serpentina estiverem eletricamente acoplados um ao outro pelo fluido eletricamente condutor liberado da multiplicidade de invólucros.

F1. Um dispositivo indicador de impacto por objeto contundente, compreendendo:

um substrato tendo uma superfície;

uma primeira multiplicidade de invólucros rompíveis dispostos em proximidade à dita superfície do dito substrato, cada invólucro da dita primeira multiplicidade tendo um volume interno;

um primeiro fluido tendo um primeiro nível de pH disposto nos volumes internos dos respectivos invólucros da dita primeira multiplicidade de invólucros; e

uma camada de material sensível ao pH disposta adjacente à dita primeira multiplicidade de invólucros rompíveis.

F2. O dispositivo indicador de impacto por objeto contundente conforme recitado em F1, compreendendo adicionalmente:

uma segunda multiplicidade de invólucros rompíveis

entremeadas com dita primeira multiplicidade de invólucros rompíveis, cada invólucro da dita segunda multiplicidade tendo um volume interno; e

um segundo fluido tendo um segundo nível de pH, diferente do dito primeiro nível de pH, disposto nos volumes internos dos respectivos invólucros da dita segunda multiplicidade de invólucros.

[0016] Outros aspectos de sistemas e métodos para monitorar ou indicar impactos por objeto contundentes de alta energia sobre estruturas, tal como uma aeronave, são descritos e reivindicados abaixo.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

[0017] A figura 1 é um diagrama representando uma vista lateral de uma fita indicadora de impacto por objeto contundente compreendendo microesferas rompíveis preenchidas com fluido eletricamente condutor, de acordo com algumas modalidades.

[0018] A figura 2 é um diagrama representando uma vista em corte de uma porção de uma fita indicadora de impacto por objeto contundente, de acordo com uma modalidade alternativa.

[0019] A figura 3 é um diagrama em blocos mostrando componentes de um aparelho para inspeção não destrutiva de uma estrutura usando uma sonda compreendendo uma bobina de indução para detectar perturbações do campo magnético causadas pela liberação de fluido eletricamente condutor a partir de microesferas ocas distribuídas sobre uma superfície ou em uma camada de superfície da estrutura.

[0020] A figura 4 é um diagrama em blocos mostrando componentes de um aparelho de exploração automatizada para inspeção não destrutiva de uma estrutura usando uma sonda compreendendo uma bobina de indução para detectar perturbações do campo magnético causadas pela liberação de fluido eletricamente condutor a partir de microesferas ocas distribuídas sobre uma superfície ou em uma camada de superfície da estrutura.

[0021] A figura 5 é um diagrama ilustrando o uso de uma bobina de indução para detectar perturbações causadas pela liberação de fluido eletricamente condutor a partir de microesferas ocas distribuídas em uma camada de superfície de uma estrutura.

[0022] A figura 6 é um diagrama mostrando componentes de um sistema para gerar correntes de Foucault em uma estrutura contendo microesferas preenchidas com fluido eletricamente condutor e capturar imagens térmicas antes e depois de um evento de impacto por objeto contundente, de acordo com uma modalidade alternativa.

[0023] As figuras 7A e 7B são diagramas representando vistas superiores de um sistema indicador de impacto por objeto contundente de acordo com uma outra modalidade, compreendendo um substrato revestido com microesferas rompíveis preenchidas com fluido eletricamente condutor, condutores elétricos que não estão eletricamente acoplados quando as microesferas estão intactas, e um suprimento de tensão. Figuras 7A mostra o sistema quando todas as microesferas estão intactas, enquanto a Figura 7B mostra o sistema após algumas microesferas terem sido rompidas e o fluido eletricamente condutor tiver sido liberado.

[0024] Figura 8 é um fluxograma mostrando etapas de um método para prover uma medida do nível (isto é, magnitude) e localização de um impacto por objeto contundente, sem indicação visual direta utilizando o sistema mostrado nas Figuras 7A e 7B.

[0025] A figura 9 é um diagrama representando uma vista superior de um indicador de impacto por objeto contundente compreendendo uma multiplicidade de chips RFID passivos de acordo com uma modalidade alternativa.

[0026] A figura 10 é um diagrama representando uma vista superior (com uma escala magnificada) de um chip RFID passivo do tipo incorporado no indicador de impacto por objeto contundente representado na Figura 9.

[0027] A figura 11 é um diagrama em blocos mostrando componentes de um sistema compreendendo um leitor RFID capaz de ler dados de impacto por objeto contundente armazenados em chips RFID ativos instalados sobre uma estrutura.

[0028] A figura 12 é um diagrama representando uma vista superior de um indicador de impacto por objeto contundente compreendendo uma matriz de condutores elétricos quebradiços (por exemplo, fios) de acordo com uma outra modalidade.

[0029] A figura 13 é um diagrama representando uma vista em corte do indicador de impacto por objeto contundente representado na Figura 12.

[0030] A figura 14 é um diagrama representando uma vista em corte de um indicador de impacto por objeto contundente compreendendo papel sensível a pH e microesferas ocas preenchidas com fluido tendo um nível de pH que produzirá uma mudança de cor que é visível sob iluminação normal ou outra iluminação (UV, IR, etc.) quando o fluido é liberado das microesferas rompidas.

[0031] A figura 15 é um diagrama representando uma vista em corte de uma porção de uma fita indicadora de impacto por objeto contundente, de acordo com uma modalidade adicional.

[0032] A figura 16 é um fluxograma de uma metodologia de produção e serviço de aeronave.

[0033] A figura 17 é um diagrama em blocos mostrando sistemas de uma aeronave.

[0034] Será feita agora referência aos desenhos nos quais elementos similares em desenhos diferentes levam os mesmos numerais de referência.

DESCRIÇÃO DETALHADA

[0035] Várias modalidades de indicadores de impacto por objeto contundente que empregam microesferas preenchidas com fluido, serão agora descritas em detalhe, somente para fins de ilustração. Estes indicadores de

impacto por objeto contundente podem ser aplicados sobre uma superfície de uma estrutura na forma de um substrato (por exemplo, uma fita ou um aplique) com um suporte adesivo. As microesferas podem ser aderidas ao substrato ou embutidas em um revestimento aplicado sobre o substrato.

[0036] Uma primeira modalidade ilustrativa de um indicador de impacto por objeto contundente do tipo precedente, é exibida esquematicamente na Figura 1. O indicador de impacto por objeto contundente compreende um substrato 2 tendo uma multiplicidade de microesferas ocas 6 fixadas e distribuídas sobre uma superfície de substrato 2 por meio de uma camada 4 de material adesivo (a seguir “camada adesiva 4”). Opcionalmente, as microesferas 6 são cobertas por uma camada de cobertura 52.

[0037] O substrato 2 pode tomar diferentes formas. Em alguns casos, o substrato 2 pode assumir a forma de uma fita compreendendo uma tira fina de material plástico. Em outros casos, o substrato pode assumir a forma de um aplique compreendendo uma folha fina de material plástico. Os termos “fita” e “aplique”, conforme usados aqui, referem-se respectivamente a substratos tendo diferentes faixas de largura, com a largura de uma fita sendo menor que a largura de um aplique. A fita ou aplique podem ser cortados para se ajustar e serem fixados à superfície de uma estrutura, por exemplo, uma aeronave.

[0038] Alternativamente, conforme mostrado na vista em corte da Figura 2, as microesferas 6 podem ser embutidas em um revestimento 51 aplicado na superfície exterior do substrato 2. A camada adesiva 4 é aderida a uma primeira superfície 2a do substrato 2, enquanto um suporte adesivo 10 é aderido a uma segunda superfície 2b do substrato 2. Opcionalmente, o substrato 2 pode compreender adicionalmente uma película de proteção (não mostrada) que cobre e protege o suporte adesivo 10 antes do substrato 2 ser aderido a uma superfície de uma estrutura (não mostrado nas Figuras 1 e 2).

[0039] Conforme visto na Figura 2, cada microesfera 6 compreende um invólucro 8 que contorna um volume interior quando o invólucro 8 está intacto. Cada invólucro 8 pode ser constituído de material dielétrico tendo uma força de ruptura especificada. Em algumas aplicações, os invólucros 8 podem ter aproximadamente a mesma força de ruptura; em outras aplicações, subgrupos de invólucros 8 diferentes podem apresentar diferentes características de força de ruptura.

[0040] Referindo-se ainda à Figura 2, o volume interior de cada invólucro 8 é preenchido (ou parcialmente preenchido) com fluido eletricamente condutor 20. Quando uma estrutura fundamental (não mostrada nas Figuras 1 e 2) à qual o indicador de impacto por objeto contundente é fixado, é submetida a um impacto por objeto contundente de magnitude suficiente para causar a ruptura de pelo menos alguns dos múltiplos invólucros 8, algum ou todo o fluido eletricamente condutor 20 será purgar, vazar ou de outro modo escapar dos invólucros rompidos para formar uma poça ou outra coleta de fluido na área do impacto por objeto contundente, para finalidades que serão descritas posteriormente.

[0041] Conforme representado na Figura 2, o dispositivo indicador de impacto por objeto contundente compreende preferivelmente uma multiplicidade de microesferas ocas 6 embaladas juntas. Os invólucros dielétricos 8 de microesferas 6 podem ser constituídas de vidro, plástico ou cerâmica. Entretanto, não é essencial para a prática da invenção que os invólucros 8 sejam esféricos. Outras estruturas ocas (isto é, não esféricas) podem ser empregadas. O fluido eletricamente condutor 20 pode ser qualquer base fluida adequada, incluindo, porém, não limitada a uma suspensão de grafite coloidal (por exemplo, uma preparação de grafite coloidal fina, pura em água), que pode ser diluída com outros aditivos (surfactantes, solventes, anti-congelantes, etc.) para satisfazer às exigências de um envelope ambiental particular.

[0042] A liberação do fluido eletricamente condutor 20 pode modificar o comportamento eletromagnético da estrutura na área do impacto por objeto contundente. Mais especificamente, o comportamento eletromagnético da estrutura após o fluido eletricamente condutor ter escapado das microesferas rompidas em uma área de impacto, diferirá do comportamento eletromagnético da mesma área, quando as microesferas estão intactas (em cujo caso os volumes individuais de fluido eletricamente condutor no interior das microesferas ocas são isolados um do outro pelos invólucros dielétricos intactos). Estas modificações nas propriedades eletromagnéticas devido ao impacto por objeto contundente podem ser detectadas de diferentes modos.

[0043] Figura 3 é um diagrama em blocos mostrando componentes de um aparelho para inspeção não destrutiva de uma estrutura usando uma sonda 80 compreendendo uma bobina de indução (não mostrada na Figura 3) conectada a uma fonte de alimentação 82 e a um sistema de detecção 84 que detecta perturbações do campo magnético causadas pela liberação de fluido eletricamente condutor das microesferas ocas 6 distribuídas sobre uma superfície ou em uma camada de superfície da estrutura inspecionada. A estrutura inspecionada pode ser uma cobertura sobre uma porção de uma aeronave, tal como uma fuselagem.

