



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

**(11) BR 102014017102-9 B1**



**(22) Data do Depósito: 10/07/2014**

**(45) Data de Concessão: 03/08/2021**

**(54) Título:** MÉTODO PARA REMOVER UM DETALHE DE METAL DE UM MATERIAL DIELÉTRICO DE UM ARTIGO

**(51) Int.Cl.:** C25D 5/02; C25D 9/10; C25D 5/34.

**(30) Prioridade Unionista:** 08/08/2013 US 13/962,296.

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

**(72) Inventor(es):** ROBERT T. LOFTUS; ROBERT L. KNICELY; NICKLAUS C. KIMBALL.

**(57) Resumo:** MÉTODO PARA REMOVER UM DETALHE DE METAL DE UM MATERIAL DIELÉTRICO DE UM ARTIGO. É descrito um método de remover um detalhe de metal de um material dielétrico de um artigo que pode incluir colocar o artigo em um banho eletrolítico de maneira tal que pelo menos uma porção do detalhe de metal fique submersa. O detalhe de metal pode ser acoplado em um material dielétrico. O método pode adicionalmente incluir posicionar pelo menos um catodo no banho eletrolítico em relação espaçada com o detalhe de metal, e passar corrente elétrica através do detalhe de metal. O método pode adicionalmente incluir eletroremover o detalhe de metal do material dielétrico em resposta à passagem da corrente elétrica através do detalhe de metal.

## “MÉTODO PARA REMOVER UM DETALHE DE METAL DE UM MATERIAL DIELÉTRICO DE UM ARTIGO”

### CAMPO

[0001] A presente revelação diz respeito no geral à remoção de material metálico de um substrato e, mais particularmente, à remoção de um detalhe de metal de um material dielétrico.

### FUNDAMENTOS

[0002] Muitas pás de rotor de helicóptero e hélices de aeronaves incluem uma tira de erosão de sacrifício montada em uma borda de avanço da pá do rotor ou hélice. A tira de erosão é tipicamente formada como um detalhe de metal compreendido de níquel, titânio, aço inoxidável e/ou outros metais. O detalhe de metal é configurado para proteger a pá do rotor ou hélice de dano por impacto de outra maneira causado por chuva, areia, sujeira e outros objetos. Por causa do detalhe de metal se desgastar com o tempo, o detalhe de metal tem que ser periodicamente removido e substituído com um novo detalhe de metal.

[0003] Para pás de rotor e hélices construídas de material metálico, o detalhe de metal pode ser mecanicamente preso e/ou adesivamente ligado na borda de avanço da pá do rotor ou hélice. Trocar um detalhe de metal gasto compreende remover os prendedores mecânicos e instalar um novo detalhe de metal na pá do rotor ou hélice de metal usando os mesmos prendedores mecânicos, ou um novo. Para detalhes de metal que são adesivamente ligados nas pás ou hélices de rotor de metal, o detalhe de metal pode ser removido usando um método de resfriar e cortar fora em que a pá do rotor ou hélice é resfriada para enfraquecer a união adesiva. O detalhe de metal pode então ser removido da pá de metal cinselando a pá de metal da pá do rotor ou hélice de metal usando um martelo e um cinzel.

[0004] Entretanto, para pás de rotor e hélices construídas de material compósito tal como material de grafite-epóxi reforçado com fibra, o detalhe

de metal pode ser adesivamente ligado na pá do rotor ou hélice mista. Compostos adesivos de epóxi relativamente novos podem ser resistentes a baixas temperaturas do que o material compósito subjacente da pá do rotor ou hélice. Por causa da alta resistência de tais novos compostos adesivos de epóxi, pode não ser possível usar o método de resfriar e cortar fora para remover um detalhe de metal de uma pá do rotor ou hélice mista.

[0005] Como pode-se ver, existe uma necessidade na técnica de um método de remover um detalhe de metal de uma pá do rotor ou hélice formada de material compósito.

[0006] EP0854208A1 revela um método de remoção de uma blindagem de erosão metálica segura por uma camada de adesivo não metálico para uma pá de rotor de helicóptero. O método compreende a etapa de proporcionar um campo elétrico entre o escudo de erosão e um eletrodo, na presença de um eletrólito entre o escudo de erosão e o eletrodo, pelo qual a blindagem de erosão é removida por um processo eletroquímico. Se desejado, a pá pode ser imersa num banho de eletrólito, pelo menos em uma extensão que o escudo de erosão, ou parte dele que se deseja remover, está imerso em eletrólito.

[0007] US2012/135588A1 revela um método para modelar uma camada de metal em dispositivos semicondutores. Um dispositivo semicondutor compreende um substrato, uma camada de semicondutor de óxido metálico, e uma camada metálica cobrindo a camada de semicondutor de óxido metálico. Além disso, uma camada polimérica condutora padronizada é formada na camada de metálica e elas estão submetidas a uma célula eletrolítica. A célula eletrolítica inclui uma solução, um anodo acoplado eletricamente à camada polimérica condutora padronizada, e um catodo imerso na solução eletrolítica. A solução eletrolítica contata a porção exposta da camada metálica, mas não contata a porção da camada metálica coberta pela camada polimérica condutora padronizada. Ao aplicar um

potencial elétrico através do anodo e do catodo, a porção exposta da camada metálica é dissolvida na solução eletrolítica, então o padrão da camada polimérica condutora padronizada é transferido para a camada metálica.

[0008] US4482445A revela um sistema para rebarbar eletroquimicamente laminados dielétricos revestidos metálicos perfurados. O revestimento metálico a ser rebarbado é imerso dentro de uma solução convencional de eletrólito apropriada. Um ou mais caminhos condutores são estabelecidos através da solução de eletrólito que passa através da perfuração passante no laminado dielétrico entre um anodo e um catodo adequado, concentrando assim a densidade de corrente nas bordas do furo passante, removendo assim as rebarbas e suavizando a borda arredondada do furo passante.

[0009] SU1168634A1 revela um método de remoção de camadas metálicas de um material dielétrico por um processo eletrolítico e, mais particularmente, diz respeito à remoção da camada titânica do vidro, ao mesmo tempo que impede o ataque químico do vidro. Ele especifica as propriedades características da solução eletrolítica a ser utilizada e as condições sob as quais o processo deve ser realizado.

[00010] US2005/179023A1 revela um método e um aparelho para remoção de filmes metálicos finos de um isolador imerso em solução eletrolítica. O aparelho compreende um tanque de eletrólito a partir do qual o eletrólito é canalizado para um eletrodo de chapa de metal inclinado em relação ao substrato. O eletrólito flui do eletrodo de chapa metálica em direção ao filme metálico fino, formando fluxo eletricamente contínuo. Um eletrodo auxiliar é fornecido com a extremidade inferior imersa no eletrólito. Ao formar um circuito e aplicar uma tensão, o filme metálico fino é removido do isolador.

[00011] CN1078506A também é relacionado com um método e um aparelho para remover filmes metálicos finos de um substrato de vidro, de

modo que o substrato de vidro não precisa ser desperdiçado, mas, em vez disso, possa ser reutilizado.

## SUMÁRIO

[00012] As necessidades supracitadas associadas com a remoção de um detalhe de metal de uma pá do rotor ou hélice são especificamente abordadas e atenuadas pela presente revelação que fornece um método de remover um detalhe de metal de um material dielétrico de um artigo. O método pode incluir colocar o artigo em um banho eletrolítico de maneira tal que pelo menos uma porção do detalhe de metal fique submersa. O método pode adicionalmente incluir posicionar pelo menos um catodo no banho eletrolítico em relação espaçada com o detalhe de metal, e passar corrente elétrica através do detalhe de metal. O método pode adicionalmente incluir eletrorremover o detalhe de metal do material dielétrico em resposta à passagem de corrente elétrica através do detalhe de metal.

[00013] Em uma modalidade adicional, é revelado um método de remover um detalhe de metal de um material dielétrico de um artigo. O método pode incluir a etapa de aplicar uma camada de mascaramento em uma porção do detalhe de metal para formar uma porção mascarada e uma porção não mascarada do detalhe de metal, em que a porção não mascarada pode ser exposta a um banho eletrolítico. O artigo pode ser colocado no banho eletrolítico de maneira tal que pelo menos uma porção do detalhe de metal fique submersa. O método pode incluir posicionar pelo menos um catodo no banho eletrolítico em relação espaçada com o detalhe de metal, e passar corrente elétrica através do detalhe de metal. O método pode adicionalmente incluir eletrorremover a porção não mascarada em resposta à passagem de corrente elétrica através do detalhe de metal.

[00014] É também revelado um método de remover uma tira de erosão de uma pá do rotor ou uma hélice mistas. O método pode incluir colocar a pá do rotor ou hélice em um banho eletrolítico de maneira tal que uma tira de

erosão fique pelo menos parcialmente submersa. A tira de erosão pode ser formada de material metálico e pode ser acoplada na pá do rotor ou hélice por uma camada adesiva dielétrica. O método pode adicionalmente incluir mergulhar um catodo no banho eletrolítico em relação espaçada com a tira de erosão, e aplicar uma corrente elétrica na tira de erosão. O método pode também incluir eletrorremover a tira de erosão da camada adesiva em resposta à aplicação da corrente elétrica na tira de erosão.

[00015] Resumidamente, de acordo com um aspecto da invenção, é provido um método de remover um detalhe de metal de um material dielétrico de um artigo, incluindo as etapas de: colocar um artigo em um banho eletrolítico de maneira tal que pelo menos uma porção de um detalhe de metal fique submersa, o detalhe de metal sendo acoplado em um material dielétrico; posicionar pelo menos um catodo no banho eletrolítico em relação espaçada com o detalhe de metal; passar corrente elétrica através do detalhe de metal; e eletrorremover o detalhe de metal do material dielétrico em resposta à passagem da corrente elétrica através do detalhe de metal.

[00016] Vantajosamente, o método inclui adicionalmente a etapa de: aplicar uma camada de mascaramento em uma porção do detalhe de metal para formar uma porção mascarada e uma porção não mascarada do detalhe de metal, a porção não mascarada sendo exposta ao banho eletrolítico; e eletrorremover a porção não mascarada em resposta à passagem de corrente elétrica através do detalhe de metal.

[00017] Vantajosamente, o método inclui adicionalmente: remover progressivamente a camada de mascaramento do detalhe de metal durante a sua eletrorremoção.

[00018] Vantajosamente, o método inclui adicionalmente monitorar uma borda de mascaramento de uma porção não eletrorremovida do detalhe de metal representando uma ilha de metal potencial em que o detalhe de metal pode ficar eletricamente desconectado de uma conexão do anodo; aplicar um

selante de mascaramento ao longo da borda de mascaramento de maneira tal que o selante de mascaramento sobreponha pelo menos parcialmente a porção não eletrorremovida; e retomar a passagem da corrente elétrica através do detalhe de metal após aplicação do selante de mascaramento.

[00019] Vantajosamente, o método inclui adicionalmente: conectar uma ilha de metal em uma conexão do anodo usando uma fita condutora; passar corrente elétrica através da fita condutora e na ilha de metal; e eletrorremover a ilha de metal do material dielétrico.

[00020] Vantajosamente, o método em que o material dielétrico inclui pelo menos um do seguinte: vidro, cerâmica, plástico, material polimérico.

[00021] Vantajosamente, o método em que: o material polimérico inclui um acoplamento adesivo do detalhe de metal em um substrato.

[00022] Vantajosamente, o método em que: o substrato é formado de pelo menos um de material metálico e material compósito.

[00023] Vantajosamente, o método em que o material compósito inclui material de matriz de polímero reforçado com fibra.

[00024] Vantajosamente, o método em que o detalhe de metal tem uma espessura de pelo menos aproximadamente 0,002 polegada (0,051 milímetro).

[00025] Vantajosamente, o método inclui adicionalmente aplicar uma camada de mascaramento sobre um substrato do artigo de uma maneira que impede contato do substrato com o banho eletrolítico.

[00026] Vantajosamente, o método em que a etapa de posicionar pelo menos um catodo no banho eletrolítico inclui mergulhar pelo menos uma porção do catodo no banho eletrolítico.

[00027] Vantajosamente, o método em que o catodo é modelado complementarmente ao detalhe de metal.

[00028] Vantajosamente, o método em que o pelo menos um catodo inclui um par de catodos posicionado em lados opostos do artigo.

[00029] Vantajosamente, o método em que a corrente elétrica inclui

uma corrente contínua.

[00030] Vantajosamente, o método em que a etapa de passar uma corrente elétrica através do detalhe de metal inclui manter uma tensão constante da corrente elétrica; e deixar que a amperagem da corrente elétrica varie durante eletrorremoção do detalhe de metal.

[00031] De acordo com um outro aspecto da invenção, é provido um método de remover um detalhe de metal de um material dielétrico de um artigo, incluindo as etapas de: prover um artigo com um detalhe de metal acoplado em um material dielétrico; aplicar uma camada de mascaramento em uma porção do detalhe de metal para formar uma porção mascarada e uma porção não mascarada, a porção não mascarada sendo exposta a um banho eletrolítico; colocar o artigo no banho eletrolítico de maneira tal que pelo menos uma porção do detalhe de metal fique submersa; posicionar pelo menos um catodo no banho eletrolítico em relação espaçada com o detalhe de metal; passar corrente elétrica através do detalhe de metal; e eletrorremover a porção não mascarada em resposta à passagem de corrente elétrica através do detalhe de metal.

[00032] Vantajosamente, o método inclui adicionalmente remover progressivamente a camada de mascaramento do detalhe de metal durante a sua eletrorremoção.

[00033] Vantajosamente, o método inclui adicionalmente a etapa de: manter um caminho elétrico contíguo entre uma conexão do anodo e uma porção substancial do detalhe de metal até que o detalhe de metal seja removido do material dielétrico.

[00034] De acordo com também um outro aspecto da invenção, é provido um método de remover uma tira de erosão, incluindo as etapas de: colocar pelo menos um de uma pá e uma hélice do rotor em um banho eletrolítico de maneira tal que uma tira de erosão fique pelo menos parcialmente submersa, a tira de erosão sendo formada de material metálico e

sendo acoplada na pá do rotor ou hélice por uma camada adesiva dielétrica; mergulhar um catodo no banho eletrolítico em relação espaçada com a tira de erosão; aplicar uma corrente elétrica na tira de erosão; e eletrorremover a tira de erosão da camada adesiva em resposta à aplicação da corrente elétrica na tira de erosão.

[00035] Os recursos, funções e vantagens que foram discutidos podem ser atingidos independentemente em várias modalidades da presente revelação ou podem ser combinados também em outras modalidades, cujos detalhes adicionais podem ser vistos com referência à descrição seguinte e desenhos a seguir.

#### BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

[00036] Esses e outros recursos da presente revelação ficarão mais aparentes mediante referência aos desenhos em que números iguais referem-se a partes iguais, e em que:

a Figura 1 é uma ilustração em vista lateral de um helicóptero com pás de rotor;

a Figura 2 é uma ilustração em perspectiva de uma pá do rotor principal do helicóptero;

a Figura 3 é uma ilustração parcialmente explodida da pá do rotor principal da figura 2 e mostrando um detalhe de metal que pode ser acoplado em uma borda de avanço da pá do rotor principal;

a Figura 4 é uma ilustração seccional transversal da pá do rotor principal feita ao longo da linha 4 da figura 3 e ilustrando o detalhe de metal que pode ser acoplado na pá do rotor principal usando um material dielétrico tal como adesivo de epóxi;

a Figura 5 é uma ilustração seccional transversal da pá do rotor principal mostrando o detalhe de metal adesivamente ligado nela;

a Figura 6 é uma vista de extremidade da pá do rotor principal mostrando a ponta da pá com um ou mais insertos instalados nela;

a Figura 7 é uma ilustração de um fluxograma incluindo uma ou mais operações de um método de remover um detalhe de metal de um material dielétrico;

a Figura 8 é uma vista lateral de um artigo representando um pá de rotor e com um detalhe de metal adesivamente acoplado no substrato do artigo usando um material dielétrico;

a Figura 8A é uma vista de extremidade do artigo ilustrando a anexação do detalhe de metal em uma borda de avanço;

a Figura 9 é uma vista lateral do artigo mostrando uma camada de mascaramento aplicada em uma porção do detalhe de metal para formar uma porção mascarada do detalhe de metal e uma porção não mascarada do detalhe de metal;

a Figura 9A é uma vista de extremidade do artigo mostrando um fio condutor do anodo anexado no detalhe de metal;

a Figura 10 é uma ilustração em perspectiva do artigo submerso em um banho eletrolítico e mostrando o anodo (isto é, o detalhe de metal) sendo acoplado em um terminal positivo de uma fonte de alimentação e um catodo acoplado em um terminal negativo da fonte de alimentação;

a Figura 11 é uma vista de extremidade do artigo submerso no banho eletrolítico e mostrando uma modalidade do catodo formada como uma estrutura unitária;

a Figura 12 é uma vista de extremidade do artigo submerso no banho eletrolítico e mostrando um par de catodos posicionado em lados opostos do detalhe de metal;

a Figura 13 é uma vista lateral do artigo após a eletrorremoção inicial da porção não mascarada do detalhe de metal em resposta à passagem de corrente elétrica através do detalhe de metal;

a Figura 14 é uma vista lateral do artigo ilustrando a porção de mascaramento depois de ser aparada para formar uma nova porção não

mascarada do detalhe de metal para eletrorremoção;

a Figura 15 é uma vista lateral do artigo ilustrando a formação de uma ilha de metal potencial ao longo de uma borda de mascaramento da porção mascarada do detalhe de metal;

a Figura 15A é uma vista ampliada da porção do artigo mostrando a ilha de metal potencial se formando ao longo da borda de mascaramento;

a Figura 15B ilustra a aplicação de um selante eletricamente não condutor ao longo da borda de mascaramento no local da ilha de metal potencial;

a Figura 15C ilustra a redução no tamanho da ilha de metal potencial depois da retomada da passagem de corrente elétrica através do detalhe de metal após a aplicação do selante ao longo da borda de mascaramento;

a Figura 15D ilustra a eliminação da ilha de metal potencial pela eletrorremoção em decorrência da aplicação de selante ao longo da borda de mascaramento;

a Figura 16 é uma vista lateral do artigo ilustrando o aparentamento adicional da porção de mascaramento para formar uma nova porção não mascarada do detalhe de metal para remoção pelo processo de eletrorremoção;

a Figura 17 é uma vista lateral do artigo ilustrando a porção exposta restante do detalhe de metal para remoção pelo processo de eletrorremoção;

a Figura 18 é uma vista lateral do artigo ilustrando uma ilha de metal remanescente no material dielétrico do artigo;

a Figura 19 é uma vista lateral do artigo ilustrando uma fita condutora conectando a ilha de metal na conexão do anodo para permitir eletrorremoção da ilha de metal;

a Figura 20 é uma vista lateral do artigo depois da remoção do detalhe de metal usando o processo de eletrorremoção;

a Figura 20A é uma vista de extremidade do artigo ilustrando a remoção do detalhe de metal;

a Figura 21 é uma ilustração de um fluxograma de uma metodologia de serviço e produção de aeronave; e

a Figura 22 é uma ilustração de um diagrama de blocos de uma aeronave.

### **DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO**

[00037] Referindo-se agora aos desenhos, em que o que se mostra tem propósitos de ilustrar várias modalidades da presente revelação, está mostrada na figura 1 uma vista lateral de um helicóptero 100 com uma estrutura mecânica incluindo uma cabine do piloto 102, um rotor principal 112, uma cauda 106, um rotor da cauda 108 montado na cauda 106, e um motor/transmissão 104 para acionar o rotor principal 112 e o rotor da cauda 108. O rotor principal 112 e o rotor da cauda 108 podem cada qual incluir uma pluralidade de pás de rotor 110.

[00038] A figura 2 é uma ilustração em perspectiva de uma modalidade de uma pá de rotor 110 de um rotor principal de um helicóptero 100. A pá do rotor 110 pode estender-se de uma raiz da pá 114 até uma ponta da pá 116. Além do mais, a pá do rotor 110 pode ter uma borda de fuga 120 e uma borda de avanço 118. A borda de avanço 118 pode incluir uma tira de erosão 152 configurada para proteger a pá do rotor 110 de dano por impacto tal como de chuva, areia, sujeira, detritos e outros objetos. A tira de erosão 152 pode ser formada como um detalhe de metal 150 e pode ser compreendida de um material metálico tais como níquel, titânio, aço e/ou qualquer outro material ou liga metálica.

[00039] A Figura 3 é uma ilustração em perspectiva explodida da pá do rotor 110 da figura 2 e mostrando o detalhe de metal 150 que pode ser

acoplado na borda de avanço 118 da pá do rotor 110 por uma camada adesiva 126 (Figura 2). O detalhe de metal 150 pode ser formado como um componente separado da pá do rotor 110. A este respeito, a pá do rotor 110 pode ser formada de material metálico e/ou material compósito tal como material de matriz de polímero reforçado com fibra. Em uma modalidade, o detalhe de metal 150 pode ser formado por um processo de eletroformação, usinagem, lingotamento, ou por qualquer outro processo de fabricação para fabricar o detalhe de metal 150 como um componente separado da pá do rotor 110. Em uma modalidade, o detalhe de metal 150 pode ser não metalizado na pá do rotor, e pode ser formado separadamente e então acoplado na pá do rotor 110.

[00040] Vantajosamente, a presente revelação inclui um processo de eletrorremoção para remover o detalhe de metal 150 de um artigo 136 tal como uma pá do rotor 110 formada de material metálico, material compósito e/ou material dielétrico 124. Como descrito com mais detalhes a seguir, o processo de eletrorremoção pode incluir remover um material metálico de um material dielétrico 124 (por exemplo, um material eletricamente não condutor) usando eletrólise. Embora descrito no contexto de uma pá do rotor, o processo de eletrorremoção aqui revelado pode ser implementado para remover um detalhe de metal 150 de qualquer tamanho, forma e configuração de um material dielétrico 124 de qualquer tipo de artigo 136 de qualquer tamanho, forma e configuração, sem limitação.

[00041] A figura 4 é uma ilustração seccional explodida da pá do rotor 110 da figura 3. A pá do rotor 110 pode incluir uma longarina D 122 que pode compreender o elemento estrutural de sustentação de carga primário da pá do rotor 110. Em uma modalidade, a longarina D 122 pode ser formada de material compósito tal como material de matriz de polímero reforçado com fibra supramencionado. Embora a longarina D 122 esteja mostrada com uma seção transversal no geral sólida, a longarina D 122 pode ser provida com

uma seção transversal oca (não mostrada). A pá do rotor 110 pode adicionalmente incluir um núcleo alveolar 130 delimitado por um par de folhas de face de fibra de vidro ou metálicas (não mostrado). O núcleo alveolar 130 e/ou as folhas de face podem ser acoplados na longarina D 122 para formar a seção da borda de fuga 120 da pá do rotor 110. O detalhe de metal 150 (por exemplo, tira de erosão 152) pode ser adesivamente ligado na borda de avanço 118 da pá do rotor 110 na longarina D 122 de maneira tal que a longarina D 122 funcione como um substrato 128 para o detalhe de metal 150. Entretanto, o detalhe de metal 150 pode ser ligado em qualquer local ao longo da pá do rotor 110, e não está limitado à união na borda de avanço 118 tal como na longarina D 122.

[00042] A figura 5 é uma ilustração seccional da pá do rotor montada 110 com o detalhe de metal 150 adesivamente ligado na borda de avanço 118 usando um material dielétrico 124 tal como um adesivo. Em uma modalidade, o detalhe de metal 150 pode ser acoplado no substrato 128 da pá do rotor 110 por meio de uma camada adesiva 126 compreendida de adesivo de epóxi. Na presente revelação, um material dielétrico 124 pode ser definido como um material eletricamente não condutor, ou um material com uma condutividade elétrica relativamente baixa ou uma resistividade elétrica relativamente alta. Em uma modalidade, o material dielétrico 124 pode incluir materiais com uma resistividade elétrica maior que aproximadamente  $1 \times 10^{-6}$  Ohm-metro ( $\Omega\text{-m}$ ). Por exemplo, em uma modalidade, o material dielétrico aqui usado pode compreender vidro, cerâmica, plástico, borracha e material polimérico, e qualquer material com uma resistividade elétrica maior que aproximadamente  $1 \times 10^{-6} \Omega\text{-m}$ .

[00043] Na figura 5, o detalhe de metal 150 pode ter uma espessura constante ou uma espessura variável. Por exemplo, o detalhe de metal 150 pode ter uma maior espessura 162 (Figura 4) em um nariz 154 (Figura 4) do detalhe de metal 150 e afunilando-se para uma menor espessura 162 em uma

borda traseira 156 (Figura 4) do detalhe de metal 150. Em uma modalidade, o detalhe de metal 150 pode ter uma espessura 162 de até aproximadamente 0,15 polegada (3,81 milímetros) ou mais no nariz 154 do detalhe de metal 150, e uma espessura 162 na faixa de aproximadamente 0,002 a 0,030 polegada (0,051 a 0,762 milímetro) nas bordas traseiras 156 do detalhe de metal 150. A este respeito, o processo de eletrorremoção aqui revelado pode ser efetivo para remover detalhes de metal 150 de qualquer espessura, sem limitação. O processo de eletrorremoção pode ser efetivo para remover um detalhe de metal 150 com uma espessura de 0,002 polegada (0,051 milímetro) ou mais. Por exemplo, em uma modalidade, o processo de eletrorremoção pode remover um detalhe de metal 150 com uma espessura de 0,010 polegada (0,254 milímetro) ou mais.

[00044] Vantajosamente, o processo de eletrorremoção pode ser efetivo para remover um detalhe de metal 150 (Figura 4) com uma espessura 162 (Figura 4) que pode ser no geral maior que a espessura de revestimentos metálicos (não mostrados) aplicados (por exemplo, revestidos) em um substrato 128 (não mostrado) usando processos de eletrometalização convencionais (não mostrados) em que tais espessuras de revestimento podem ser menos que aproximadamente 0,002 polegada (0,051 milímetro). Além do mais, o processo de eletrorremoção aqui revelado proporciona uma vantagem significante em relação a processos de remoção química convencionais (não mostrados) para remover revestimentos metálicos convencionalmente metalizados. Por exemplo, tais processos de remoção química convencionais podem incluir o uso de um ácido (não mostrado) para remover revestimentos metálicos de espessura relativamente pequena da ordem de aproximadamente 0,001-0,002 polegada (0,051 milímetro), e em que o ácido pode indiscriminadamente atacar o material compósito (não mostrado) e/ou material metálico (não mostrado) que entra em contato com o ácido.

[00045] A figura 6 é uma vista de extremidade da pá do rotor 110

mostrando a ponta da pá com um ou mais componentes metálicos 132 tais como insertos 134 instalados nela. Como descrito com mais detalhes a seguir, a pá do rotor 110 pode ter um ou mais componentes metálicos 132 que podem precisar de proteção contra o processo de metalização para evitar dano. Por exemplo, tais componentes metálicos 132 podem ser protegidos mascarando ou aplicando outro material de vedação para impedir eletrorremoção (por exemplo, eletrodecomposição) dos componentes metálicos 132.

[00046] A figura 7 é uma ilustração de um fluxograma incluindo uma ou mais operações que podem ser incluídas em uma modalidade de um método 300 de remover um detalhe de metal 150 (Figura 4) de um material dielétrico 124 (Figura 4) de um artigo 136 (Figura 4). Embora o método 300 esteja descrito no contexto de um artigo 136 representando uma pá do rotor 110, o método pode ser implementado para remover um detalhe de metal 150 de qualquer tamanho, forma e configuração de um material dielétrico 124 de um artigo 136 de qualquer tamanho, forma e configuração. Além do mais, o método 300 não está limitado a remoção de um detalhe de metal 150 de uma camada adesiva 126 (Figura 4), mas pode incluir remover um detalhe de metal 150 de um substrato dielétrico 128 (Figura 4) tal como um artigo compósito 136. Entretanto, o método pode também incluir remover um detalhe de metal 150 de uma camada adesiva dielétrica 126 acoplando o detalhe de metal 150 em um substrato metálico 128.

[00047] Referindo-se à figura 8, a etapa 302 do método 300 (Figura 7) pode incluir prover um artigo 136 com um detalhe de metal 150 acoplado ou em contato com um material dielétrico 124. O artigo 136 mostrado na figura 8 representa uma pá do rotor 110 com propósitos de ilustrar o processo de eletrorremoção aqui revelado. O artigo 136 na figura 8 inclui o detalhe de metal 150 adesivamente acoplado em uma camada adesiva dielétrica 126 que é por sua vez adesivamente acoplada no substrato 128 do artigo 136. O substrato 128 compreende a subestrutura do artigo 136 que pode ser formada

de material metálico e/ou material compósito. A camada adesiva dielétrica 126 separa o detalhe de metal 150 do substrato 128. Além da camada adesiva dielétrica 126, o substrato 128 pode também ser formado de um material dielétrico 124 no qual o detalhe de metal 150 é adesivamente acoplado. Por exemplo, o substrato 128 pode ser formado de material compósito tal como material de matriz de polímero reforçado com fibra. Em uma modalidade, o material de matriz de polímero reforçado com fibra pode compreender material de epóxi grafite, material de fibra de vidro-epóxi, ou qualquer outro tipo de material compósito reforçado com fibra.

[00048] A figura 8A é uma vista de extremidade do artigo 136 da figura 8 mostrando o detalhe de metal 150 acoplado na borda de avanço 118 do artigo 136. Como aqui indicado, o material dielétrico 124 pode ser compreendido de um material com uma condutividade elétrica relativamente baixa e uma resistividade elétrica relativamente alta como aqui definido. Em uma modalidade, o material dielétrico 124 pode compreender material polimérico e pode compreender adicionalmente vidro, cerâmica, plástico e outros materiais com condutividade elétrica relativamente baixa. Em uma modalidade, o material polimérico compreende o acoplamento adesivo de epóxi supramencionado (por exemplo, ligando adesivamente) o detalhe de metal 150 em um substrato 128.