[0044] De acordo com uma modalidade, a sonda 80 é colocada em proximidade à área sendo inspecionada. Então, a fonte de alimentação 82 é ligada. A fonte de alimentação 82 gera uma corrente alternada a uma frequência especificada, cuja corrente alternada flui através da bobina de indução da sonda 80. As ondas de radiação eletromagnéticas resultantes emanadas da bobina, por sua vez induzem correntes de Foucault em quaisquer condutores elétricos próximos (por exemplo, qualquer fluido eletricamente condutor liberado de microesferas rompidas sobre uma superfície ou em uma camada de superfície da estrutura sendo inspecionada). Estas correntes de

Foucault, por sua vez, geram mais ondas de radiação eletromagnética, perturbando deste modo o campo magnético sendo produzido pela bobina através do acionamento da bobina de indução.

[0045] Referindo-se ainda à Figura 3, o sistema de detecção 84 pode compreender circuitos (por exemplo, um processador) configurado para quantificar a perturbação ou variação no campo magnético produzido pela bobina de indução. Em um exemplo, a perturbação ou modificação no campo magnético é detectada através de uma modificação na reatância indutiva da sonda 80. O sistema de detecção 84 pode incluir adicionalmente um visor para apresentar as modificações na reatância indutiva a partir de perturbações no campo magnético, de tal modo que um técnico pode visualizar aquelas modificações à medida que movimenta a sonda 80 ao longo de diferentes seções da estrutura sendo inspecionada.

[0046] No exemplo representado na Figura 3, a sonda 80 pode ser uma unidade portátil que é movimentada pelo técnico efetuando a inspeção. O sistema de detecção 84 pode ser um circuito eletrônico cabeado configurado ou um processador programado para converter modificações na reatância indutiva da sonda, depois das microesferas 6 terem sido rompidas, em sinais elétricos representando dados paramétricos que podem então ser comparados com dados paramétricos de referência, armazenados na memória, que foram previamente adquiridos quando as microesferas 6 estavam intactas, isto é, pré evento de impacto por objeto contundente.

[0047] A figura 4 mostra componentes de um aparelho de varredura automatizado para inspeção não destrutiva de uma estrutura usando uma sonda compreendendo uma bobina de indução. Novamente, a bobina de indução pode ser usada para detectar perturbações do campo magnético atribuíveis à presença de fluido eletricamente condutor vazado das microesferas 6 previamente distribuídas sobre uma superfície ou em uma camada de superfície da estrutura. Nesta modalidade, a sonda 80 é montada

no dispositivo de extremidade de um braço robótico 86 de um escâner 88. O sistema compreende adicionalmente um computador 90, que controla o escâner 88 e recebe dados de reatância indutiva da sonda 80 para apresentação em uma tela de exibição 92. O escâner 88 pode também prover uma fonte de alimentação para a sonda 80.

[0048] No exemplo representado na Figura 4, o computador 90 gera instruções para direcionar o movimento do braço 86 pelo escâner 88 através e em proximidade da área a ser inspecionada. A fonte de alimentação envia uma corrente elétrica alternada através da bobina de indução da sonda 80, a uma frequência especificada, para gerar um campo magnético variável que é intensificado e diminui à medida que a direção da corrente alterna. Novamente, o campo magnético gerado pela sonda 80 causa correntes de Foucault dentro de qualquer fluido eletricamente condutor liberado das microesferas 6, devido a um evento de impacto por objeto contundente, cujas correntes de Foucault, por sua vez, causam perturbações ou modificações no campo magnético sendo gerado pela sonda 80, à medida que se move em proximidade à área sendo inspecionada. Os resultados da exploração de diferentes seções da estrutura podem ser apresentados na tela de exibição 92. Esta exibição pode ser apresentada como um visor codificado em cores, no qual diferentes intensidades de campo magnético são exibidas em cores diferentes.

[0049] A sonda 80 pode ser projetada ou configurada para gerar campos magnéticos tendo um tamanho e intensidade selecionados. Em alguns exemplos, o tamanho e intensidade do campo magnético gerado pela sonda 80 pode ser configurado ou selecionado com base em um número de parâmetros diferentes, tal como a frequência da corrente alternada, as dimensões e geometria da bobina de sonda e o diâmetro do fio da bobina. Estes parâmetros e outros parâmetros também podem ser usados para selecionar ou gerar um campo magnético tendo uma forma especificada.

[0050] Figura 5 é um diagrama ilustrando o uso de uma bobina de indução 94 para gerar um campo magnético M_1 e então detectar uma perturbação de campo magnético M_2 devida à presença de uma poça ou outra coleção de fluido eletricamente condutor 96 que tenha escapado das microesferas rompidas (não mostradas) em uma área inspecionada. (Somente microesferas 6 intactas são mostradas na Figura 5, para evitar sobrecarregar a exibição de uma coleção de fluido eletricamente condutor 96 com invólucros rompidas). Em resposta à bobina de indução 94 ser acionada com uma corrente alternada, a bobina de indução 94 gera um campo magnético variável M_1 , que é indicado por um instante no tempo por meia dúzia de setas curvas tracejadas apontando para baixo na Figura 5. As correntes de Foucault induzidas no fluido eletricamente condutor 96, por sua vez, geram uma perturbação de campo magnético variável M_2 , que é indicada para o mesmo instante no tempo por meia dúzia de setas curvas tracejadas apontando para cima na Figura 5. A perturbação do campo magnético M_2 variará à medida que a bobina é movida através da área sendo inspecionada. As perturbações de campo magnético M_2 podem ser detectadas nas modificações na reatância indutiva da bobina de indução 94. Reatância é uma forma de oposição que componentes eletrônicos apresentam à passagem da corrente alternada, devido a capacitância ou indutância. Quando corrente alternada passa através de um componente que apresenta uma reatância, a energia é alternativamente armazenada e liberada de um campo magnético ou de um campo elétrico. No caso de um campo magnético, a reatância é indutiva.

[0051] A bobina de indução 94 exibida na Figura 5 pode ser usada em qualquer sistema dos tipos descritos acima com referência às Figuras 3 e 4. O fluido eletricamente condutor 96, quando disperso em um impacto por objeto contundente, pode ser detectado utilizando a bobina de indução 94. Os invólucros dielétricos das microesferas 6 podem ser projetadas com uma força de ruptura que é uma função de um limite de pressão especificado. Nesse

caso, o dispositivo indicador de impacto por objeto contundente é capaz de detectar qualquer impacto por objeto contundente que produza uma pressão além daquele limite. Utilizar uma bobina de indução para detectar eventos de impacto por objeto contundente tem o benefício de que nenhuma indicação do evento de impacto por objeto contundente é visível a um observador eventual. Ao invés disso, uma indicação elétrica pode ser transmitida a um dispositivo remoto acessível somente para o pessoal de manutenção e, nos casos em que a estrutura sendo inspecionada é uma aeronave, opcionalmente à tripulação do voo.

[0052] De acordo com uma implementação alternativa, a bobina de indução 94 pode ser parte de um aparelho de inspeção condutor portátil do tipo representado e descrito na Patente U.S. No. 7.312.608.

[0053] Figura 6 é um diagrama mostrando componentes de um sistema de acordo com uma modalidade alternativa. O método de medição implementado por este sistema compreende as etapas a seguir executadas antes e depois de um evento de impacto por objeto contundente: gerar correntes de Foucault em uma área de uma estrutura contendo microesferas preenchidas com fluido eletricamente condutor; remover o gerador de correntes de Foucault e então capturar imagens térmicas da área que tenha sido aquecida pelas correntes de Foucault. Para a finalidade de ilustração, figura 6 exibe o exame de uma porção de uma fuselagem de aeronave composta 132 tendo um aplique 96 (indicado por uma elipse tracejada) com microesferas ocas aderidas ou embutidas em um revestimento sobre uma superfície desta. Os meios eletricamente condutores nas microesferas ocas, quando dispersos no impacto, podem ser retratados usando uma bobina de radiofrequência (RF) de alta potência 134 para criar correntes de Foucault fortes o bastante para elevar a temperatura localmente, com o aumento de temperatura resultante sendo retratado utilizando uma câmera formadora de imagem térmica 136 (por exemplo, uma câmera de infravermelho). As

imagens resultantes podem ser exibidas em um monitor de exibição 140 que é eletricamente acoplado a um sistema de computador de aquisição de dados e controle 138, as variações de cor mostrando a área do impacto por objeto contundente.

[0054] O método formador de imagem térmica compreende colocar a bobina RF de alta potência 134 em proximidade ao aplique 96 e então ativando a bobina para gerar um campo eletromagnético. Frequências de excitação da bobina RF de alta potência 134 podem ser na faixa de 100 a 400 kHz. Esta faixa foi encontrada para criar um campo eletromagnético que penetra no material composto. É bem conhecido que correntes de Foucault são induzidas em um meio condutor por um campo eletromagnético variável. Por exemplo, um campo eletromagnético variável pode resultar do movimento relativo da bobina e do meio condutor; ou devido a variações do campo eletromagnético com o tempo. Quanto mais forte for o campo eletromagnético aplicado ou quanto maior a condutividade elétrica do meio condutor ou maior a velocidade relativa de movimento, maiores as correntes de Foucault desenvolvidas. Na aplicação exibida na Figura 6, as correntes de Foucault induzidas pelo campo eletromagnético variável serão diferentes, dependendo se qualquer área do aplique 96 tiver sido impactada ou não por um objeto por objeto contundente com pressão suficiente para ruptura das microesferas ocas na área de impacto. Como resultado, as correntes de Foucault na área de impacto serão mais fortes do que as correntes de Foucault fora da área de impacto. As diferenças nas intensidades das correntes de Foucault dentro e fora da área de impacto produzirão diferentes graus de aquecimento correspondentes. A corrente de excitação da bobina pode ser modulada por largura de pulso para permitir aquecimento controlado.

[0055] O método compreende adicionalmente formação de imagem térmica da área aquecida. Mais especificamente, uma imagem térmica do meio condutor é criada para revelar informação de estado eletromagnético

sobre o meio eletricamente condutor no aplique 96. Na modalidade exibida na Figura 6, a imagem térmica é gerada usando uma câmera formadora de imagem térmica 136. Em outras modalidades, a imagem térmica pode ser criada colocando um filme termográfico sobre a superfície do componente composto. O filme termográfico é sensível a temperatura e gera uma representação opticamente visualizável da área aquecida. Tal filme termográfico é descrito em detalhe na Patente U.S. No. 7.287.902.