[00049] Referindo-se à figura 9, a etapa 304 do método 300 (Figura 7) pode compreender aplicar uma camada de mascaramento 170 (Figura 9) em uma porção do detalhe de metal 150 para formar uma porção mascarada 174 do detalhe de metal 150 e uma porção não mascarada 176 do detalhe de metal 150. A camada de mascaramento 170 pode prover um meio para controlar a localização onde ocorre a eletrorremoção do detalhe de metal 150 do material dielétrico 124. Como indicado a seguir, a porção não mascarada 176 do detalhe de metal 150 pode ser exposta a um banho eletrolítico 202 durante o processo de eletrorremoção, fazendo com que a porção não mascarada 176

seja esgotada do material dielétrico 124 quando uma corrente elétrica 242 (Figura 10) é passada através do detalhe de metal 150,

[00050] A etapa 304 pode opcionalmente incluir aplicar a camada de mascaramento 170 (Figura 9) sobre o substrato 128 de uma maneira a impedir contato do substrato 128 com o banho eletrolítico 202 (Figura 10). Em uma modalidade, a pá do rotor mista 110 (Figura 6) pode incluir uma malha eletricamente condutora (por exemplo, uma malha de alumínio 140 - Figura 6) para dissipação de carga no evento de um relâmpago. A camada de mascaramento 170 sobre o substrato 128 pode impedir eletrorremoção da malha de alumínio 140 (Figura 6) durante o processo de eletrorremoção do detalhe de metal 150. Além do mais, se a matriz reforçada com fibra de polímero não tiver uma camada externa protetora tal como uma camada de fibra de vidro, a camada de mascaramento 170 pode também ser aplicada no substrato 128 para impedir a absorção do banho eletrolítico 202 para uma superfície relativamente porosa do material de matriz de polímero reforçado com fibra.

[00051] A figura 9A ilustra um fio condutor do anodo 208 que pode ser acoplado no detalhe de metal 150 para conectar o detalhe de metal 150 a uma fonte de alimentação 240 (Figura 10). O fio condutor do anodo 208 pode compreender um fio, cabo ou haste. Por exemplo, o fio condutor do anodo 208 pode compreender uma haste rosqueada 210 que pode ser anexada em um ou ambos lados do artigo 138 do artigo 136 ou detalhe de metal 150. Por exemplo, o fio condutor do anodo 208 pode compreender uma haste rosqueada 210 passando através da borda de avanço 118 do artigo 136 e presa por um par de porcas de aperto 212 contra as superfícies do detalhe de metal 150. Entretanto, o fio condutor do anodo 208 pode incluir um ou mais fios, hastes ou outros elementos eletricamente condutores que conectam o detalhe de metal 150 em uma fonte de alimentação 240 (Figura 10).

[00052] Em uma modalidade, a camada de mascaramento 170 (Figura

9) pode ser aplicada no detalhe de metal 150 (Figura 9) de maneira tal que as porções não mascaradas 176 (Figura 9) do detalhe de metal 150 fiquem localizadas mais distantes da conexão do anodo 206 (Figura 9). Por exemplo, a figura 9 ilustra a conexão do anodo 206 sendo localizada próxima a uma quina esquerda inferior do detalhe de metal 150, e a porção não mascarada 176 sendo localizada ao longo de um lado direito do detalhe de metal 150 e ao longo de uma porção superior do detalhe de metal 150 adjacente às bordas traseiras 156 do detalhe de metal 150 no lado do artigo oposto 138 (Figura 9A) do artigo 136 (Figura 9A).

[00053] A camada de mascaramento 170 (Figura 9) pode impedir contato do banho eletrolítico 202 com a porção mascarada 174 (Figura 9) do detalhe de metal 150 (Figura 9) e por meio disto impedir eletrorremoção de tais áreas e, em vez disso, permitir que a eletrorremoção ocorra nas porções não mascaradas 176 do detalhe de metal 150. Desta maneira, a camada de mascaramento 170 pode impedir a formação de ilhas de metal eletricamente isoladas 160 (Figura 18), e por meio disto manter um caminho elétrico substancialmente contínuo ao longo do detalhe de metal 150 durante o processo de eletrorremoção, como descrito com mais detalhes a seguir. Em uma modalidade, a camada de mascaramento 170 pode compreender fita de mascaramento com adesivo sensível a pressão em pelo menos um lado da mesma. Em uma modalidade, a fita de mascaramento pode ser comercialmente disponível pela 3M Company como 3M<sup>TM</sup> Eletroplating Tape 470, embora qualquer material de mascaramento adequado possa ser usado para mascaramento do detalhe de metal 150 e/ou do substrato 128 (Figura 9) para impedir contato com o banho eletrolítico 202 (Figura 10).

[00054] A figura 10 é uma ilustração de um recipiente 200 de um banho eletrolítico 202 e uma fonte de alimentação 240. A etapa 306 do método 300 (Figura 7) pode incluir colocar o artigo 136 no banho eletrolítico 202 de maneira tal que pelo menos uma porção do artigo 136 fique submersa.

O detalhe de metal 150 pode funcionar como um anodo 204 que pode ser acoplado em um terminal positivo 244 da fonte de alimentação 240. O detalhe de metal 150 na figura 10 pode ser formado de qualquer material que pode ser eletrodecompósito (isto é, eletrorremovido), e pode incluir níquel, aço, aço, titânio, inconel e qualquer outro material ou liga metálica. O banho eletrolítico 202 pode ser compreendido de uma solução que é complementar ao material metálico a ser decomposto ou eletrorremovido. Por exemplo, se o detalhe de metal 150 for formado de uma liga a base de níquel, então o banho eletrolítico 202 pode compreender uma solução de sulfamato de níquel. Entretanto, o banho eletrolítico 202 pode ser provido em qualquer tipo de composição, e pode incluir soluções aquosas com aditivos opcionais para promover a eletrodecomposição do detalhe de metal 150 durante o processo de eletrorremoção.

[00055] Referindo-se ainda à figura 10, o método 300 (Figura 7) pode incluir a etapa 308 que pode compreender posicionar pelo menos um catodo 224 no banho eletrolítico 202. O método pode incluir mergulhar pelo menos uma porção do catodo 224 no banho eletrolítico 202, e posicionar o catodo 224 em relação espaçada com o anodo 204. O catodo 224 pode ser acoplado em um terminal negativo 246 da fonte de alimentação 240. A este respeito, a fonte de alimentação 240 pode ser eletricamente conectada no anodo 204 e no catodo 224 que compreendem os eletrodos de um circuito elétrico completado pelo eletrólito. A fonte de alimentação 240 pode prover corrente elétrica 242 ao anodo 204 (isto é, o detalhe de metal 150) para eletrorremoção do detalhe de metal 150 do material dielétrico 124 (por exemplo, o adesivo de epóxi). Em uma modalidade, o catodo 224 pode ser formado de material metálico que pode ser substancialmente similar ao material metálico do qual o detalhe de metal 150 é formado. Por exemplo, se o detalhe de metal 150 for compreendido de uma liga de níquel, o catodo 224 pode também ser formado de uma liga a base de níquel, ou de uma liga que é complementar ao níquel.

Entretanto, o catodo 224 pode ser formado de qualquer material para conduzir a corrente elétrica 242. O catodo 224 pode ser posicionado em relação espaçada e sem contato com o detalhe de metal 150.

[00056] Na figura 11, o catodo 224 pode ser formado como uma estrutura unitária e pode ser modelado complementarmente ao detalhe de metal 150 para promover densidade de corrente substancialmente uniforme pelo menos localizadamente dentro da folga entre o catodo 224 e o detalhe de metal 150. Tal densidade de corrente uniforme pode promover uma taxa de eletrorremoção substancialmente uniforme, e pode evitar a ocorrência de ilhas de metal 160 (Figura 18) durante o processo de eletrorremoção, como descrito com mais detalhes a seguir. Além do mais, o catodo unitário 224 pode ser dimensionado e configurado de maneira tal que o catodo 224 fique preferivelmente posicionado a uma distância substancialmente constante 230 do anodo 204 substancialmente em todas localizações ao longo do catodo 224, para promover eletrorremoção uniforme ao longo do detalhe de metal 150, e impedir maiores taxas de eletrorremoção em um ponto ao longo do detalhe de metal 150 em relação a outros pontos ao longo do detalhe de metal 150. Entretanto, o catodo 224 pode compreender uma simples haste, cabo ou fio que pode ser pelo menos parcialmente submerso no banho eletrolítico 202, e não é necessariamente configurado complementarmente ao tamanho e forma do detalhe de metal 150.

[00057] Na figura 12, está mostrada uma modalidade alternativa do catodo 224 provida como um par de catodos 224. O par de catodos 224 pode ser posicionado no lado do artigo oposto 138 do artigo 136. Cada um dos catodos 224 pode ser eletricamente conectado no terminal negativo 246 da fonte de alimentação 240 via o fio condutor do catodo 228 que pode ser acoplado nos catodos 224 em uma conexão do catodo 226. Em uma modalidade, o(s) catodo(s) 224 pode(m) ter uma área superficial total que é pelo menos tão grande quanto a área superficial do anodo 204 (isto é, o

detalhe de metal 150) antes de iniciar a operação de eletrorremoção. A área superficial do catodo 224 pode ser um fator na taxa na qual o detalhe de metal 150 é esgotado.

[00058] Referindo-se à figura 10, a etapa 310 do método 300 (Figura 7) pode incluir passar corrente elétrica 242 através do detalhe de metal 150 para iniciar o processo de eletrorremoção. A este respeito, a fonte de alimentação 240 pode ser ativada para aplicar um potencial positivo no anodo 204 e um potencial negativo no catodo 224. A corrente elétrica 242 pode compreender uma corrente contínua (isto é, uma corrente CC). A corrente elétrica 242 pode passar através do detalhe de metal 150 mediante ativação da fonte de alimentação 240. Em uma modalidade, a fonte de alimentação 240 pode compreender uma fonte de alimentação CC (não mostrada) que pode incluir um retificador (não mostrado) para permitir inverter periodicamente ou intermitentemente a passagem de corrente (não mostrado) em surtos relativamente curtos de maneira tal que um potencial positivo (não mostrado) seja aplicado no catodo 224 e um potencial negativo seja aplicado no anodo 204 como um meio de remover qualquer sujeira (não mostrado) ou fuligem do detalhe de metal 150 e/ou ativar o detalhe de metal 150 para o processo de eletrorremoção revelado, em que o potencial positivo é aplicado no anodo 204 e o potencial negativo é aplicado no catodo 224.

[00059] O método 300 (Figura 7) pode incluir a etapa 312 que pode compreender manter uma tensão substancialmente constante 250 (Figura 10) da corrente elétrica 242 (Figura 10), e deixar que uma amperagem 254 (Figura 10) da corrente elétrica 242 flutue ou varie durante a eletrorremoção do detalhe de metal 150 (Figura 10) do material dielétrico 124 (Figura 10). A etapa 312 pode incluir selecionar uma tensão 250 dentro de uma faixa de aproximadamente 3-15 volts ajustando o dial de ajuste de tensão 248 (Figura 10) na fonte de alimentação 240. Em uma modalidade, a tensão 250 pode ser ajustada entre aproximadamente 5-9 volts para o processo de eletrorremoção.

Entretanto, a tensão 250 da corrente elétrica 242 pode ser maior que 15 volts. A este respeito, pode ser desejável minimizar a tensão 250 por questão de segurança. A fonte de alimentação 240 pode incluir um dial de ajuste da amperagem 252 (Figura 10). Entretanto, pode-se permitir que a faixa de amperagem flutue ou varie. Em uma modalidade, a amperagem pode cair dentro da faixa de aproximadamente 20-32 amps, embora uma amperagem 254 de menos que 20 amps ou mais que 32 amps possa ser usada. Durante o processo de eletrorremoção, a amperagem 254 pode diminuir gradualmente com o tempo à medida que a área total do detalhe de metal 150 é gradualmente reduzida durante o processo de eletrorremoção.

[00060] Referindo-se à figura 13, a etapa 314 do método 300 (figura 7) pode incluir eletrorremover o detalhe de metal 150 do material dielétrico 124 em resposta à passagem da corrente elétrica 242 (Figura 12) através do detalhe de metal 150. A figura 13 ilustra a eletrorremoção inicial da porção não mascarada 176 (Figura 12) do detalhe de metal 150, deixando o adesivo dielétrico exposto na figura 13. Durante o processo de eletrorremoção, o banho eletrolítico 202 (Figura 12) leva corrente elétrica 242 entre os dois eletrodos compreendendo o anodo 204 (isto é, o detalhe de metal 150) e o catodo 224 (Figura 11). Durante o processo de eletrorremoção, o detalhe de metal 150 pode ser oxidado em íons metálicos (não mostrados), resultando na dissolução dos íons metálicos no banho eletrolítico 202, e na metalização do catodo 224 com os íons metálicos.

[00061] Na figura 13, a etapa 316 do método 300 (Figura 7) pode incluir manter um caminho elétrico contíguo 214 da conexão do anodo 206 para qualquer ou substancialmente todas as localizações ou porções substanciais do detalhe de metal exposto 150 durante eletrorremoção do detalhe de metal 150 do dielétrico. Mantendo-se um caminho elétrico contíguo 214 para a conexão do anodo 206, a formação de ilhas de metal 160 (Figura 18) pode ser evitada, como descrito a seguir. A este respeito, a etapa

316 pode compreender manter um caminho de corrente elétrica contíguo 242 (Figura 12) através do detalhe de metal 150 até que uma maioria substancial do detalhe de metal 150 seja removida do substrato 128.

[00062] Referindo-se rapidamente à figura 10, o método 300 (Figura 7) pode incluir circular o banho eletrolítico 202 durante remoção do detalhe de metal 150 do material dielétrico 124. Circulação do banho eletrolítico 202 pode manter uma densidade de corrente substancialmente uniforme dentro do banho eletrolítico 202 pelo menos localizadamente em uma interface do banho eletrolítico 202 e do detalhe de metal 150. Uma densidade de corrente substancialmente uniforme pode promover eletrorremoção substancialmente uniforme através do detalhe de metal 150. A este respeito, a densidade de corrente uniforme pode ser promovida agitando ou perturbando o banho eletrolítico 202 tal como com um dispositivo mecânico (não mostrado) tais como uma pá rotativa, uma bomba, ou um ventilador de circulação posicionado dentro do banho eletrolítico 202, ou outros dispositivos para agitar ou perturbar o banho eletrolítico 202.

[00063] Na figura 15, a etapa 318 do método 300 (Figura 7) pode incluir remover progressivamente a camada de mascaramento 170 do detalhe de metal 150 durante o processo de eletrorremoção. A remoção progressiva da camada de mascaramento 170 do detalhe de metal 150 pode reduzir progressivamente o tamanho da porção mascarada 174 e expor progressivamente áreas adicionais do detalhe de metal 150 ao banho eletrolítico 202 (Figura 12) durante o processo de eletrorremoção. Em uma modalidade, a etapa 318 pode incluir aparar a borda de mascaramento 172 tal como com uma ferramenta de corte. Por exemplo, a camada de mascaramento 170 pode ser aparada usando uma lâmina de gilete para formar uma nova porção não mascarada 176 (Figura 14) do detalhe de metal 150,

[00064] Na figura 15A, está mostrada uma porção não eletrorremovida 158 do detalhe de metal 150 que pode ocorrer durante o processo de

eletrorremoção. A este respeito, o método 300 (Figura 7) pode incluir a etapa 320 de monitorar (por exemplo, visualmente) a porção não mascarada 176 (Figura 14) do detalhe de metal 150 tal como ao longo de uma borda de mascaramento 172 para tais porções não eletrorremovidas 158. Cada uma das porções não eletrorremovidas 158 pode representar uma ilha de metal indesejável 160 (Figura 18) que pode formar e pode permanecer permanentemente ligada no material dielétrico 124. Uma ilha de metal 160 pode compreender uma região do detalhe de metal 150 que pode ficar eletricamente isolada da conexão do anodo 206 (Figura 15) de maneira tal que nenhuma corrente elétrica 242 (Figura 12) chegue na ilha de metal 160. Tais ilhas de metal 160 podem se formar em resposta ao banho eletrolítico 202 (Figura 12) infiltrar por baixo da camada de mascaramento 170 e causar eletrorremoção localizada do detalhe de metal 150.

[00065] Na figura 15B, a Etapa 322 do método 300 (Figura 7) pode incluir aplicar um selante de mascaramento eletricamente não condutor 178 ao longo de uma borda de mascaramento 172 na localização de uma porção não eletrorremovida 158. O selante de mascaramento 178 pode ser aplicado para sobrepor pelo menos parcialmente a borda de mascaramento 172 e a porção não eletrorremovida 158 para impedir ou ocupar a formação de uma ilha de metal 160 (Figura 18). Em uma modalidade, o selante de mascaramento 178 pode compreender um líquido ou uma pasta que pode subsequentemente endurecer e impedir contato do banho eletrolítico 202 (Figura 12) com a porção coberta por selante da porção não eletrorremovida 158. Em uma modalidade, o selante de mascaramento 178 pode compreender Miccro Super XP-2000 Stop-Off LacquerTM comercialmente disponível pela Allied Plating Supplies, Inc., ou qualquer outro material selante adequado para mascarar uma região desejada de uma porção não eletrorremovida e impedir a ocorrência de uma ilha de metal 160,

[00066] Na figura 15C, o método 300 (Figura 7) pode incluir reiniciar

a passagem da corrente elétrica 242 através do detalhe de metal 150 após aplicação do selante de mascaramento 178 (Figura 15C) na porção não eletrorremovida 158 (Figura 15B). O reinício da aplicação da corrente elétrica 242 pode continuar o processo de eletrorremoção.

[00067] Na figura 15D, é mostrado o artigo 136 e a eliminação da porção não eletrorremovida 158 do material dielétrico 124 depois da remoção do selante de mascaramento 178. Vantajosamente, o selante de mascaramento 178 pode impedir a formação de uma ilha de metal 160 (Figura 18). Como aqui indicado, uma ilha de metal 160 pode ser eletricamente não contígua com o restante do detalhe de metal 150, e fazendo com que corrente elétrica 242 não passe para a ilha de metal 160 para eletrorremoção.

[00068] A figura 16 ilustra o aparentamento adicional da porção mascarada 174 para formar uma nova porção não mascarada 176 do detalhe de metal 150. Em uma modalidade, o artigo 136 pode ser temporariamente removido do banho eletrolítico 202 (Figura 12) para permitir aparentamento da porção mascarada 174. Como aqui indicado, o detalhe de metal 150 é progressivamente exposto pelo aparentamento da porção mascarada 174 de uma maneira que de maneira tal que um caminho elétrico contíguo 214 permaneça entre a conexão do anodo 206 e as demais porções do detalhe de metal 150.

[00069] A figura 17 ilustra a eletrorremoção da porção não mascarada 176 do detalhe de metal 150 da figura 16 e a remoção da porção mascarada final 174. Embora as figuras ilustrem somente um lado do artigo 136, o aparentamento progressivo da porção mascarada 174 pode ser feito de uma maneira substancialmente equivalente em ambos os lados do artigo opostos 138. Desta maneira, o detalhe de metal 150 pode ser eletrorremovido de uma maneira substancialmente uniforme em ambos os lados do artigo 138.

[00070] A figura 18 é uma vista lateral do artigo 136 ilustrando uma ilha de metal 160 restante no material dielétrico 124 do artigo 136 depois da remoção do detalhe de metal 150 do material dielétrico 124. Como

anteriormente indicado, uma ilha de metal 160 como esta pode ocorrer em resposta ao banho eletrolítico 202 (Figura 12) vazar por baixo da camada de mascaramento 170 e causar eletrorremoção localizada do detalhe de metal 150.

[00071] A figura 19 ilustra a Etapa 324 do método 300 (Figura 7) que pode incluir usar uma fita condutora 216 para conectar a ilha de metal 160 na conexão do anodo 206. Depois de conectar a ilha de metal 160 na conexão do anodo 206, o método pode incluir ativar a fonte de alimentação 240 (Figura 12) e passar corrente elétrica 242 (Figura 12) através da fita condutora 216. O método pode adicionalmente incluir eletrorremover a ilha de metal 160 do material dielétrico 124. A fita condutora 216 pode ser formada de qualquer material eletricamente condutor adequado incluindo, mas sem limitações, cobre, alumínio, ou qualquer outro material condutor. Em uma modalidade, a fita condutora 216 pode ser coberta com uma camada de mascaramento 170 ou outro material isolante para evitar eletrorremoção da fita condutora 216.

[00072] A figura 20 ilustra o artigo 136 depois da remoção do detalhe de metal 150 e qualquer ilha de metal 160 (Figura 19) usando o processo de eletrorremoção supradescrito. O material dielétrico 124, inicialmente coberto pelo detalhe de metal 150, está mostrado na figura 20. A camada de mascaramento 170 (Figura 19) que cobre o substrato 128 pode também ser removida. A figura 20A ilustra uma vista de extremidade do artigo eletrorremovido 136 e mostrando o esboço do detalhe de metal eletrorremovido 150 em linhas tracejadas.

[00073] Como anteriormente indicado, o processo de eletrorremoção pode ser vantajosamente implementado para remover uma tira de erosão desgastada 152 (Figura 5) de uma pá do rotor 110 ou uma hélice (não mostrada). Em uma modalidade, uma nova tira de erosão metálica 152 pode ser adesivamente ligada na pá do rotor 110 (Figura 5) ou hélice (não mostrada) usando uma camada adesiva dielétrica 126 ou outro dispositivo de

anexação adequado. Como anteriormente indicado, o processo de metalização supradescrito pode ser implementado para remover um detalhe de metal 150 (Figura 5) de qualquer material dielétrico 124 (Figura 5), sem limitação, e não está limitado à remoção de uma tira de erosão metálica 152 de uma pá do rotor 110 ou uma hélice.

[00074] Referindo-se às figuras 21-22, modalidades da revelação podem ser descritas no contexto de um método de fabricação ou manutenção de aeronave 400 mostrado na figura 21 e uma aeronave 402 mostrada na figura 22. Durante pré-produção, o método exemplar 400 pode incluir especificação e projeto 404 da aeronave 402 e aquisição de material 406. Durante produção, ocorre fabricação e submontagem de componente 408 e integração de sistema 410 da aeronave 402.

[00075] Na figura 21, submontagem e fabricação de componente da aeronave podem incorporar o método 300 (Figura 7) aqui revelado para remover um detalhe de metal 150 (Figura 4) de um material dielétrico 124 (Figura 4) de um artigo 136 (Figura 4). Por exemplo, o método 300 pode ser implementado para remover um detalhe de metal 150 tal como uma tira de erosão 152 que pode ser adesivamente ligado via uma camada adesiva 126 dielétrica 124 (Figura 4) em uma borda de avanço 118 (Figura 2) de uma pá do rotor principal 112 (Figura 2) de um helicóptero 100 (Figura 1). Entretanto, o método 300 pode ser implementado para remover um detalhe de metal 150 de qualquer estrutura incluindo uma estrutura de aeronave 402 (Figura 22). Por exemplo, o método 300 (Figura 7) pode incluir remover um detalhe de metal 150 de um material dielétrico 124 (Figura 3) de uma fuselagem 418 (Figura 22) de uma aeronave 402 (Figura 22). Como anteriormente indicado, o material dielétrico 124 pode ser um substrato 128 (Figura 3) no qual o detalhe de metal 150 (Figura 3) pode ser acoplado. O substrato 128 pode ser formado de material compósito (não mostrado) tal como material de matriz de polímero reforçado com fibra incluindo, mas sem

limitações, material de grafite-epóxi, material de fibra de vidro-epóxi, ou qualquer outro tipo de material compósito reforçado com fibra.

[00076] Na figura 21, após a produção 408 e integração do sistema 410, a aeronave 402 pode passar por certificação e entrega 412. Após a certificação e entrega 412, a aeronave 402 pode ser colocada em serviço 414. Enquanto em serviço por um cliente, a aeronave 402 é programada para manutenção e serviço de rotina 416. A manutenção e serviço de rotina 416 da aeronave 402 podem incluir modificação, reconfiguração, reforma, e assim por diante.

[00077] Vantajosamente, durante manutenção e serviço 416, o método 300 (Figura 7) aqui revelado pode ser implementado para remover um detalhe de metal 150 tal como a tira de erosão supramencionada 152 de uma borda de avanço 118 (Figura 2) de uma pá do rotor principal 112 (Figura 2) de um helicóptero 100 (Figura 1) ou outra aeronave 402 (Figura 22). Por exemplo, o método 300 pode ser implementado para remover periodicamente uma tira de erosão metálica 152 de uma pá do rotor 112. Após a remoção da tira de erosão metálica 152 da pá do rotor 112, uma nova tira de erosão 152 pode ser instalada. O método 300 pode ser implementado de uma maneira similar durante manutenção e serviço 416 de uma estrutura de aeronave 402 (Figura 22) tal como uma aeronave de asa fixa (não mostrada). Por exemplo, o método 300 pode ser implementado para remover um detalhe de metal 150 (Figura 6) de uma borda de avanço (não mostrada) de uma estrutura mecânica 418 tal como da asa de uma aeronave 402 (não mostrada), uma superfície de controle (não mostrada), uma superfície da cauda (não mostrada), um fuselagem (não mostrada), ou qualquer uma de uma variedade de outros componentes de estruturas ou fuselagem 418 de aeronave 402, sem limitação.

[00078] Cada qual dos processos de método 400 pode ser feito ou realizado por um integrador do sistema, uma terceira parte e/ou um operador (por exemplo, um cliente). Com os propósitos desta descrição, um integrador

do sistema pode incluir, sem limitações, qualquer número de fabricantes de aeronave e subcontratantes do sistema principal; uma terceira parte pode incluir, sem limitações, qualquer número de vendedores, subcontratantes e fornecedores; e um operador pode ser uma linha aérea, empresa de arrendamento, entidade militar, organização de serviço, e assim por diante.

[00079] Como mostrado na figura 22, a aeronave 402 produzida pelo método exemplar 400 pode incluir uma fuselagem 418 com uma pluralidade de sistemas 420 e um interior 422. A fuselagem 418 pode incluir uma fuselagem 418 de uma aeronave de asa rotativa (não mostrada), uma aeronave de asa fixa (não mostrada), ou outras configurações de aeronave. A fuselagem 418 pode incluir um ou mais componentes onde a remoção de um detalhe de metal 150 (Figura 6) de um material dielétrico 124 (Figura 6) pode vantajosamente ser feita usando o método 300 (Figura 7) aqui revelado. Exemplos de sistemas de alto nível 420 da estrutura mecânica 418 incluem um ou mais de um sistema de propulsão 424, um sistema elétrico 426, um sistema hidráulico 428, e um sistema ambiental 430. Qualquer número de outros sistemas pode ser incluído. Embora esteja mostrado um aeroespaço exemplar, os princípios da invenção podem ser aplicados a outras indústrias, tal como indústria automotiva, ou qualquer outra indústria.

[00080] Aparelho e métodos aqui concebidos podem ser empregados durante qualquer um ou mais dos estágios do método de produção e serviço 400. Por exemplo, componentes ou subconjuntos correspondentes ao processo de produção 408 podem ser produzidos ou fabricados de uma maneira similar aos componentes ou subconjuntos produzidos enquanto a aeronave 402 está em serviço. Também, uma ou mais modalidades de aparelho, modalidades de método, ou uma combinação destes podem ser utilizadas durante os estágios de produção 408 e 410, por exemplo, despachando substancialmente o conjunto ou reduzindo o custo de uma aeronave 402. Similarmente, uma ou mais de modalidades de aparelho, modalidades de método, ou uma

combinação destes pode ser utilizada enquanto a aeronave 402 está em serviço, por exemplo, e sem limitações, manutenção e serviço 416.

[00081] Muitas modificações e outras modalidades da revelação ocorrerão aos versados na técnica aos quais esta revelação diz respeito de posse do benefício dos preceitos aqui apresentados nas descrições anteriores e nos desenhos associados. As modalidades aqui descritas têm o propósito apenas ilustrativo, e não pretendem ser limitantes ou exaustivas. Embora termos específicos sejam empregados aqui, eles são usados em um sentido apenas genérico e descritivo, e não com propósitos de limitação.

## REIVINDICAÇÕES

1. Método para remover um detalhe de metal (150) de um material dielétrico de um artigo (136), caracterizado pelo fato de que compreende as etapas de:

colocar um artigo (136) em um banho eletrolítico (202) de maneira tal que pelo menos uma porção de um detalhe de metal (150) fique submersa, o detalhe de metal (150) sendo acoplado em um material dielétrico (124);

aplicar uma camada de mascaramento (170) a uma porção do detalhe de metal (150) para formar uma porção mascarada (174) e uma porção não mascarada (176) do detalhe de metal (150), a porção não mascarada (176) sendo exposta ao banho eletrolítico (202);

posicionar pelo menos um catodo no banho eletrolítico (202) em uma relação espaçada com o detalhe de metal (150);

passar corrente elétrica através do detalhe de metal (150);

eletrorremover a porção não mascarada (176) do detalhe de metal (150) do material dielétrico (124) em resposta à etapa de passar corrente elétrica através do detalhe de metal (150); e,

remover progressivamente a camada de mascaramento (170) do detalhe de metal (150) durante a sua eletrorremoção.

2. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que compreende adicionalmente as etapas de:

monitorar uma borda de mascaramento (172) para uma porção não eletrorremovida (158) do detalhe de metal (150) representando uma ilha de metal potencial em que o detalhe de metal (150) pode ficar eletricamente desconectado de uma conexão do anodo (206);

aplicar um selante de mascaramento (178) ao longo da borda de mascaramento (172) de maneira tal que o selante de mascaramento (178) sobreponha pelo menos parcialmente a porção não eletrorremovida (158); e

retomar a passagem da corrente elétrica através do detalhe de metal (150) após aplicação do selante de mascaramento (178).