[0056] Conforme mostrado na Figura 6, a bobina RF de alta potência 134 é energizada por um suprimento de alimentação controlável 142. Colocar a bobina RF de alta potência 134 energizada nas proximidades da superfície de revestimento composto da fuselagem 132 induz fluxo de corrente no aplique 96 e aquecimento local associado do aplique 96. A câmera formadora de imagem térmica 136 é direcionada na superfície de revestimento com um campo de exibição abrangendo todo ou parte do aplique 96, para permitir a gravação do gradiente térmico do aplique 96 aquecido, após a bobina RF de alta potência 134 ter sido removida. Um sistema de computador de aquisição de dados e controle 138 grava os dados da câmera formadora de imagem térmica 136 e provê controle do suprimento de alimentação controlável 142 para várias técnicas formadoras de imagem térmica, conforme será descrito em maior detalhe subsequentemente.

[0057] Para certas modalidades com processos formadores de imagem diferencial, as imagens iniciais (por exemplo, evento de impacto pré impacto por objeto contundente) e finais (por exemplo, evento de impacto pós impacto por objeto contundente) do aplique 96 são capturadas. Em cada situação, é aplicada potência à bobina RF de alta potência 134 e, em uma modalidade de operação manual, o inspetor/operador oscila a bobina RF de alta potência 134 sobre a área a ser inspecionada. O movimento desejado da bobina 134 e sua distância a partir da superfície de revestimento são dependentes do nível de potência, frequência de RF, forma e tamanho da bobina 134. O campo

eletromagnético da bobina gera indutivamente correntes de Foucault em algumas áreas eletricamente condutoras do aplique 96 e revestimento subjacente. As correntes de Foucault geradas nos materiais eletricamente condutores são de intensidade suficiente para gerar calor dependendo dos caminhos elétricos locais. A câmera formadora de imagem térmica 136 é usada para obter imagem relativa ao aquecimento antes e depois de um evento de impacto por objeto contundente. O aquecimento relativo é determinado para certas modalidades usando formação de imagem térmica diferencial, subtraindo os valores de imagem iniciais dos valores de imagem finais.

[0058] No sistema representado na Figura 6, a câmera formadora de imagem térmica 136 pode compreender uma câmera de infravermelho de arranjo de plano focal. As correntes induzidas produzidas pela bobina 134 constituem a técnica de excitação, gerando gradientes térmicos que revelam quaisquer diferenças no comportamento eletromagnético das respectivas áreas examinadas. O aquecimento pela corrente induzida pode ser gerado de uma maneira pulsada, no sentido de permitir o aquecimento controlado sem danificar a estrutura subjacente ao aplique 96. Em adição, o quadro capturado pela câmera formadora de imagem térmica 136 pode ser sincronizado (por uma unidade de sincronização 144 eletricamente acoplada ao sistema de computador de aquisição de dados e controle 138 e ao suprimento de alimentação controlável 142) com o pulso de corrente fornecido à bobina 134, de tal modo que pode ser obtida uma imagem antes da corrente ser pulsada e então capturada após a corrente ter sido pulsada. O sistema de computador de aquisição de dados e controle 138 é programado para controlar ambas câmera formadora de imagem térmica 136 e suprimento de alimentação controlável 142, bem como a armazenagem de dados a partir da câmera. A apresentação dos dados formadores de imagem térmica capturados é provida no monitor de exibição 140 e armazenada na memória para processamento adicional.

[0059] Em modalidades alternativas empregando um sistema automatizado, o movimento da bobina de indução é obtido utilizando dispositivo de posicionamento de três eixos com movimento ao longo da superfície de revestimento, excitação da bobina e formação de imagem térmica controlados pelo sistema de controle de computador, para sincronização dos dados.

[0060] Figuras 7A e 7B são diagramas representando vistas superiores de um sistema indicador de impacto por objeto contundente de acordo com qualquer outra modalidade, compreendendo um substrato 2 revestido com microesferas 6 rompíveis preenchidas com fluido eletricamente condutor, um par de condutores elétricos em serpentina 12 e 14 que não estão eletricamente acoplados um ao outro (indicado pelo circuito aberto 16) onde as microesferas 6 estão intactas, e um suprimento de tensão 18 (por exemplo, uma bateria). Os condutores elétricos 12, 14 podem compreender fios ou outros caminhos de corrente embutidos ou impressos no substrato 2. Figura 7A mostra o sistema quando todas as microesferas 6 estão intactas e a corrente através dos condutores elétricos 12, 14 é $I = 0$, enquanto a Figura 7B mostra o sistema após algumas microesferas terem sido rompidas e o fluido eletricamente condutor ter sido liberado para formar uma poça ou coleta 20 de fluido eletricamente condutor. Se a extensão da poça ou coleta 20 eletricamente condutora é suficiente para acoplar eletricamente os condutores elétricos 12 e 14 um ao outro, um circuito através dos terminais de potência e aterramento do suprimento de tensão 18 será fechado. A corrente elétrica $I = I_d$ fluindo através do circuito completo pode ser detectada por um amperímetro 60 (ou outro detector de corrente), que envia um sinal de alerta para um dispositivo de alerta 62, para indicar um impacto acima de um limite definido pela resistência do invólucro da microesfera.

[0061] De acordo com a Lei de Ohm, quando a diferença de potencial através dos terminais do suprimento de tensão 18 (isto é, a tensão no terminal)

é constante, a corrente elétrica I_d será inversamente proporcional à resistência do circuito completo. A resistência por sua vez é diretamente proporcional à extensão do circuito completo, o que significa que a corrente elétrica I_d será inversamente proporcional à extensão do circuito completo. Se as posições dos fios são mapeadas, então a localização do impacto pode ser determinada a partir do nível de corrente medido pelo amperímetro 60.

[0062] Figura 8 mostra um processo para prover uma medida do nível (isto é, magnitude) e localização de um impacto por objeto contundente, sem indicação visual direta, utilizando o sistema mostrado nas Figuras 7A e 7B. Quando um par de condutores elétricos é conectado aos terminais de um suprimento de tensão e não um ao outro, o estado de detecção é ligado (estado 22). Para fins de ilustração, será presumido que tenha ocorrido um impacto (evento 24). A resposta do sistema dependerá se o impacto está acima do limite para quebra da microesfera ou não, conforme indicado no bloco de decisão 26 na Figura 8. Se as microesferas não se romperam, então não é dada notificação (opção 28) e o estado de detecção permanece ligado (estado 22). Inversamente, se as microesferas tiverem se rompido, então o fluido eletricamente condutor dentro das microesferas ocas se dispersará em torno do local do impacto (evento 30). Se um volume suficiente de fluido eletricamente condutor tiver sido disperso, então o fluido eletricamente condutor criará um caminho de corrente entre os fios de potência e aterramento que formam os terminais de tensão (evento 32). A corrente elétrica resultante no circuito completo (isto é, malha) é detectada pelo detector de corrente (etapa 34), que emite um sinal 36 indicando que um impacto excedendo o limite ocorreu. Ainda mais, se as posições dos condutores elétricos (por exemplo, fios) tiverem sido mapeadas e se o detector de corrente é na forma de um amperímetro capaz de medir no nível de corrente no circuito completo, então aquele amperímetro emitirá um sinal indicando o nível de corrente para um processador de localização de impacto.

O processador de localização de impacto pode inserir o nível de corrente em uma tabela de pesquisa que determina a localização 40 do impacto em relação aos fios mapeados (etapa 38).

[0063] Um suprimento de tensão DC 18 (por exemplo, uma bateria que está fora da estrutura) é indicada nas Figuras 7A e 7B com um meio interno para sentir a corrente. O impacto completa o circuito entre os condutores elétricos em serpentina duplos 12 e 14. De outro modo, não há circuito e corrente medidos. Uma vez que a corrente alternada apresenta queda de tensão menor ao longo de uma linha do que a corrente contínua, um método mais eficiente seria conectar em um gerador AC de algum tipo que esteja fora da estrutura.

[0064] Figura 9 é um diagrama representando uma vista superior de um indicador de impacto por objeto contundente de acordo com uma modalidade alternativa. Este indicador de impacto por objeto contundente trabalha no mesmo princípio (isto é, rompendo microesferas para liberar fluido eletricamente condutor em um local de impacto, para completar um circuito elétrico) que a modalidade prévia exibida nas Figuras 7A e 7B, porém em uma escala menor. A modalidade exibida na Figura 9 compreende uma multiplicidade de chips RFID passivos 42a-42d aderidos e distribuídos ao longo de uma superfície de um substrato (isto é, uma fita ou um aplique). Microesferas ocas 6 múltiplas são aderidas ou embutidas em uma superfície do substrato, com respectivas diversas microesferas 6 sobrepostas aos respectivos chips RFID 42a-42d. Em resposta a um impacto por objeto contundente que produz pressão suficiente para romper as microesferas impactadas, as microesferas no local do impacto se romperão, liberando o fluido eletricamente condutor 20 em uma área que pode se superpor a um ou mais chips RFID 42a-42d.

[0065] Conforme representado na Figura 10, cada chip RFID passivo 42 compreende preferivelmente um circuito integrado RFID 64 conectado a

um par de condutores elétricos em serpentina 12 e 14 que, na ausência de fluido eletricamente condutor entre eles, não são conectados eletricamente um ao outro. Em resposta à liberação do fluido eletricamente condutor, os condutores elétricos 12 e 14 formam um circuito completo, habilitando estes condutores elétricos a servir como bobinas de antena para comunicação com um leitor RFID e bobinas sensoras para detectar áreas locais nos quais os impactos acima de um limite especificado ocorreram. O limite é preferivelmente uma função da força de ruptura dos invólucros das microesferas 8.

[0066] O circuito integrado RFID 64 executa as seguintes funções: armazenar e processar a informação, modular e demodular um sinal de radiofrequência (RF), coletar potência DC do sinal de leitor incidente e outras funções especializadas. Os condutores elétricos 12 e 14, quando eletricamente conectados pelo fluido eletricamente condutor, servem como uma antena para receber e transmitir sinais de RF. Informação de etiqueta RFID única é armazenada em uma memória não volátil para cada chip RFID. O circuito integrado RFID 64 inclui lógica de chips interligados ou um processador de dados programado ou programável para processar dados.

[0067] Embora a Figura 10 mostre uma modalidade na qual os condutores elétricos 12 e 14 sejam incorporados dentro do chip RFID passivo 42, é também possível ter os condutores elétricos 12 e 14 impressos na fita ou aplique aos quais os chips RFID são fixados. Indicadores de impacto por objeto contundente de acordo com esta modalidade alternativa podem prover mais cobertura usando menos chips RFID.

[0068] Na liberação do fluido eletricamente condutor a partir das microesferas ocas 8, os condutores elétricos 12 e 14 formarão um circuito completo da maneira previamente descrita com referência à Figura 7B. Novamente, a magnitude da corrente fluindo no circuito completo será inversamente proporcional à extensão do circuito completo. A resposta do

circuito integrado RFID 64 é modificada pelo fluido condutor liberado. Quando consultado, o chip RFID passivo 42 terá uma resposta de frequência diferente devido a uma impedância diferente nos condutores elétricos 12 e 14. Os condutores elétricos 12 e 14, quando eletricamente conectados, servem como a antena para comunicação com o outro dispositivo, tal como um leitor RFID. Uma mudança na impedância, devido ao cenário de impacto discutido, causará um deslocamento na resposta da antena que pode ser sentido.

[0069] De acordo com a modalidade exibida na Figura 9, cada chip RFID passivo 42a-42d é da variedade passiva. Quando um chip RFID passivo passa através do campo de uma antena de varredura, os condutores elétricos 12 e 14 (ver Figura 10) de um chip RFID passivo 42 captam sinais de RF emitidos pelas antenas de varredura e então retornam o sinal com alguns dados adicionais, tais como um número serial único ou outra informação personalizada. Mais especificamente, os condutores elétricos em serpentina 12 e 14 geram um campo eletromagnético a partir do qual o chip RFID drena potência, energizando deste modo seus circuitos. O transceptor do circuito RFID 64 então envia informação de identificação codificada e lida a partir da memória não volátil.

[0070] Alternativamente, os chips RFID podem ser do tipo ativo, significando que cada chip é energizado por seu próprio suprimento de tensão (por exemplo, uma bateria). Figura 11 mostra componentes de um sistema compreendendo um circuito integrado RFID 64 energizado por um suprimento de tensão 18 e um leitor RFID 66 capaz de receber dados de sensor transmitidos pelo circuito integrado RFID 64. Conforme descrito previamente, quando consultado pelo leitor RFID 66, um chip RFID aderente à estrutura monitorada dentro de uma área de impacto, apresentará uma resposta de frequência diferente devido a uma variação na impedância nos condutores elétricos 12 e 14. Os condutores elétricos 12 e 14, quando eletricamente conectados, servem como bobinas sensoras de impacto e uma

antena para comunicação com o leitor RFID 66. O leitor RFID 66 emite ondas rádio dependendo de sua saída de potência e da radiofrequência usada. Quando um chip RF com fluido eletricamente condutor liberado passa através da zona eletromagnética do leitor RFID 66, o circuito integrado RFID 64 detecta o sinal de ativação do leitor. O leitor RFID 66 decodifica os dados de identificação do chip codificados na memória não volátil do circuito integrado RFID 64 e aqueles dados de identificação do chip são passados (juntamente com dados representando a resposta de frequência modificada do chip RFID) para um computador principal para processamento. No caso em que diversos chips RFID são mapeados sobre uma fita ou aplique aderentes à estrutura, as identidades de quaisquer chips RFID tendo respostas de frequência indicativas de um impacto por objeto contundente podem ser processadas para determinar suas localizações e a extensão da área de impacto.

[0071] Um indicador de impacto por objeto contundente de acordo com uma modalidade alternativa é representado esquematicamente na Figura 12. Opcionalmente, este sistema indicador pode incorporar uma camada ou revestimento tendo uma multiplicidade de microesferas ocas 6 (preenchidas com fluido colorido) embutidas nela, para uma finalidade a ser descrita mais tarde. Na implementação ilustrada na Figura 12, um condutor elétrico em serpentina 44 constituído de material quebradiço (por exemplo, fio) é disposto no ou sobre um substrato 2 (por exemplo, uma fita ou um aplique), cujo substrato, por sua vez, é aplicado sobre uma superfície de uma estrutura a ser monitorada. Na alternativa, uma grade de condutores elétricos tendo alguma outra geometria (por exemplo, uma espiral) pode ser empregada.

[0072] Conforme mostrado na Figura 12, o condutor elétrico em serpentina 44 possui um par de terminais respectivamente conectado aos terminais de tensão de um suprimento de alimentação 50. Portanto, quando o condutor elétrico em serpentina 44 está completamente intacto, uma corrente elétrica flui através de um indicador de continuidade 49 por meio de

condutores elétricos 48, 44 e 46 (que são conectados em série). Em uma implementação, o indicador de continuidade 49 poderia ser tão simples quanto um bulbo de lâmpada ou LED ou mais complexo, como em um programa computadorizado que é ativado quando a tensão cai a partir da perda de continuidade.

[0073] Em resposta a um impacto por objeto contundente em uma área sobreposta ao condutor elétrico em serpentina 44, uma ou mais espiras do condutor elétrico em serpentina 44 pode estar rompida, em cujo caso a corrente elétrica cessará de fluir através do indicador de continuidade 49. Neste estado, o indicador de continuidade 49 indica ao técnico que um evento de impacto por objeto contundente ocorreu, mas não indica a localização ou extensão do local de impacto. Opcionalmente, se as microesferas 6 (preenchidas com fluido colorido tiverem sido distribuídas através da área ocupada pelo condutor elétrico em serpentina 44 antes de um impacto (conforme representado na vista em corte apresentada na Figura 13), qualquer impacto que exerça pressão suficiente também fará com que uma ou mais microesferas 6 se rompam, em cujo caso o fluido colorido liberado provê ao técnico uma indicação visual da localização e extensão do local do impacto.

[0074] De acordo com uma implementação alternativa, os condutores elétricos quebradiços podem tomar a forma de uma malha eletricamente condutora sobre um substrato aderido a uma estrutura. No caso de um impacto por objeto contundente de força suficiente para quebrar alguns dos condutores elétricos quebradiços, a área de ruptura pode ser detectada usando uma bobina de indução isoladamente ou em conjunto com uma câmera formadora de imagem térmica, conforme descrito previamente.

[0075] Figura 14 é um diagrama representando uma vista em corte de um indicador de impacto por objeto contundente usando microesferas preenchidas com fluido de acordo com outra modalidade. Neste caso, o indicador compreende: um substrato 2 (isto é, uma fita ou aplique) que será

aderido a uma superfície de uma estrutura a ser monitorada; uma multiplicidade de microesferas ocas 6 distribuídas em um revestimento ou camada de material (não mostrado) que é laminado para o substrato 2; uma folha de papel sensível a pH 54 que é laminada para o revestimento ou camada contendo microesferas 6 embutidas; e uma camada protetora transparente 52 que cobre e protege o papel sensível a pH 54. Em uma implementação, as microesferas ocas 6 são preenchidas com fluido tendo um nível de pH que produzirá uma modificação de cor no papel sensível a pH 54, que é visível sob iluminação normal ou outra iluminação (UV, IR, etc.) quando o fluido é liberado das microesferas rompidas. Se os invólucros das microesferas 6 apresentam a mesma força de ruptura, então a porção do papel sensível a pH 54 que muda de cor indicará a localização e extensão de uma área na qual a pressão exercida no impacto excede um limite correspondente à força de ruptura.

[0076] De acordo com uma implementação alternativa, os invólucros das microesferas ocas 6 podem apresentar diferentes forças de ruptura e serem preenchidas com os fluidos tendo níveis de pH diferentes. Por exemplo, uma primeira multiplicidade de microesferas tendo uma força de ruptura relativamente baixa pode ser preenchida com fluido tendo um primeiro nível de pH e uma segunda multiplicidade de microesferas tendo uma força de ruptura relativamente alta pode ser preenchida com fluido tendo um segundo nível de pH diferente do primeiro nível de pH. Se o indicador é submetido a um impacto suficiente para romper a primeira multiplicidade de microesferas, porém não romper a segunda multiplicidade de microesferas, então somente fluido tendo primeiro nível de pH será liberado, fazendo deste modo com que o papel sensível a pH 54 mude a coloração de sua cor original para uma primeira cor. Se o indicador é submetido a um impacto suficiente para romper a primeira e segunda multiplicidades de microesferas, então fluido tendo o primeiro nível de pH e fluido tendo o segundo nível de pH serão liberados,

fazendo deste modo com que o papel sensível a pH 54 mude a coloração de sua cor original para uma segunda cor diferente da segunda cor.

[0077] Em algumas modalidades, variações na resistência de ruptura (isto é, força de ruptura) dos invólucros de microesferas podem ser obtidas variando a espessura das paredes nas respectivas multiplicidades de microesferas. Nos exemplos dados acima, a espessura da parede das microesferas da primeira multiplicidade pode ser menor que a espessura da parede das microesferas da segunda multiplicidade. Em outras modalidades, variações na resistência de ruptura dos invólucros de microesferas podem ser obtidas usando métodos alternativos ou técnicas conhecidas pelos especialistas na técnica. Então, o fluido liberado pode marcar a localização e indicar a magnitude da força de impacto por objeto contundente que foi aplicada à superfície.

[0078] Para o caso em que especificamente não se deseja que a indicação do impacto por objeto contundente seja prontamente visível, as microesferas podem ser preenchidas com corantes UV claros ou IR fluorescente que, quando liberados, não são visíveis a olho nu, porém podem ser encontrados usando luz UV ou IR. De acordo com uma outra modalidade, um fluido claro está contido dentro das microesferas, cujo fluido claro, quando liberado, somente se torna visível quando ativado quimicamente por um pulverizador desenvolvidor aplicado pelo inspetor. De acordo com uma modalidade alternativa, as microesferas contêm pelo menos dois líquidos separados que reagem quando entram em contato um com o outro, criando um indicador colorido.

[0079] Figura 15 é um diagrama representando uma vista em corte de uma porção de uma fita indicadora de impacto por objeto contundente de acordo ainda com outra modalidade. Uma multiplicidade de microesferas ocas 6, preenchida com fluido eletricamente condutor, é embutida em uma camada de material dielétrico (não mostrada), cuja camada dielétrica é sanduichada

entre um par de camadas eletricamente condutoras confrontando-se mutuamente 56 e 58, que formam um grande capacitor. As camadas eletricamente condutoras 56 e 58 são respectivamente eletricamente acopladas aos terminais de tensão de um suprimento de alimentação 50 e aos respectivos terminais de um indicador de continuidade 49 por meio de condutores elétricos 46 e 48. Quando as microesferas 6 permanecem intactas, não haverá corrente elétrica fluindo a partir de uma das camadas eletricamente condutoras 56 ou 58 para a outra camada, devido à ausência de fluido eletricamente condutor no espaço separando as camadas eletricamente condutoras 56 e 58. Inversamente, se o número de microesferas rompidas durante um impacto por objeto contundente é suficiente para liberar fluido eletricamente condutor suficiente para abrir caminho para as camadas eletricamente condutoras 56 e 58, então a corrente elétrica pode fluir a partir de uma das camadas eletricamente condutoras 56 ou 58 para a outra. Este fluxo de corrente elétrica, indicativo de um impacto por objeto contundente, acionará o indicador de continuidade 49. Conforme notado previamente, o indicador de continuidade 49 pode ser um bulbo luminoso ou LED ou pode ser um programa computadorizado que é ativado quando a corrente elétrica flui através do circuito completado.

[0080] De acordo com modalidades alternativas que evitam indicações que sejam prontamente visíveis por um observador ocasional, as microesferas podem ser preenchidas com corantes UV claro ou IR fluorescente que são liberados e não são visíveis a olho nu, mas podem ser encontrados usando luz UV ou IR; ou podem ser preenchidos com um fluido que, quando liberado, somente se torna visível quando ativado quimicamente por um pulverizador desenvolvidor aplicado pelo inspetor.