3. Método de acordo com a reivindicação 1 ou 2, caracterizado pelo fato de que:

o material dielétrico (124) compreende pelo menos um dentre os seguintes: vidro, cerâmica, material polimérico.

4. Método de acordo com a reivindicação 3, caracterizado pelo fato de que:

o material polimérico compreende um acoplamento adesivo do detalhe de metal (150) em um substrato (128).

5. Método de acordo com a reivindicação 4, caracterizado pelo fato de que:

o substrato (128) é formado a partir de pelo menos um dentre material metálico e material compósito.

6. Método de acordo com a reivindicação 5, caracterizado pelo fato de que:

o material compósito compreende material de matriz de polímero reforçado com fibra.

7. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 6, caracterizado pelo fato de que:

o detalhe de metal (150) tem uma espessura de pelo menos 50,8 µm (0,002 polegada).

8. Método de acordo com a reivindicação 3, caracterizado pelo fato de que compreende adicionalmente a etapa de:

aplicar uma camada de mascaramento (170) sobre um substrato (128) do artigo (136) de uma tal maneira a impedir contato do substrato (128) com o banho eletrolítico (202).

9. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 8, caracterizado pelo fato de que:

o pelo menos um catodo compreende um par de catodos posicionados em lados opostos do artigo (136).

10. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 9, caracterizado pelo fato de que:

a corrente elétrica compreende uma corrente contínua.

11. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 10, caracterizado pelo fato de que a etapa de passar corrente elétrica através do detalhe de metal (150) inclui:

manter uma tensão constante da corrente elétrica; e

deixar que uma amperagem da corrente elétrica varie quando da eletrorremoção do detalhe de metal (150).

12. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 11, caracterizado pelo fato de que o catodo é modelado complementarmente ao detalhe de metal (150).

13. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 12, caracterizado pelo fato de que compreende adicionalmente a etapa de:

manter um caminho elétrico contíguo entre uma conexão do anodo (206) e uma porção substancial do detalhe de metal (150) até que o detalhe de metal (150) seja removido do material dielétrico (124).

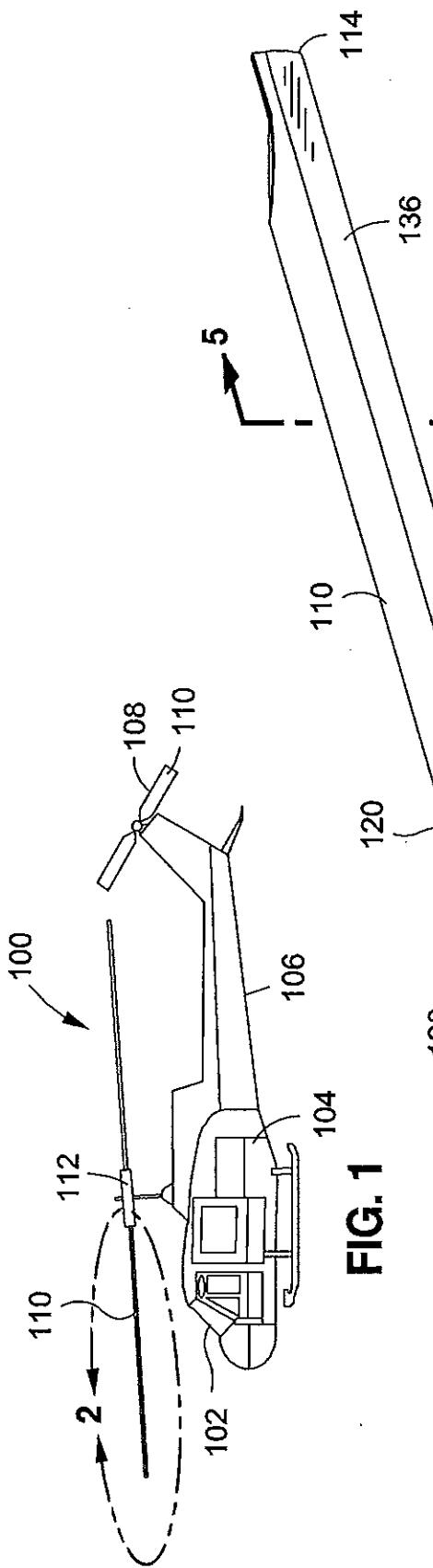


FIG. 1

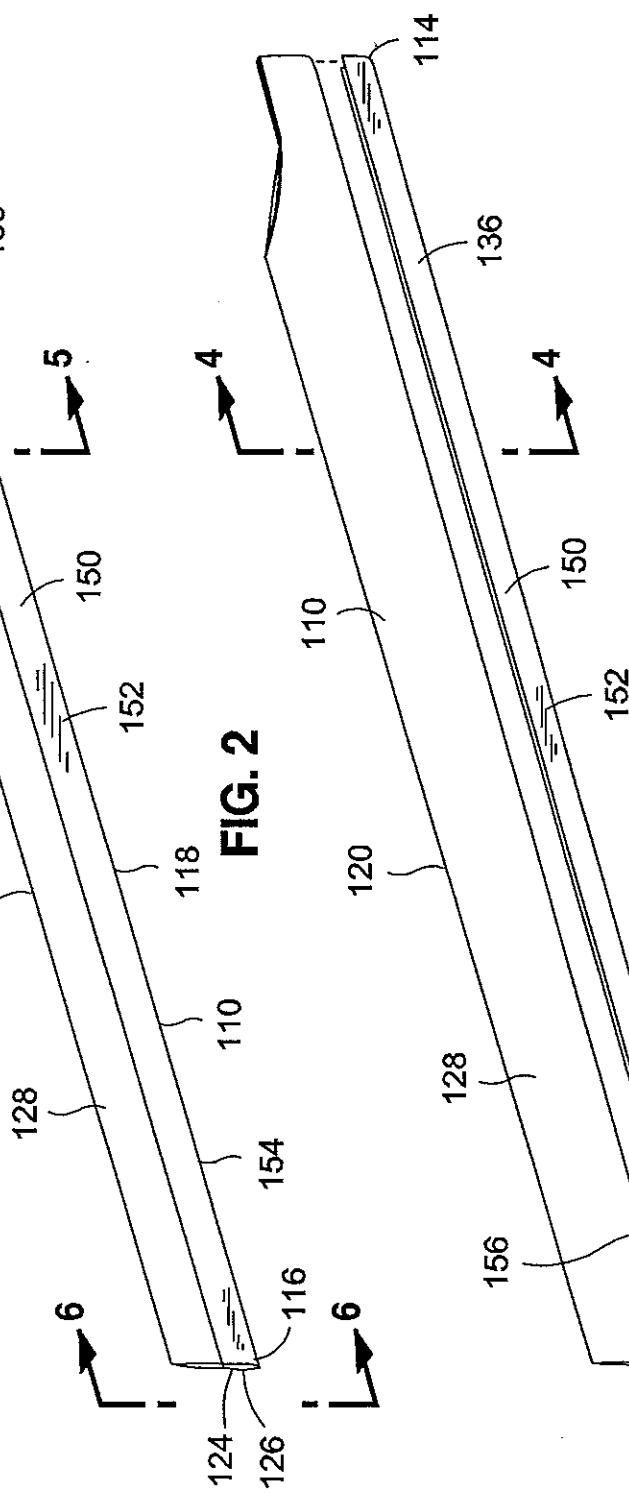
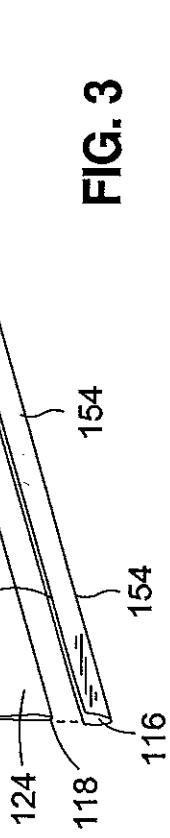
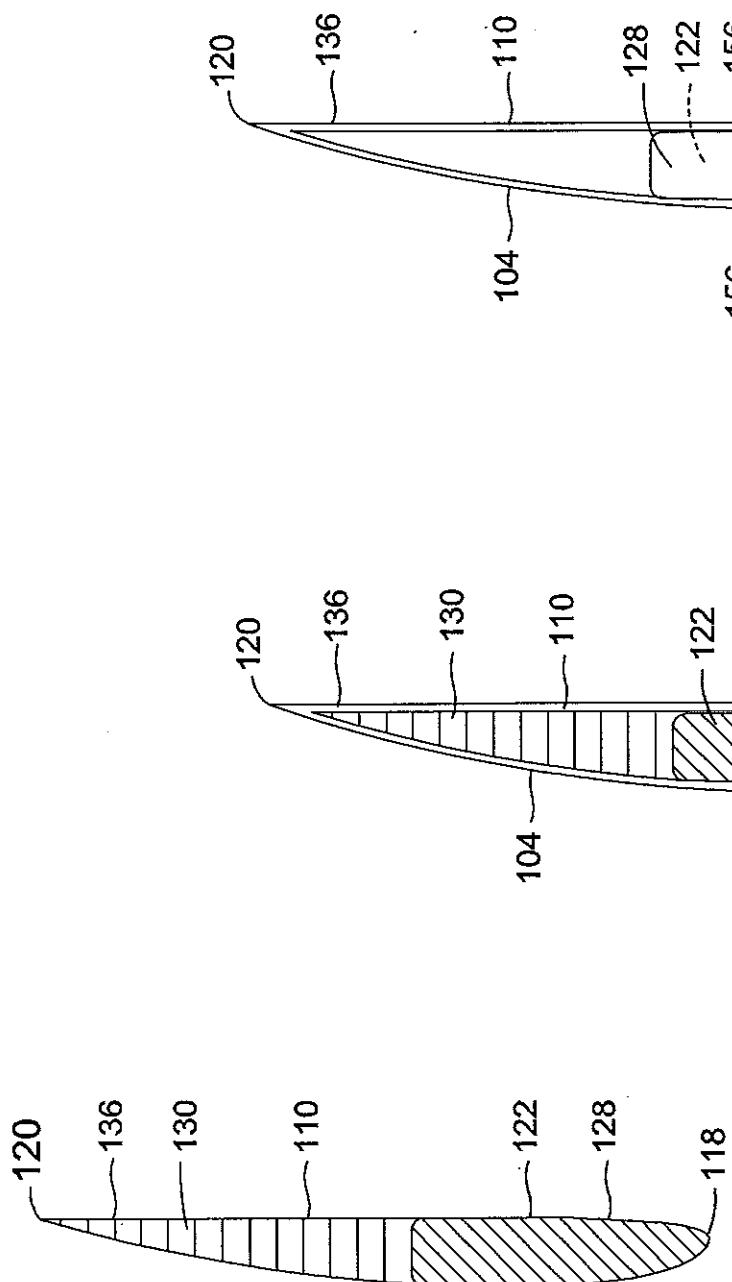
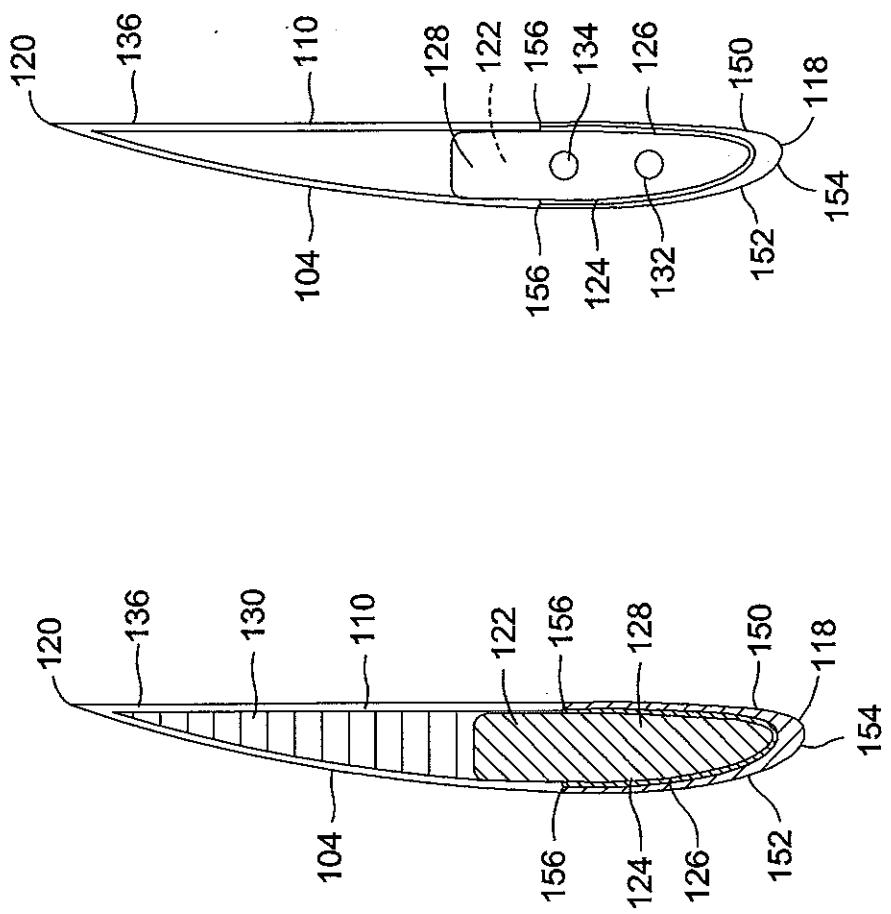
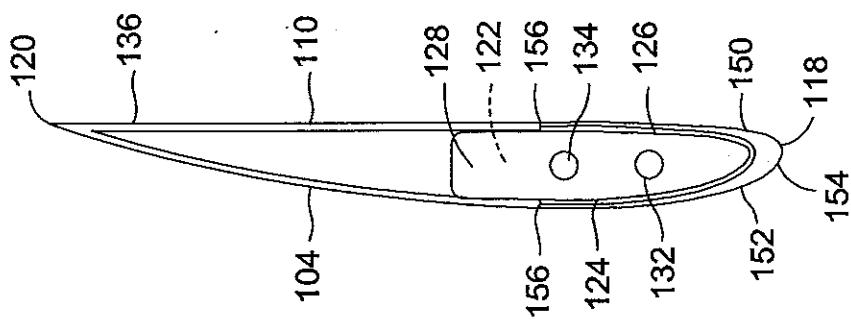


FIG. 2



3  
FIG.

**FIG. 4****FIG. 5****FIG. 6**

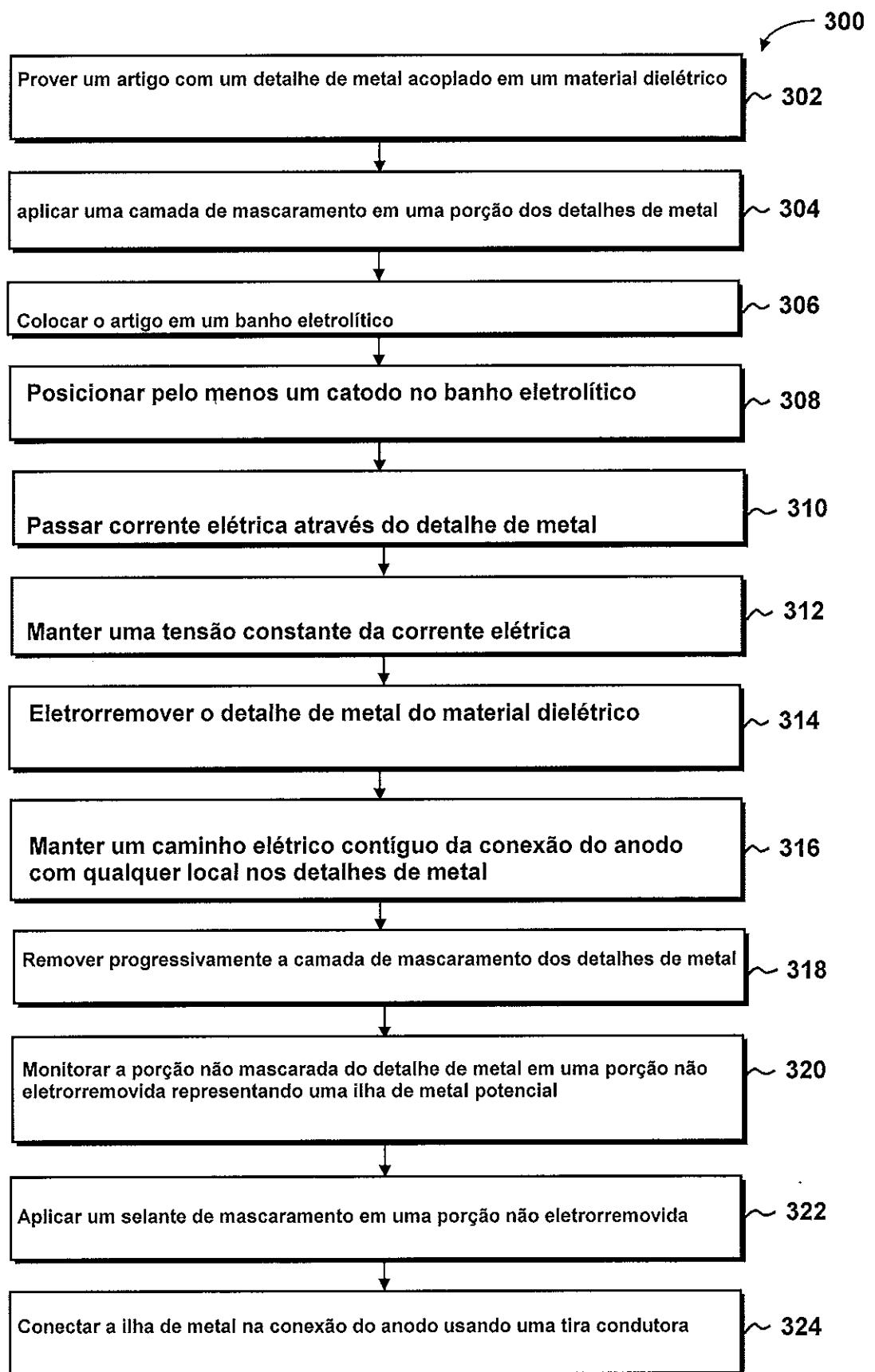
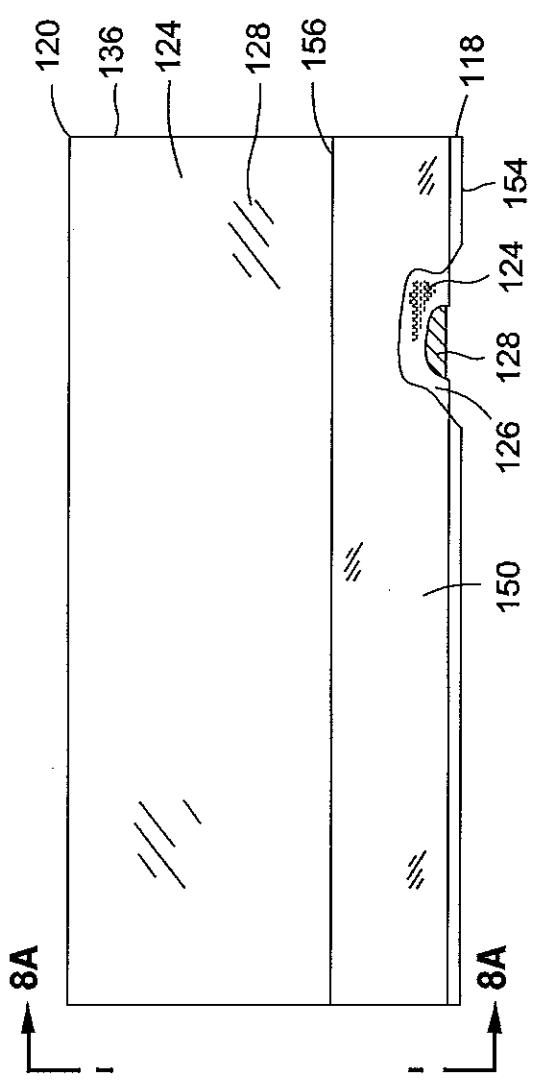
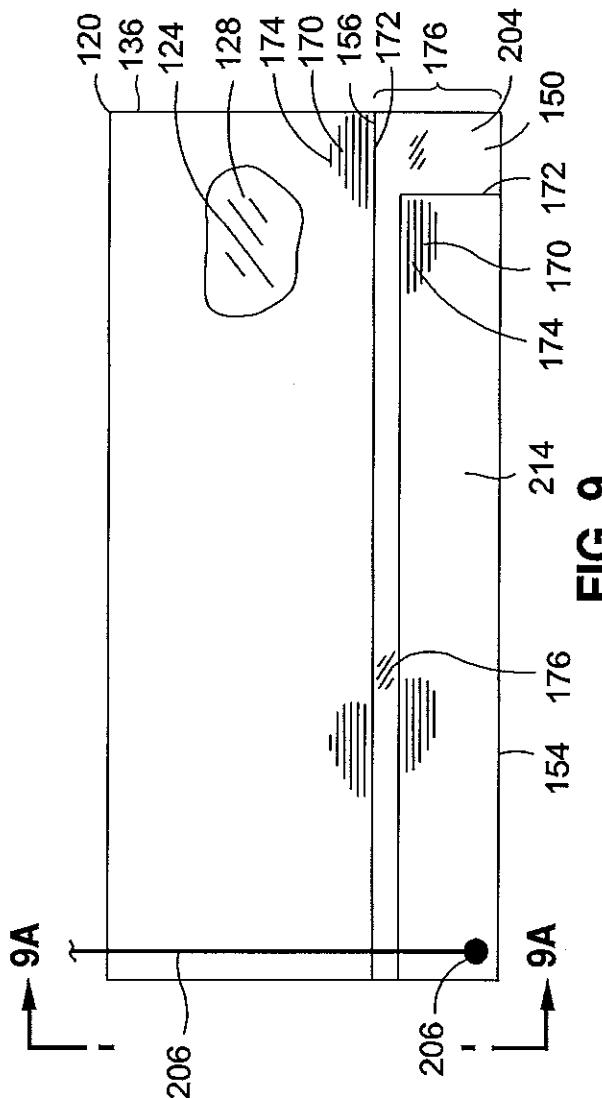
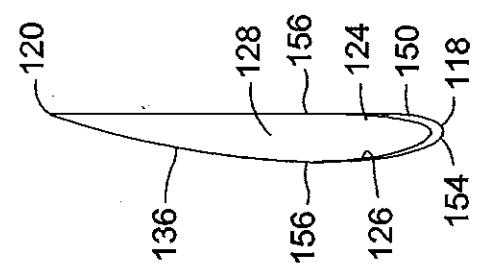
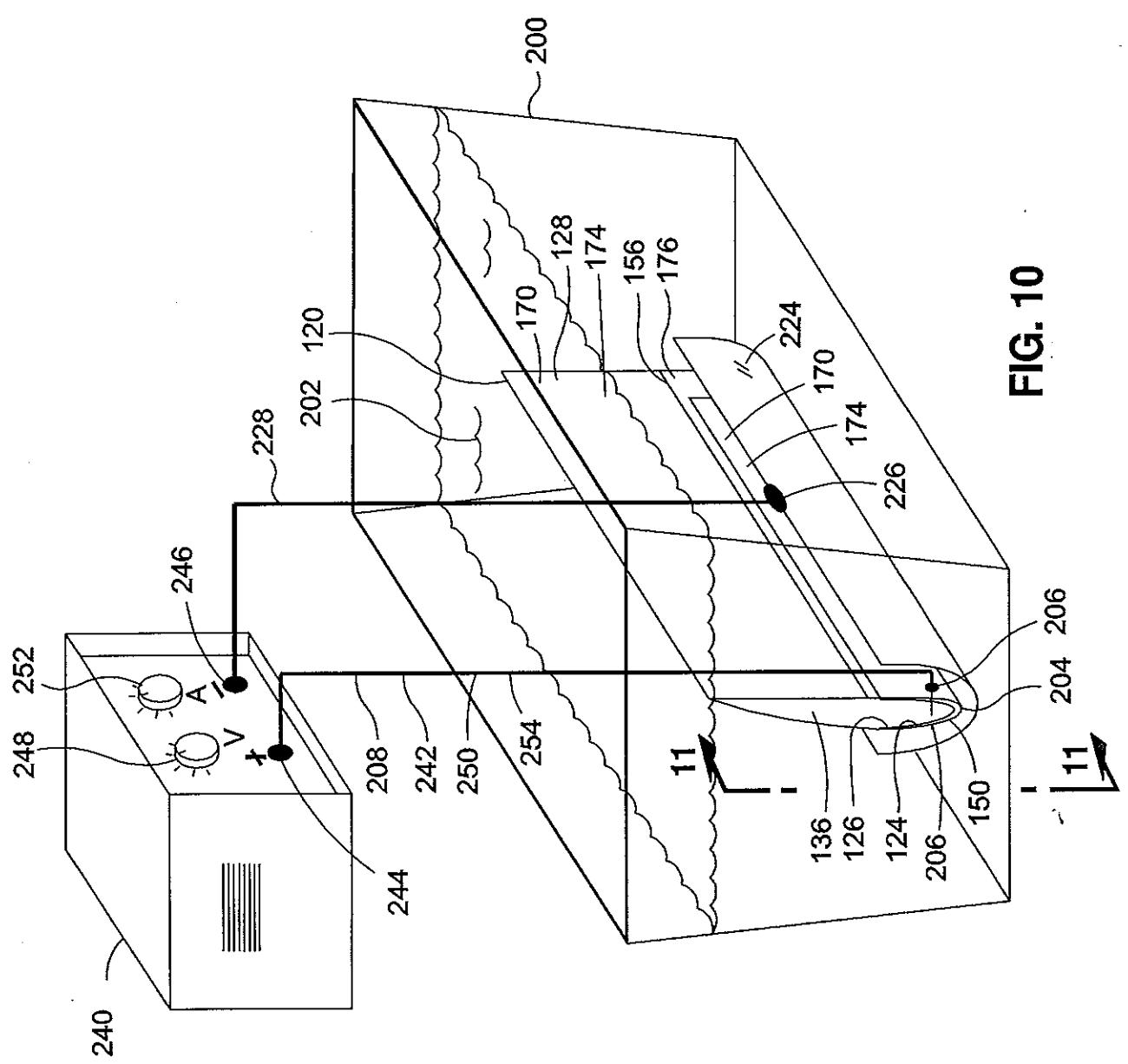