[0081] De acordo com uma modalidade alternativa adicional, as microesferas podem ser preenchidas com pelo menos dois líquidos que são separados antes da ruptura da microesfera e então reagem um com o outro

quando trazidos em contato um com o outro, deste modo criando um indicador colorido (isto é, visível).

[0082] Cada um dos sistemas e métodos descritos acima pode ser empregado em um método de fabricação e serviço de aeronave 100 conforme mostrado na Figura 16 para monitorar ou indicar impactos por objeto contundentes de alta energia sobre uma aeronave 102, conforme mostrado na Figura 17. Durante a pré-produção, o método típico 100 pode incluir especificação e projeto 104 da aeronave 102 e aquisição de material 106. Durante a produção, a fabricação de componente e subconjunto 108 e integração de sistema 110 da aeronave 102 têm lugar. Posteriormente, a aeronave 102 pode entrar na certificação e fornecimento 112 no sentido de ser colocado em serviço 114. Enquanto em serviço por um usuário, a aeronave 102 é programada para manutenção de rotina e serviço 116 (que pode também incluir modificação, reconfiguração, remodelação e assim por diante).

[0083] Cada um dos processos do método 100 pode ser executado ou realizado por um integrador de sistema, uma terceira parte e/ou um operador (por exemplo, um usuário). Para as finalidades desta descrição, um integrador de sistema pode incluir, sem limitação, qualquer número de fabricantes de aeronave e subcontratados do sistema principal; uma terceira parte pode incluir sem limitação qualquer número de vendedores, subcontratados e fornecedores; e um operador pode ser uma linha aérea, companhia de leasing, entidade militar, organização de serviço e assim por diante.

[0084] Conforme mostrado na Figura 17, a aeronave 102 produzida pelo método típico 100 pode incluir uma fuselagem 118 com diversos sistemas 120 e um interior 122. Exemplos de sistemas de alto nível 120 incluem um ou mais dos seguintes: um sistema de propulsão 124, um sistema elétrico 126, um sistema hidráulico 128 e um sistema de controle ambiental 130. Qualquer número de outros sistemas pode ser incluído.

[0085] Os sistemas e métodos aqui realizados podem ser empregados durante um ou mais dos estágios do método de fabricação e serviço de aeronave 100. Também, uma ou mais modalidades de sistema, modalidades de método ou uma combinação destas pode ser usada durante os estágios de produção 108 e 110, por exemplo, provendo uma medida da magnitude e localização de um impacto por objeto contundente de alta energia sobre uma peça de trabalho durante o processo de montagem de uma aeronave 102. Similarmente, um ou mais das modalidades de sistema, modalidades do método ou uma combinação destas pode ser utilizada enquanto a aeronave 102 está em serviço, por exemplo, e sem limitação, durante manutenção e serviço 116.

[0086] Embora sistemas e métodos tenham sido descritos com referência a várias modalidades, será entendido pelos especialistas na técnica que várias modificações podem ser feitas e equivalentes podem ser substituídos por elementos destas, sem se afastar dos ensinamentos aqui apresentados. Em adição, muitas modificações podem ser feitas para adaptar os conceitos e reduções para a prática aqui descrita para uma situação particular. Consequentemente, é pretendido que o assunto coberto pelas reivindicações não seja limitado às modalidades descritas.

[0087] As reivindicações do método relatadas a seguir não deveriam ser interpretadas como requerendo que as etapas recitadas aqui sejam executadas em ordem alfabética (alguma ordenação alfabética nas reivindicações é usada somente para a finalidade de referenciar etapas previamente recitadas) ou na ordem na qual são recitadas. Nem deveriam ser interpretadas como excluindo quaisquer porções de duas ou mais etapas sendo executadas concorrentemente ou alternadamente.

[0088] Conforme usado nas reivindicações, a frase “disposta em proximidade a uma superfície de um substrato” em conexão com microesferas, deveria ser interpretada como abrangendo pelo menos as

seguintes espécies: (1) anexar microesferas à superfície; e (2) embutir microesferas em um revestimento que é aplicado sobre a superfície.

REIVINDICAÇÕES

1. Dispositivo indicador de impacto por objeto contundente, caracterizado pelo fato de que compreende:

um substrato (2) compreendendo primeira e segunda superfícies; e

uma multiplicidade de invólucros rompíveis (8) dispostos em proximidade à primeira superfície (52) do substrato (2), os invólucros (8) tendo um fluido eletricamente condutor (20) disposto em um volume interno dos invólucros;

uma antena compreendendo primeiro e segundo condutores elétricos (12, 14) que não estão eletricamente ligados um ao outro na ausência de fluido eletricamente condutor; e

um circuito de identificação de rádio frequência (64) compreendendo um transceptor conectado aos primeiro e segundo condutores elétricos (12, 14),

em que os primeiro e segundo condutores elétricos (12, 14) são dispostos em um lado da primeira superfície do substrato (2) e configurados e espaçados de modo que os primeiro e segundo condutores elétricos (12, 14) possam estar eletricamente ligados um ao outro na presença de fluido eletricamente condutor (20) liberado a partir da multiplicidade de invólucros (8),

em que qualquer resposta transmitida pelo transceptor terá uma frequência que é função de uma impedância da antena formada quando primeiro e segundo condutores elétricos em serpentina são eletricamente ligados um ao outro por fluido eletricamente condutor (20) que escapa da multiplicidade de invólucros (8).

2. Dispositivo, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que os invólucros (8) são microesferas ocas (6) constituídas de material dielétrico.

3. Dispositivo, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de compreender adicionalmente uma camada de adesivo na segunda superfície do substrato.

4. Dispositivo, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o substrato (2) está na forma de uma fita ou um aplique.

5. Dispositivo, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que os primeiro e segundo condutores elétricos são serpentinas.

6. Dispositivo, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o circuito de identificação de rádio frequência compreende adicionalmente memória não volátil que armazena informação que identifica univocamente o circuito de identificação de rádio frequência.

7. Dispositivo indicador de impacto por objeto contundente, caracterizado pelo fato de que compreende:

um substrato (2);

um condutor elétrico quebradiço (44) disposto sobre ou embutido no substrato (2) e tendo primeiro e segundo terminais;

um suprimento de tensão (18) conectado aos primeiro e segundo terminais do condutor elétrico quebradiço (44);

um indicador de continuidade (49) eletricamente conectado ao condutor elétrico quebradiço (44);

uma multiplicidade de invólucros rompíveis (8) dispostos em proximidade a uma superfície (52) do substrato (2), os invólucros (8) sendo distribuídos sobre uma área que abrange o condutor elétrico quebradiço, cada invólucro tendo um volume interno; e

um fluido eletricamente condutor disposto nos volumes internos de invólucros respectivos da multiplicidade de invólucros.

8. Dispositivo, de acordo com a reivindicação 7, caracterizado pelo fato de que o condutor elétrico quebradiço possui uma serpentina ou

configuração em espiral.

9. Método para monitorar uma estrutura quanto ao dano devido ao impacto por objeto contundente, caracterizado pelo fato de que compreende:

anexar um substrato (2) a uma superfície da estrutura, o substrato (2) compreendendo uma multiplicidade de invólucros rompíveis (8) aderidos a ele ou embutidos nele, cada invólucro tendo um volume interno, e um fluido eletricamente condutor (20) disposto nos volumes internos dos respectivos invólucros da multiplicidade de invólucros (8); e

detectar uma modificação na condutividade elétrica do substrato,

em que a detecção de uma modificação na condutividade elétrica do substrato compreende:

colocar uma bobina (94) em proximidade ao substrato;

fazer com que corrente alternada flua através da bobina durante primeiro e segundo intervalos de tempo, a magnitude da corrente alternada e a distância separando a bobina do substrato sendo selecionadas para induzir correntes de Foucault no substrato; e

medir qualquer diferença entre uma primeira impedância da bobina durante o primeiro intervalo de tempo e uma segunda impedância da bobina durante o segundo intervalo de tempo.

10. Método, de acordo com a reivindicação 9, caracterizado pelo fato de que a detecção de uma modificação na condutividade elétrica do substrato compreende adicionalmente:

determinar se uma diferença entre as primeira e segunda impedâncias é maior que um limiar especificado; e

realizar inspeção não destrutível na área da estrutura à qual a bobina está em proximidade, se a diferença entre as primeira e segunda impedâncias for maior que o limiar especificado.

11. Método para monitorar uma estrutura quanto ao dano devido ao impacto por objeto contundente, caracterizado pelo fato de que compreende:

anexar um substrato (2) a uma superfície de uma estrutura, o substrato compreendendo uma multiplicidade de invólucros rompíveis (8) dispostos em proximidade a uma superfície do substrato, cada invólucro tendo um volume interno, e um fluido eletricamente condutor (20) disposto nos volumes internos dos respectivos invólucros da multiplicidade de invólucros; e detectar uma modificação no estado térmico do substrato.

12. Método, de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato de que a detecção de uma modificação no estado térmico do substrato compreende realizar as seguintes etapas durante primeiro e segundo intervalos de tempo que não se sobrepõem:

- (a) colocar uma bobina em proximidade ao substrato (2);
- (b) fazer com que corrente alternada flua através da bobina (94) enquanto a bobina estiver em proximidade ao substrato (2);
- (c) após o substrato (2) ter sido aquecido em uma área durante a etapa (b) devido a correntes de Foucault induzidas no fluido eletricamente condutor (20) pela corrente alternada na bobina, remover a bobina (94); e
- (d) após a bobina ser removida, capturar uma imagem térmica da área do substrato aquecido usando uma câmera de imagem térmica.

13. Método, de acordo com a reivindicação 12, caracterizado pelo fato de que a detecção de uma modificação no estado térmico do substrato compreende adicionalmente:

comparar uma primeira imagem térmica capturada durante o primeiro intervalo de tempo com uma segunda imagem térmica capturada durante o segundo intervalo de tempo.

14. Método, de acordo com a reivindicação 13, caracterizado pelo fato de compreender adicionalmente exibir uma imagem representando

diferenças entre as primeira e segunda imagens térmicas.

15. Método para monitorar uma estrutura quanto ao dano devido ao impacto por objeto contundente, caracterizado pelo fato de que compreende:

colocar um circuito de identificação de radiofrequência (64) e primeiro e segundo condutores elétricos em serpentina sobre um substrato (2), os primeiro e segundo condutores elétricos em serpentina tendo respectivos primeiros terminais eletricamente conectados a respectivos terminais do circuito de identificação de radiofrequência e respectivos segundos terminais que não estão eletricamente conectados um ao outro;

colocar uma multiplicidade de invólucros rompíveis (8) sobre os primeiro e segundo condutores elétricos em serpentina, cada invólucro tendo um volume interno preenchido pelo menos parcialmente com fluido eletricamente condutor (20); e

interrogar o circuito de identificação de radiofrequência (64) transmitindo um sinal de radiofrequência através de um volume de espaço interseccionado pelo circuito de identificação de radiofrequência,

onde qualquer resposta à interrogação pelo circuito de identificação de radiofrequência (64) terá uma frequência que é uma função de uma impedância de uma antena formada se o primeiro e segundo condutores elétricos em serpentina estiverem eletricamente acoplados um ao outro pelo fluido eletricamente condutor (20) liberado da multiplicidade de invólucros (8).