FIG. 7

**FIG. 8A****FIG. 8****FIG. 9A**



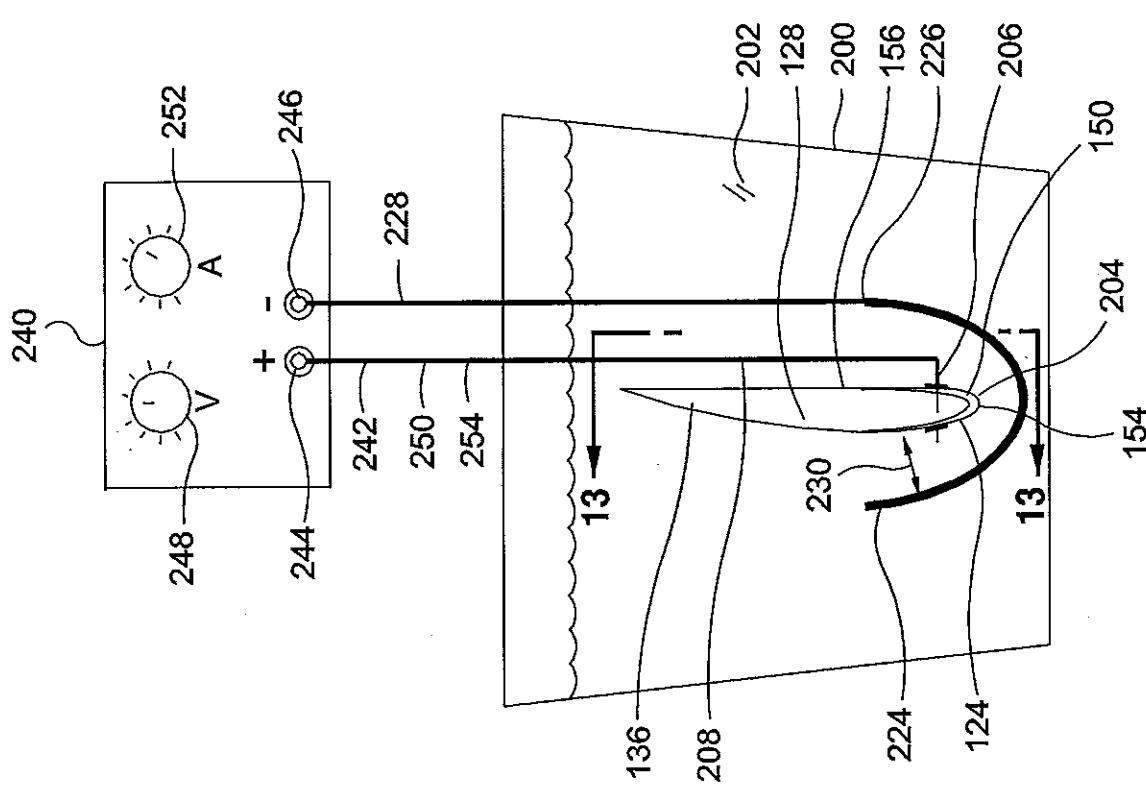
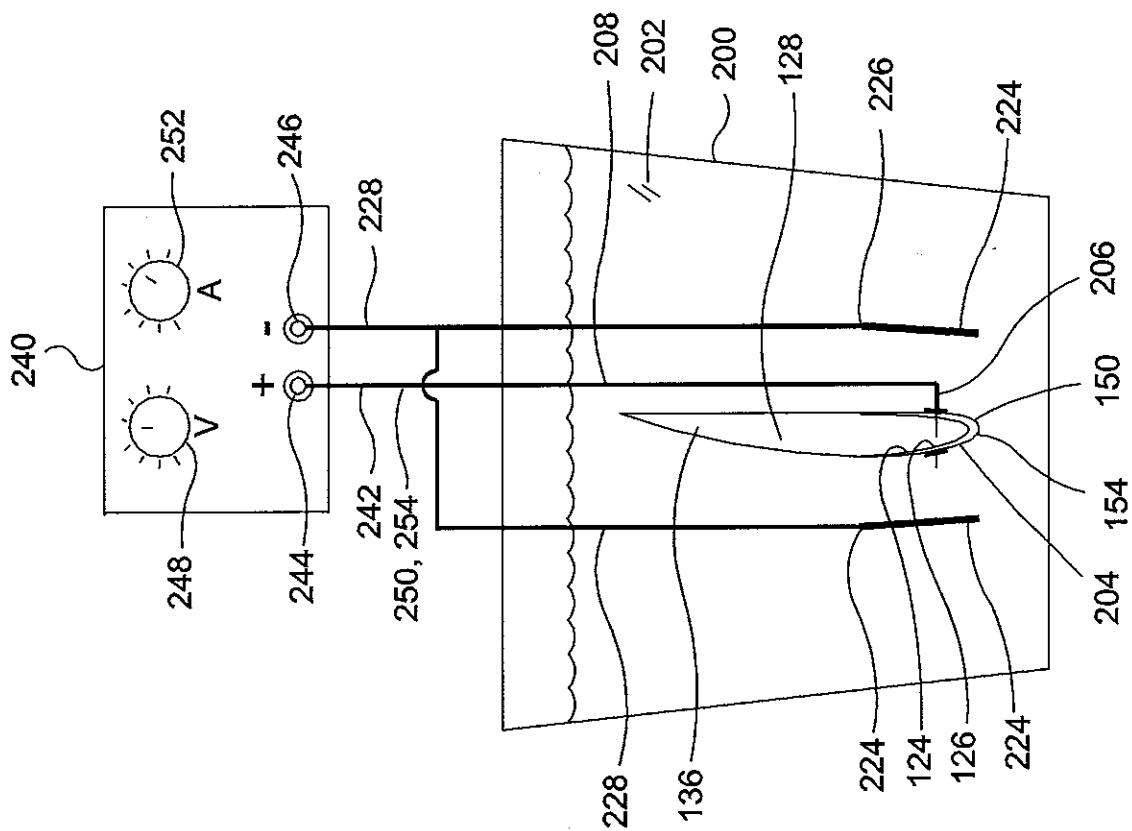
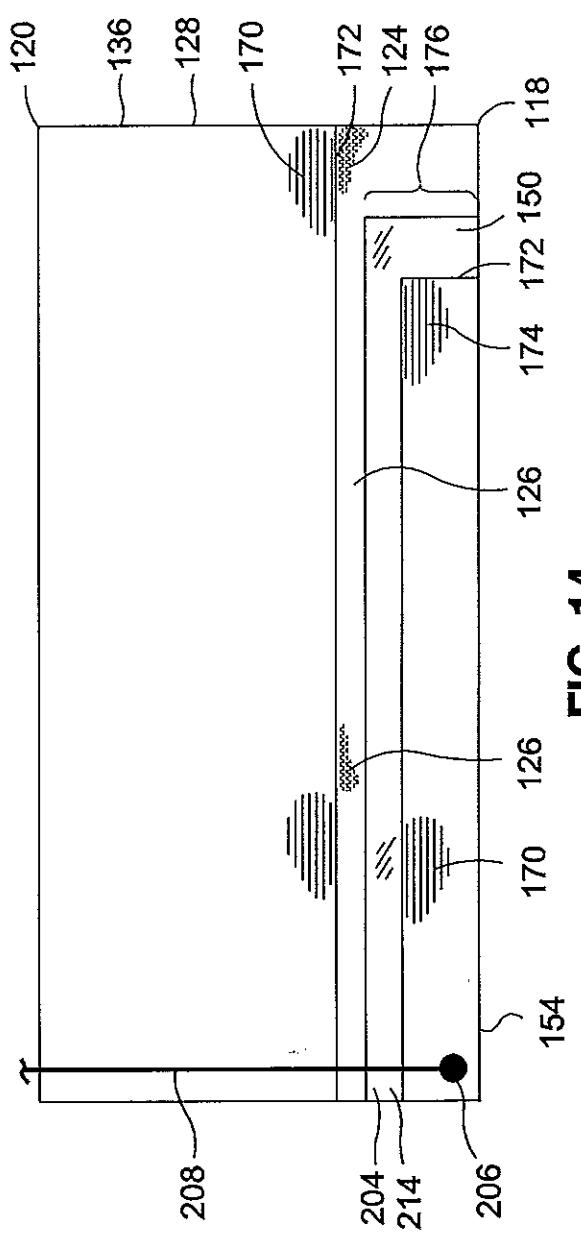
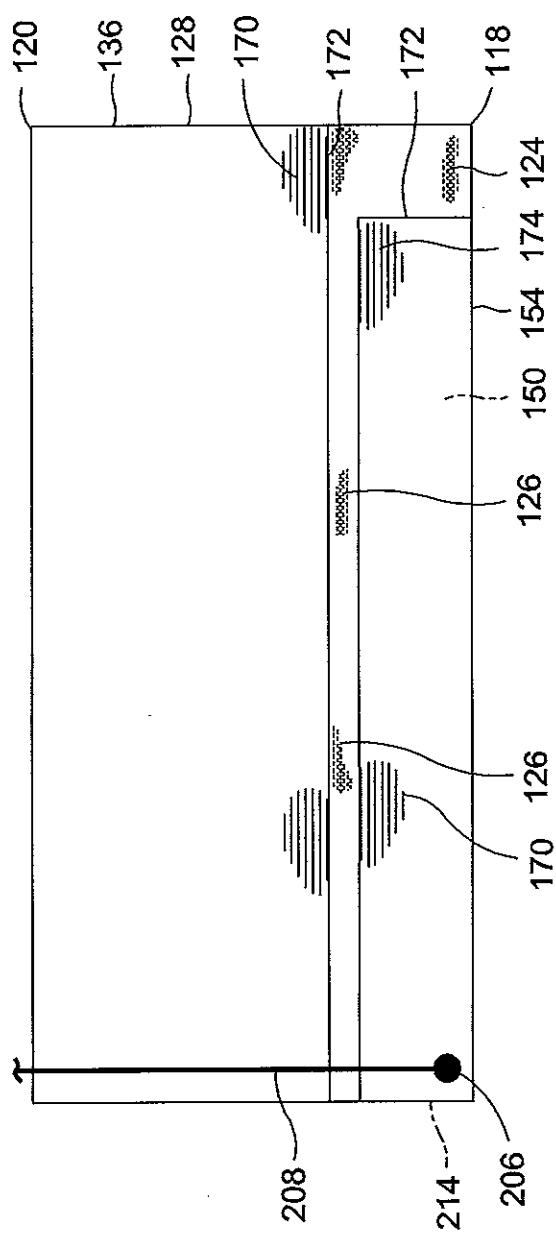
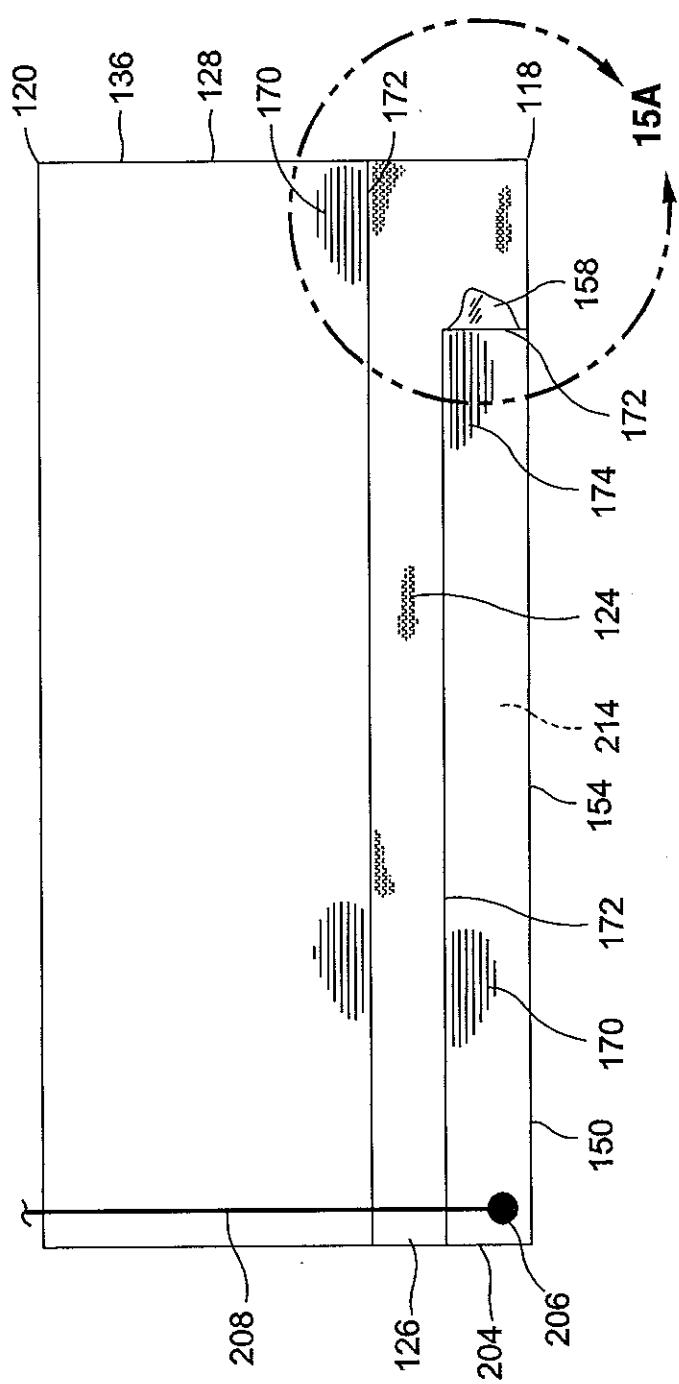