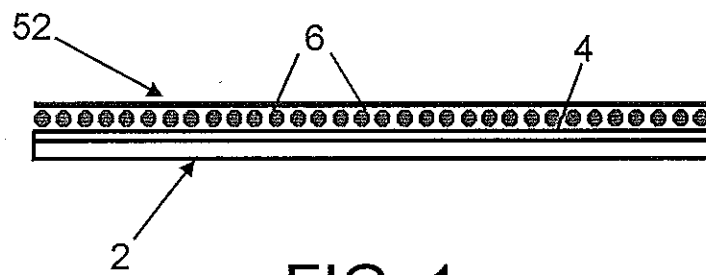


FIG. 1

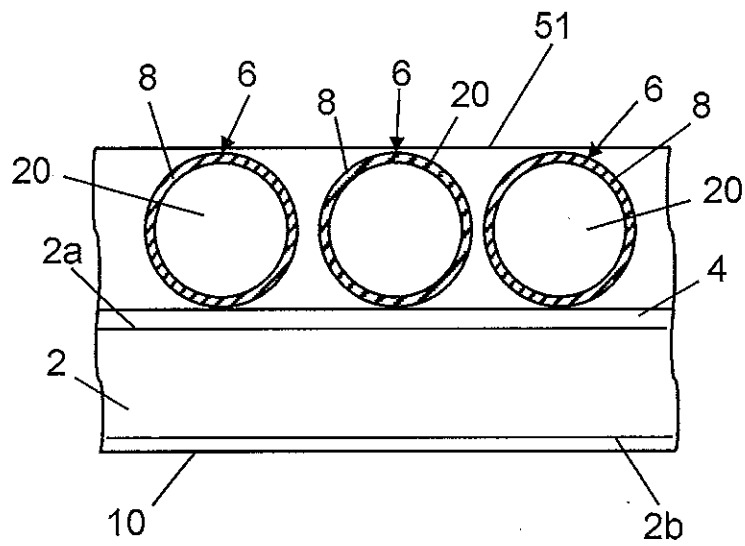


FIG. 2

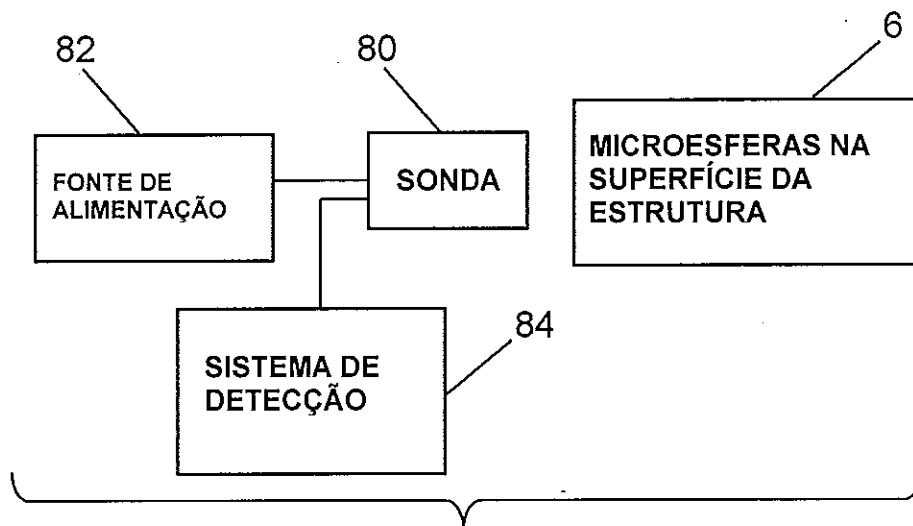


FIG. 3

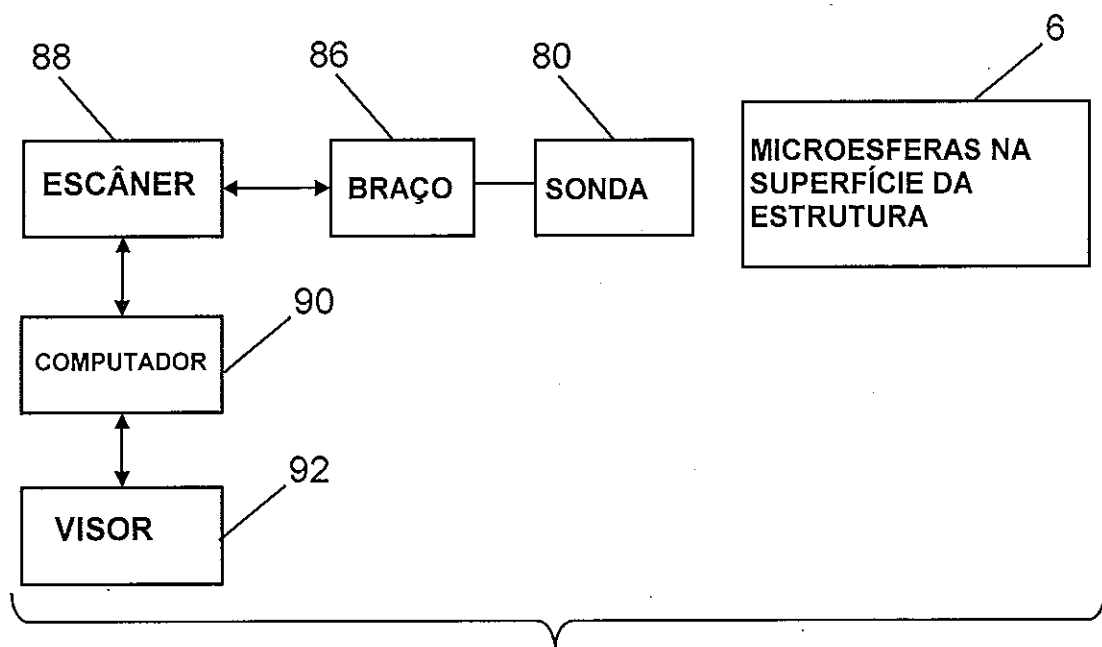
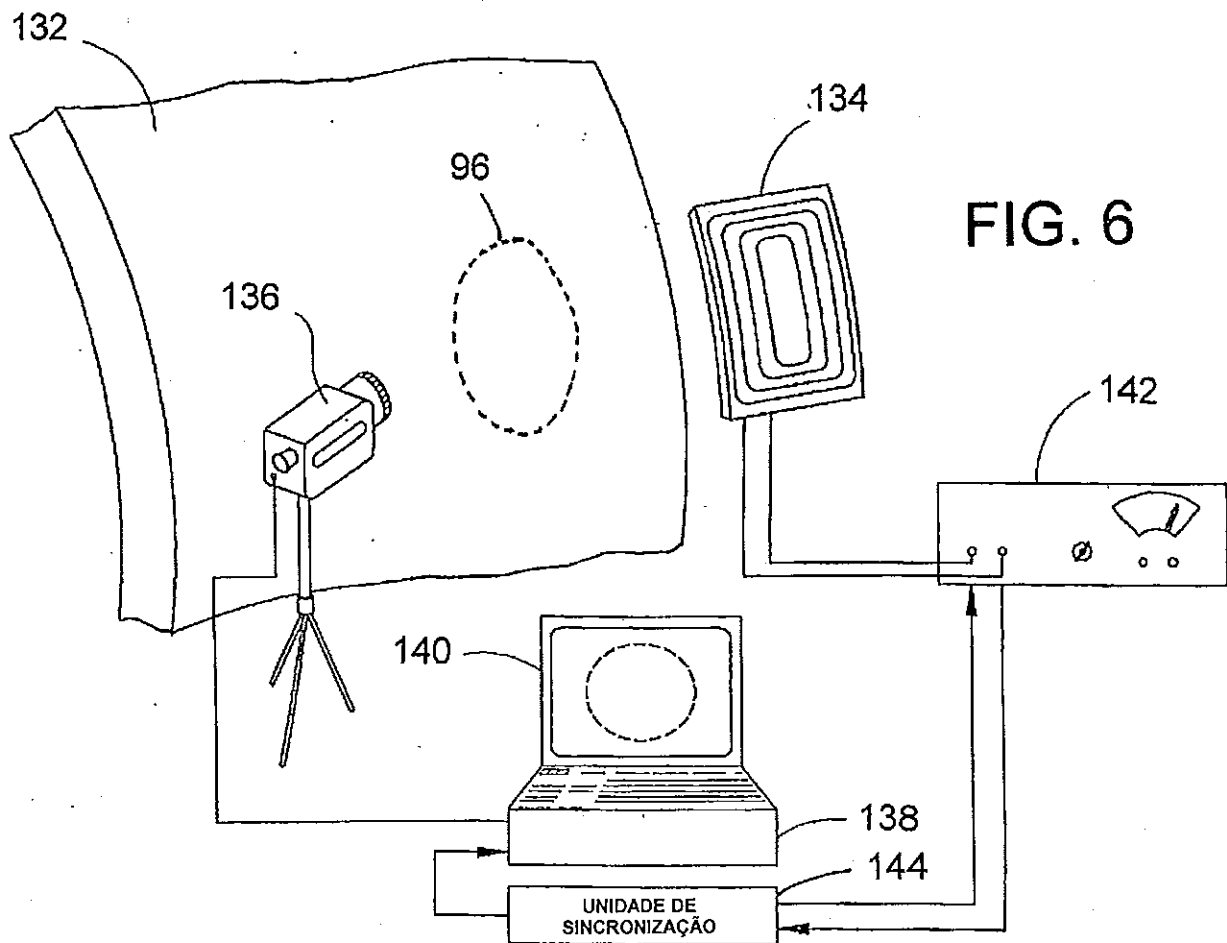
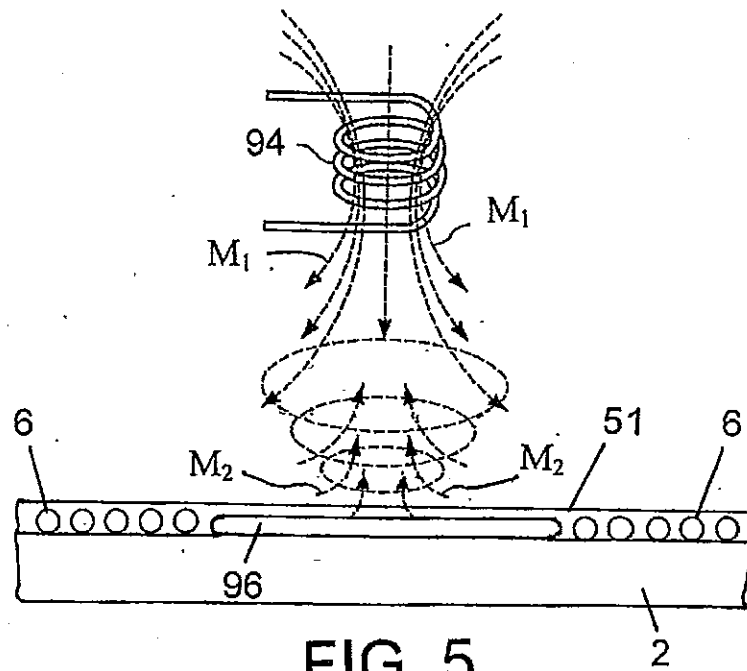


FIG. 4



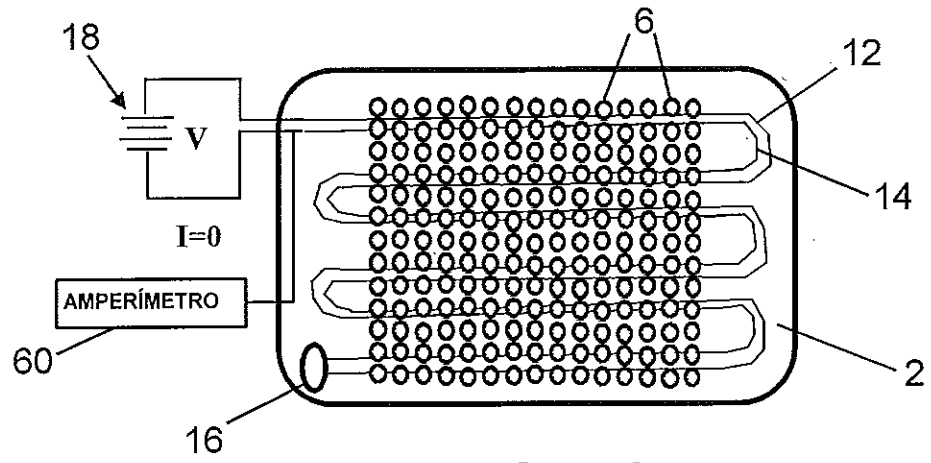


FIG. 7A

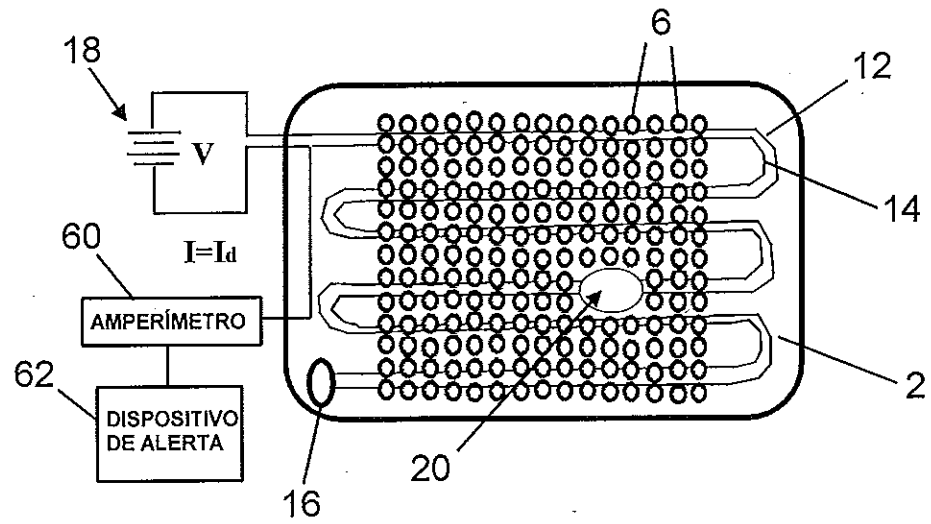


FIG. 7B

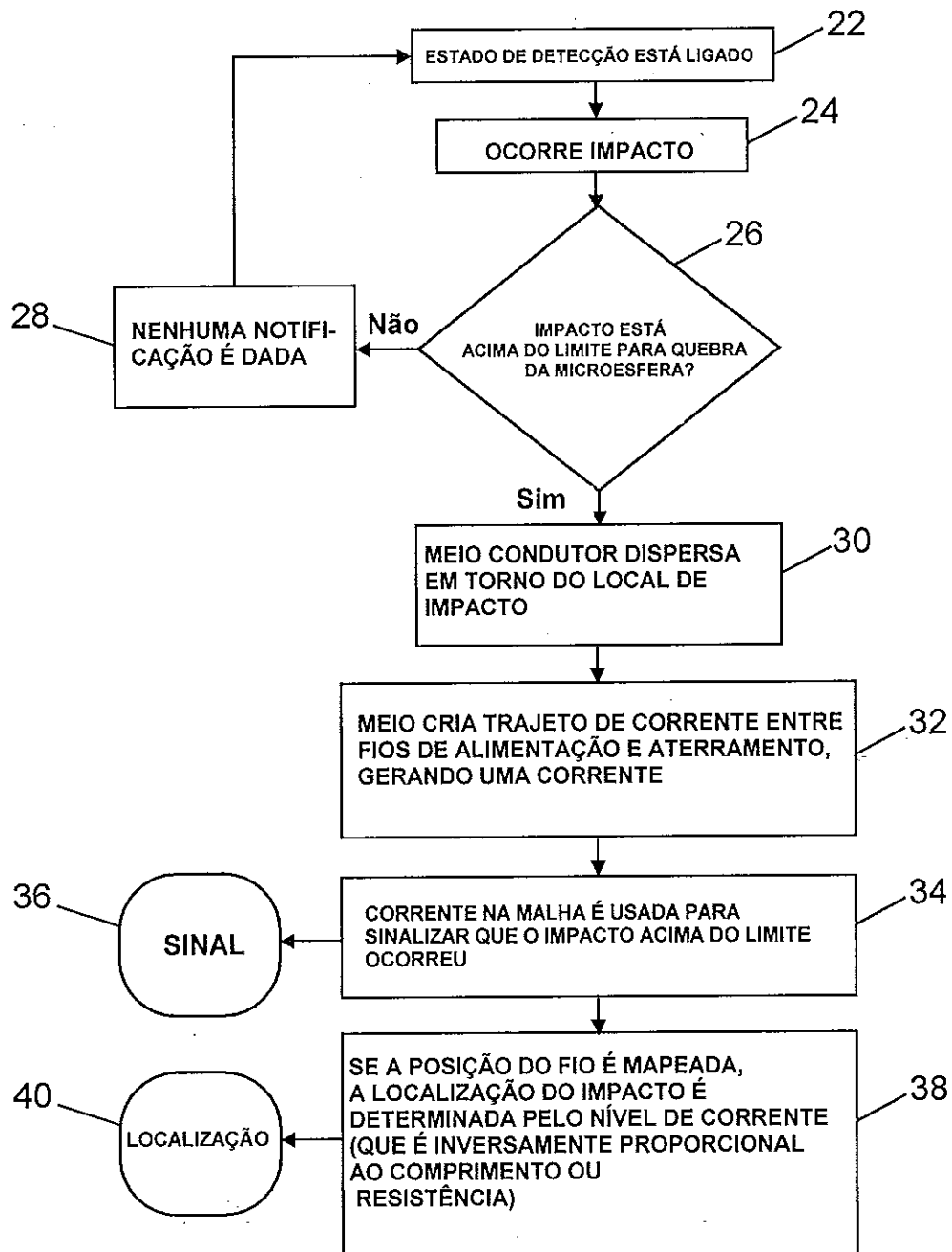


FIG. 8

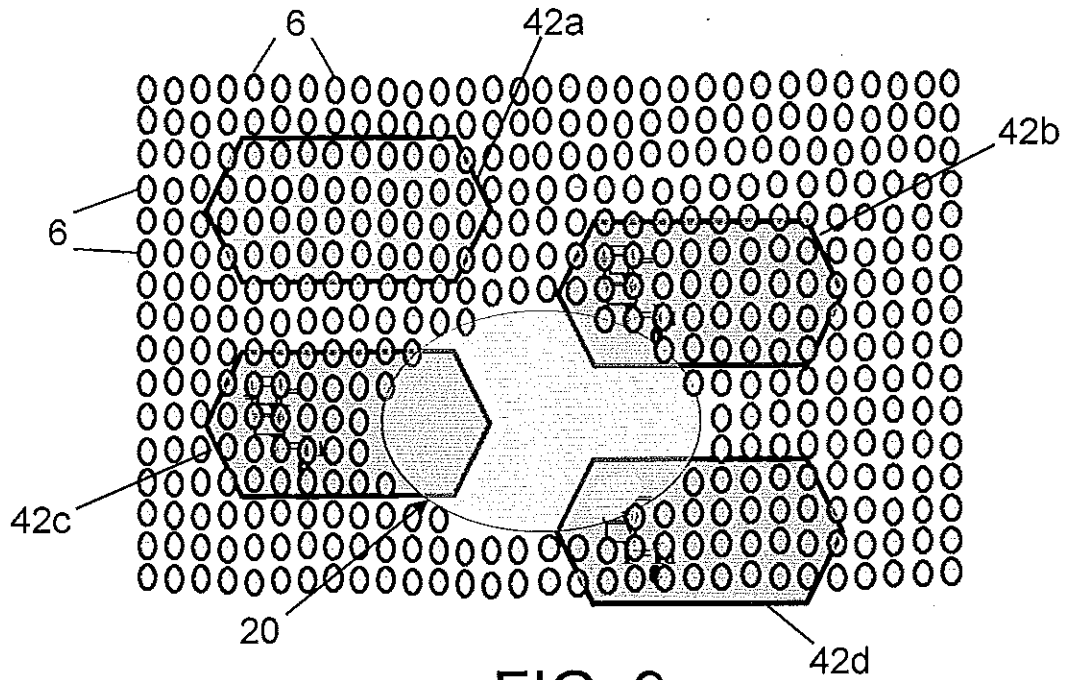


FIG. 9

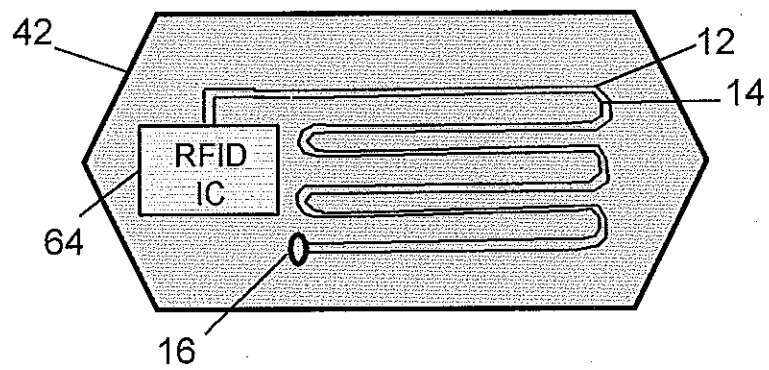


FIG. 10

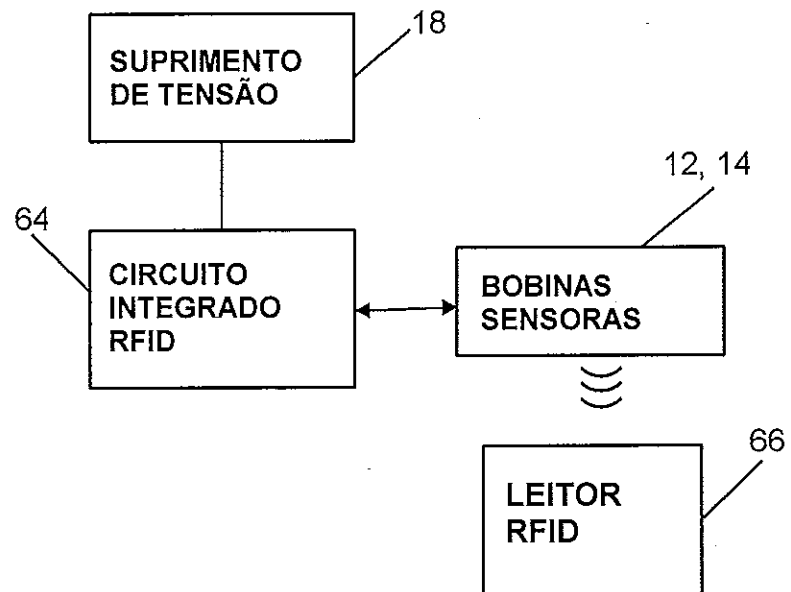