FIG. 12

FIG. 11



**FIG. 15**

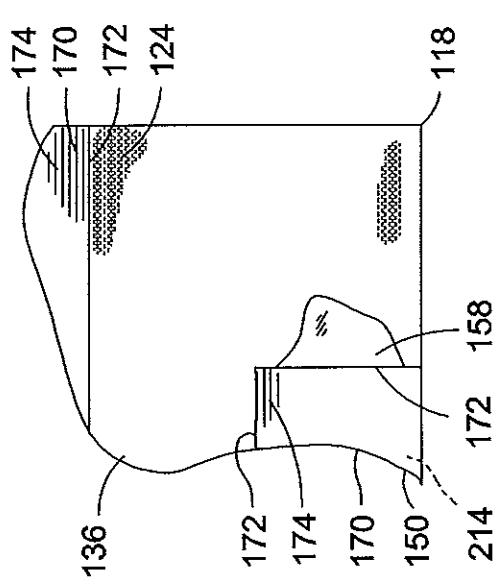


FIG. 15A

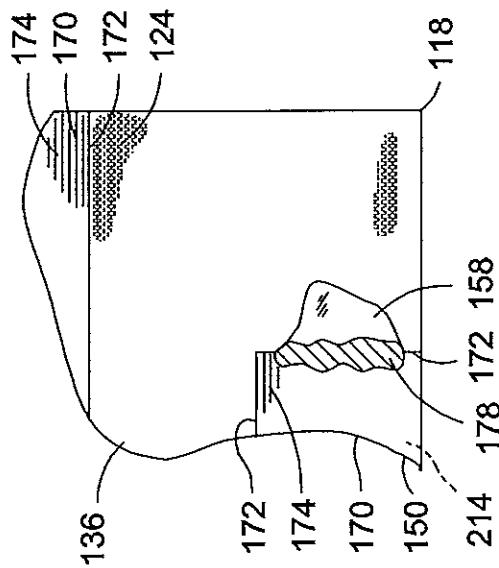


FIG. 15B

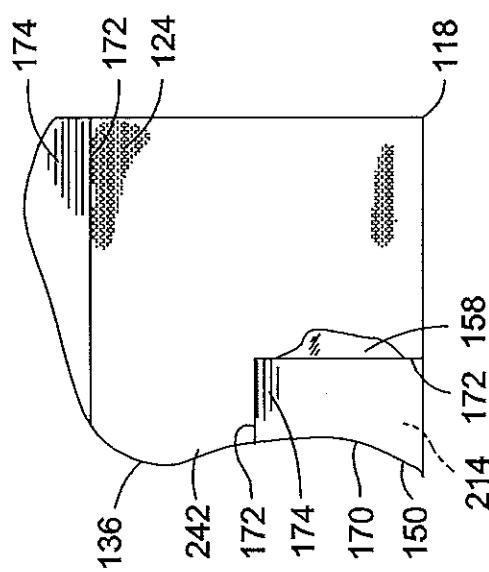


FIG. 15C

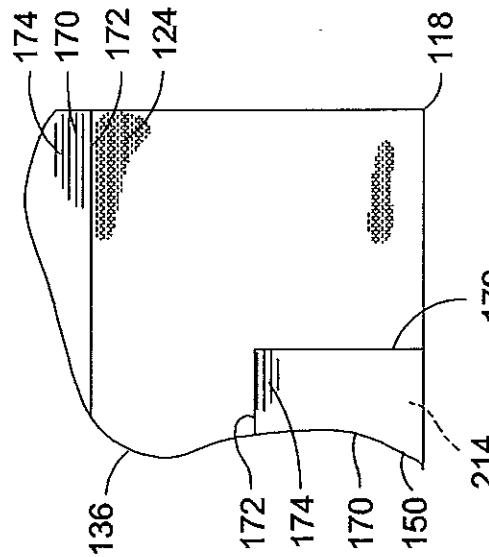
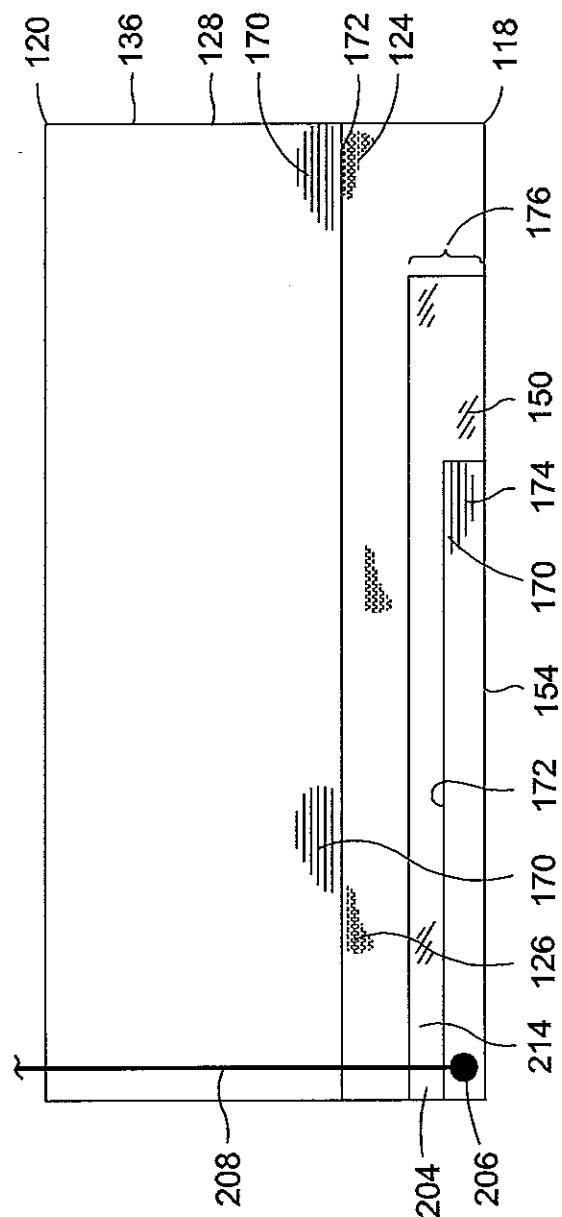
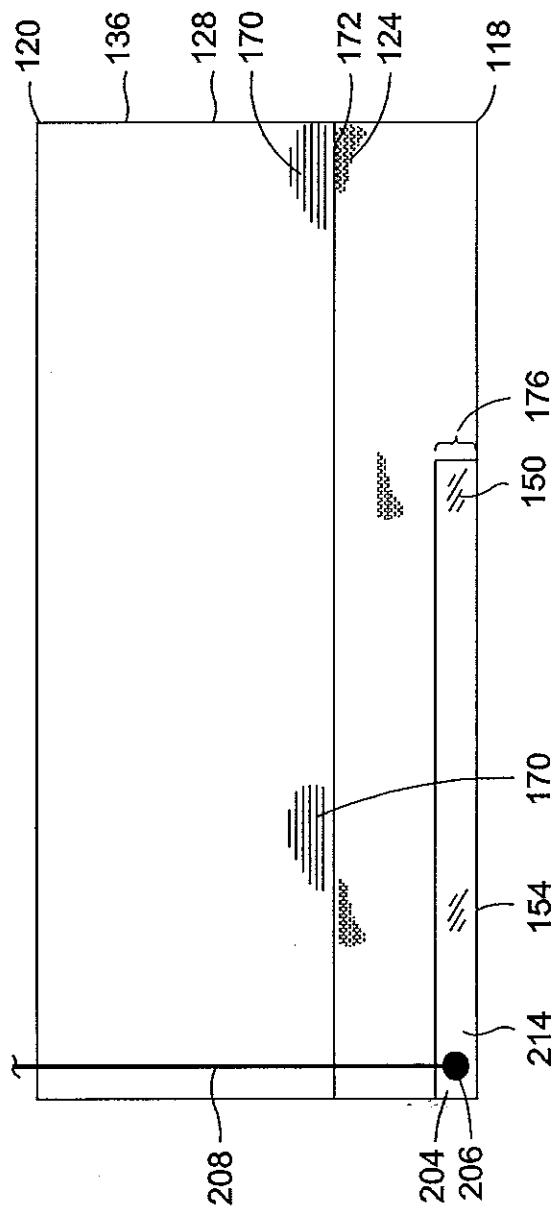


FIG. 15D



**FIG. 16**



**FIG. 17**

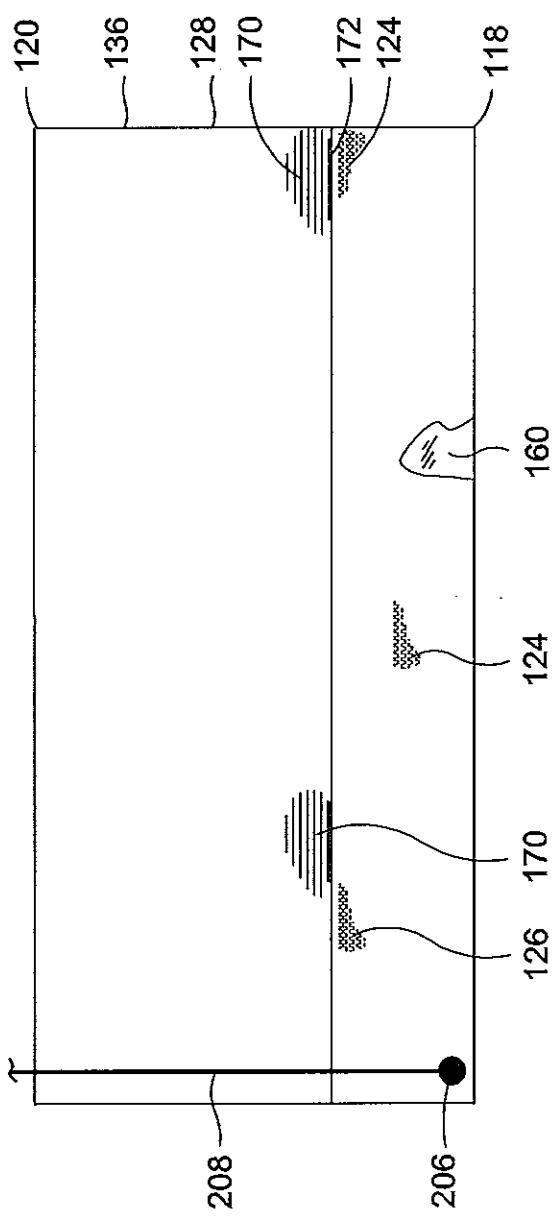


FIG. 18

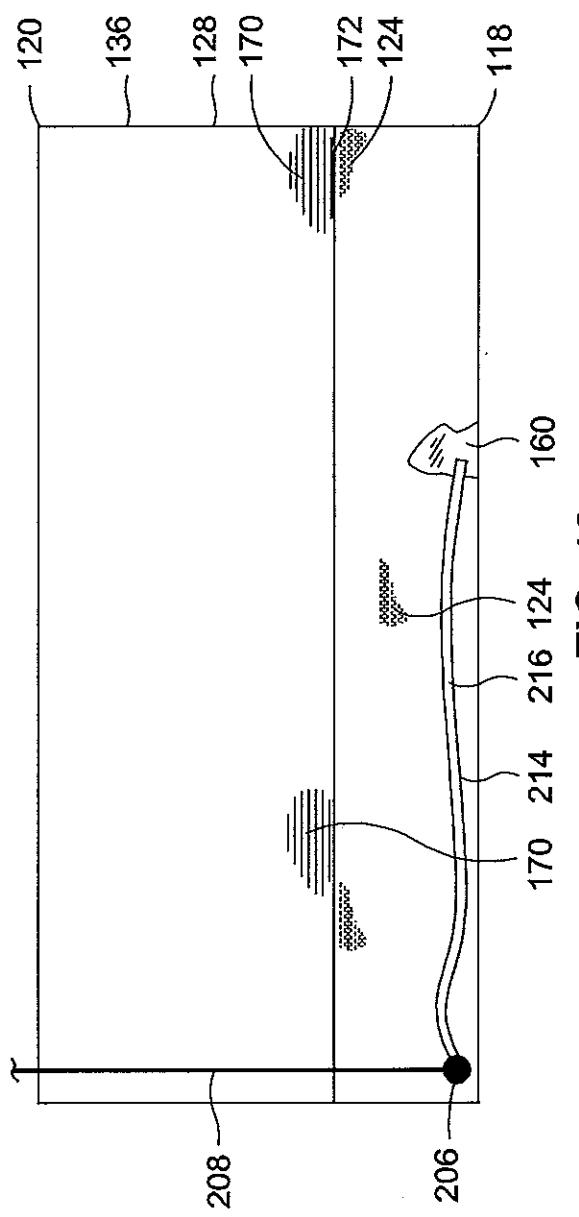


FIG. 19

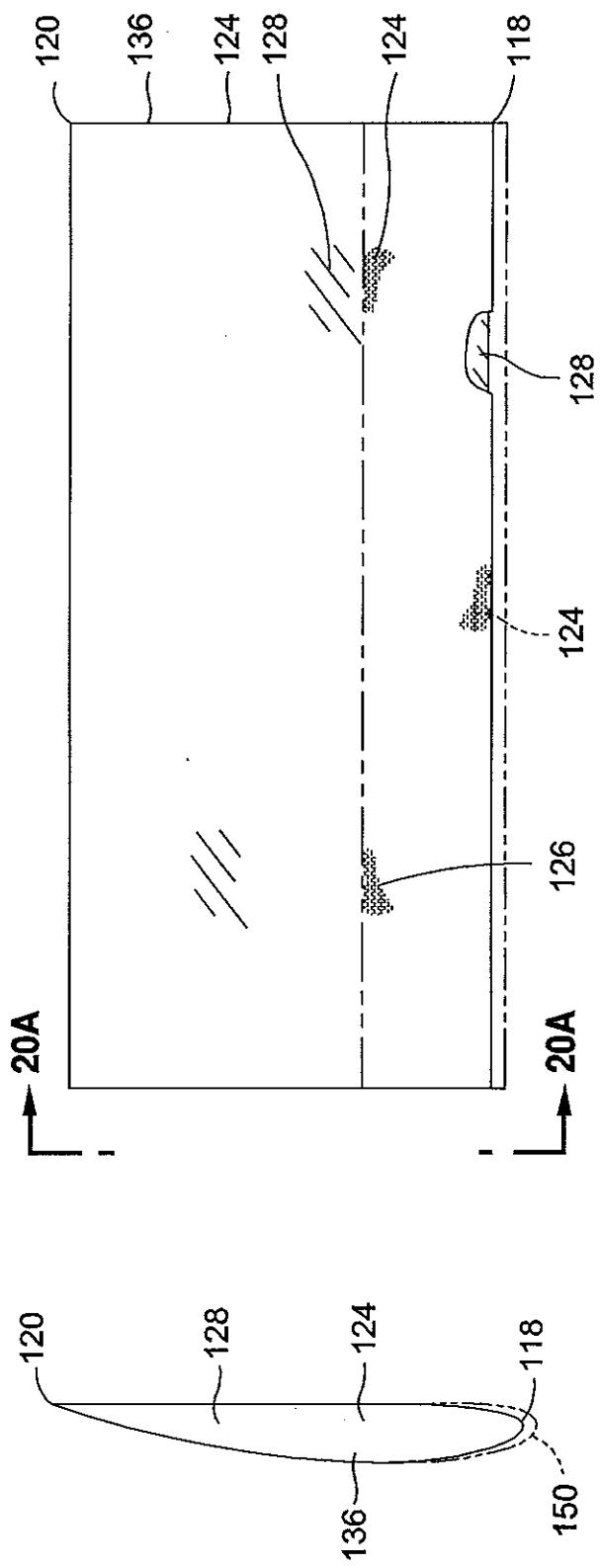


FIG. 20A

FIG. 20

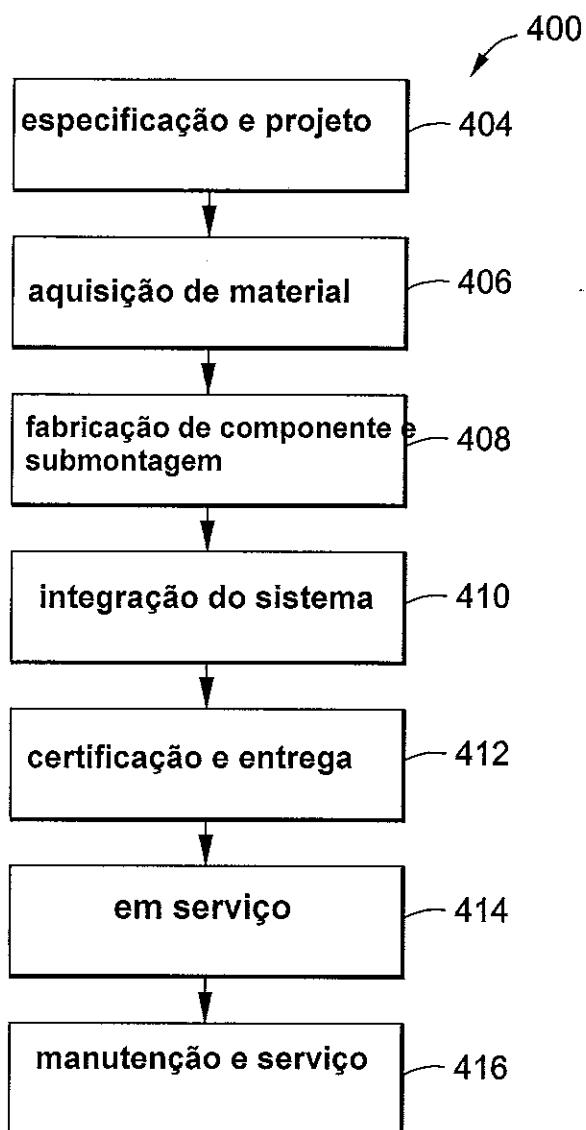


FIG. 21

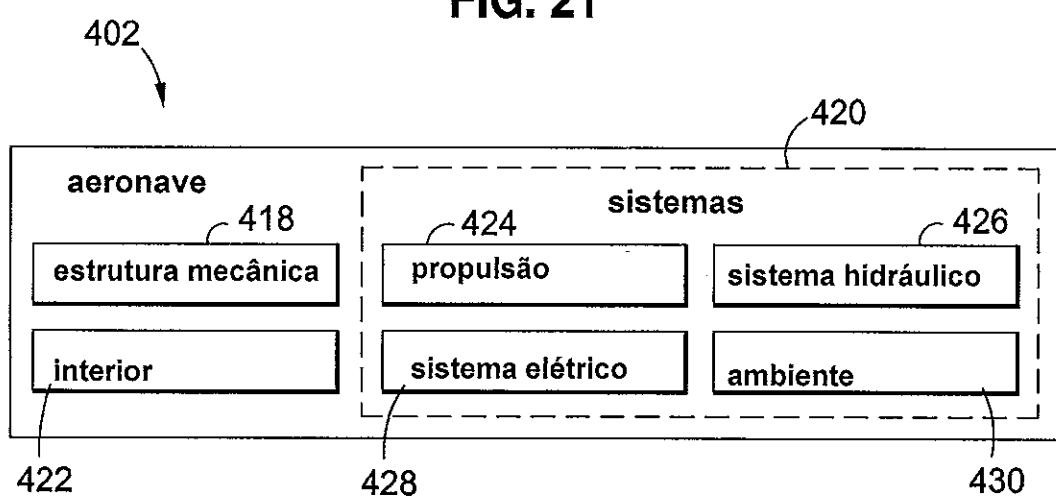


FIG. 22