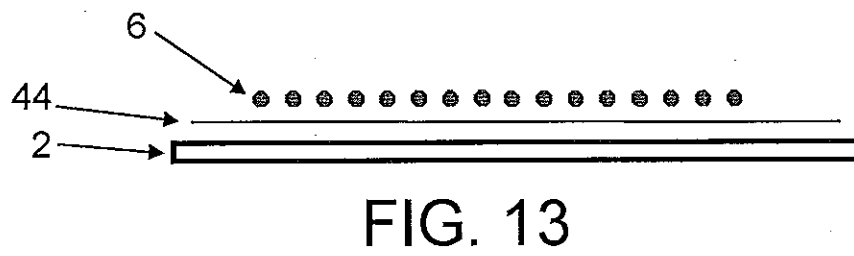
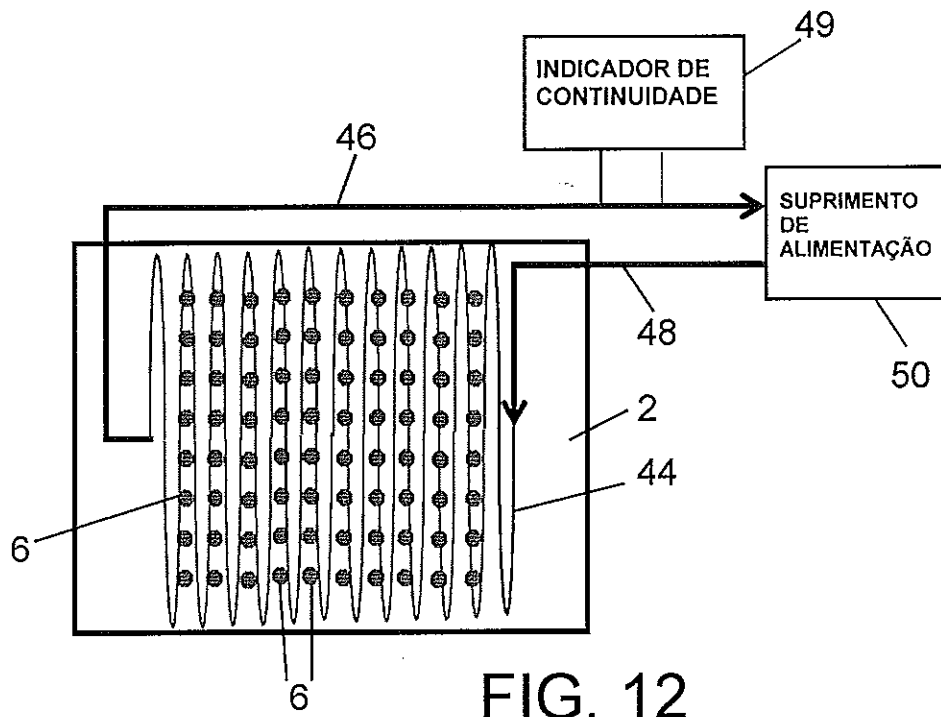


FIG. 11



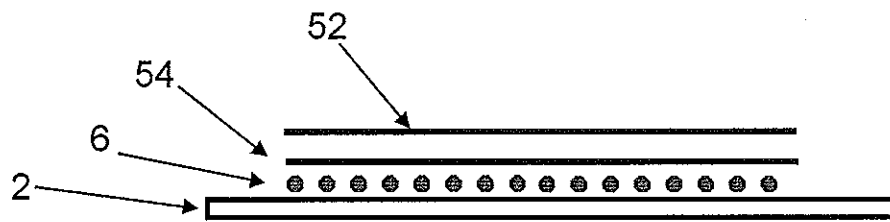


FIG. 14

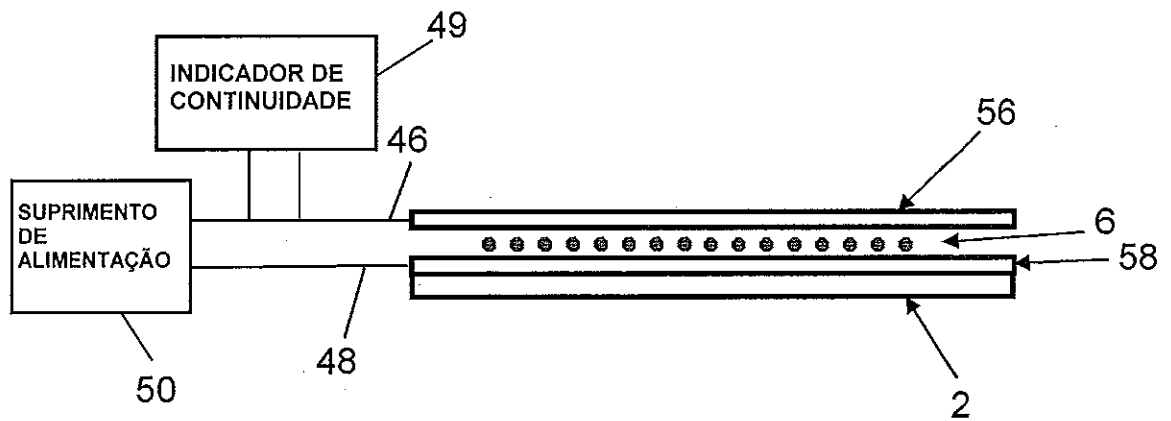


FIG. 15

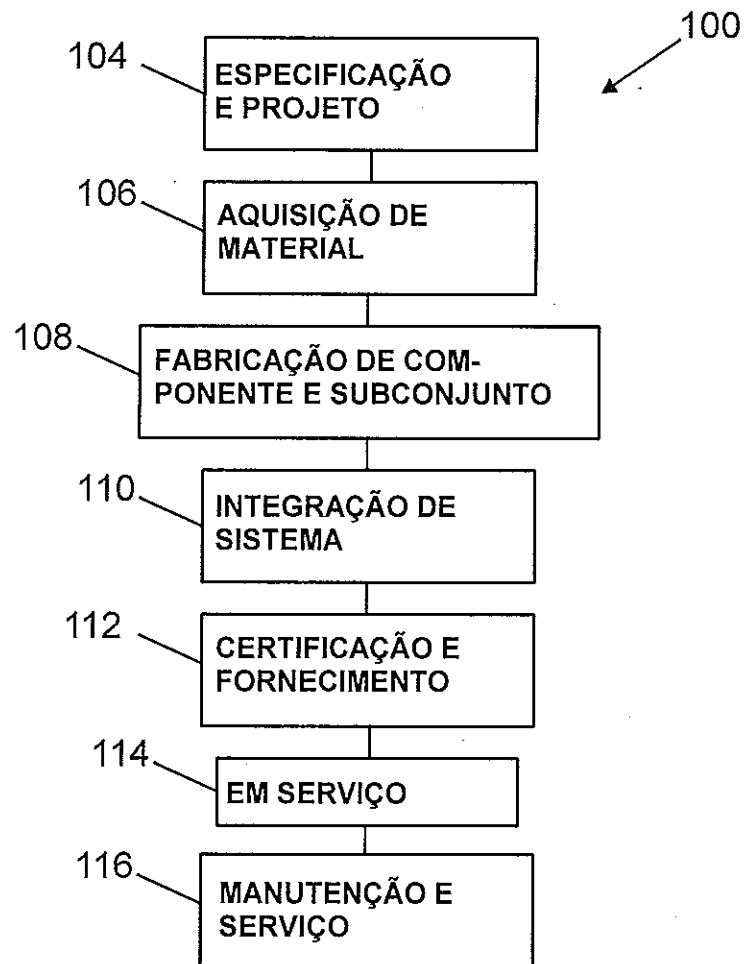


FIG. 16

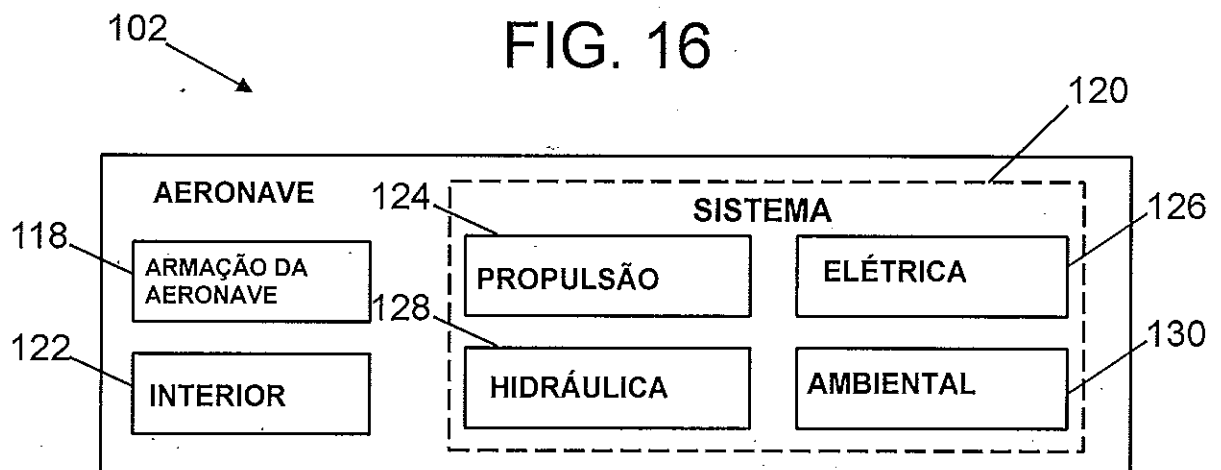


FIG. 17