



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

(11) PI 0710353-0 B1



(22) Data do Depósito: 27/04/2007

(45) Data de Concessão: 17/03/2020

(54) Título: ARRANJO DE ALTERAÇÃO MORFOLÓGICA DE BORDA PARA UM AEROFÓLIO QUE TEM SUPERFÍCIES DE CONTROLE SUPERIOR E INFERIOR

(51) Int.Cl.: B64C 27/54.

(30) Prioridade Unionista: 27/04/2006 US 60/795,956.

(73) Titular(es): FLEXSYS, INC..

(72) Inventor(es): JOEL A. HETRICK; GREGORY F. ERVIN; SRIDHAR KOTA.

(86) Pedido PCT: PCT US2007010438 de 27/04/2007

(87) Publicação PCT: WO 2007/145718 de 21/12/2007

(85) Data do Início da Fase Nacional: 28/10/2008

(57) Resumo: ARRANJO DE ALTERAÇÃO MORFOLÓGICA DE BORDA PARA UM AEROFÓLIO QUE TEM SUPERFÍCIES DE CONTROLE SUPERIOR E INFERIOR É ARRANJO PARA CONVERTER MOVIMENTO LINEAR EM MOVIMENTO ROTATÓRIO. Trata-se de um arranjo de alteração morfológica de borda para um aerofólio que tem superfícies de controle superior e inferior que é provido com um elemento de nervura arranjado para se sobrepor à borda do aerofólio. O elemento de nervura tem primeira e segunda partes de nervura arranjadas para se comunicar com as superfícies respectivamente associadas de controle superior e inferior do aerofólio. Um primeiro elemento de ligação compatível tem primeira e segunda extremidades e é disposto entre a primeira e a segunda partes de nervura do elemento de nervura, e cada uma dentre a primeira e a segunda extremidades é acoplada ao interior de uma parte respectivamente associada dentre a primeira e a segunda partes de nervura. Adicionalmente, é apresentada uma ligação de propulsão que tem primeira e segunda extremidades de ligação de propulsão, em que a primeira extremidade de ligação de propulsão é acoplada ao interior de uma parte selecionável dentre a primeira e a segunda partes de nervura na vizinhança do acoplamento da extremidade respectivamente associada do primeiro elemento de ligação (...).

ARRANJO DE ALTERAÇÃO MORFOLÓGICA DE BORDA PARA UM
AEROFÓLIO QUE TEM SUPERFÍCIES DE CONTROLE SUPERIOR E INFERIOR

5

ANTECEDENTES DA INVENÇÃO

CAMPO DA INVENÇÃO

A presente invenção refere-se de maneira geral a sistemas resilientes e, mais particularmente, a um arranjo de folha de ar resiliente que tem uma configuração aerodinâmica variável.

10

DESCRIÇÃO DOS DESAFIOS DO DESENHO

O desenho de uma superfície de controle adaptável para um "rotorcraft" acarreta desafios significativos. O desafio principal consiste em desenhar uma estrutura eficiente que possa distribuir a potência de atuação local à superfície do plano aerodinâmico para produzir uma mudança especificada da forma. Este sistema deve fornecer o controle apropriado da forma na superfície adaptável enquanto satisfaz as restrições de potência, peso, acondicionamento e capacidade de sobrevivência. Devido ao desafio dos sistemas do "rotorcraft", devem ser focados os seguintes critérios do desenho:

20

Alteração Morfológica

Localização da "D-Spar"

25

Formas requeridas para a eliminação da cabina

Localização da tira de desgaste {% da corda superior - inferior)

Topologia/geometria da estrutura compatível para efetuar a mudança da forma

30

Potência requerida para obter a deflexão:

Carga da pressão

Deflexão requerida (10°, 5°)

Tempo de resposta (5 Hz a 7 Hz)

Rigidez da estrutura compatível requerida
(restrições aeroelásticas e dinâmicas)

Questões de Acondicionamento:

Densidade de potência de atuador disponível
(rotatório ultra-sônico, eletromagnético,
engrenagem gradual, etc.)

Localização da "D-Spar"

Geometria do sistema atuador - deve se mover com a
aba (maximizar o espaço disponível)

10 Funcionalidade:

Integridade estrutural da aba LE

Resposta dinâmica/aeroelástica & carga de fadiga

O processo de desenhar uma aba da borda dianteira
de estrutura compatível é um processo altamente
15 interdisciplinar que envolve a aerodinâmica, mecânica
estrutural e cinemática. Todos estes componentes estão inter-
relacionados de uma maneira tal que o desenho da estrutura
compatível final depende bastante de todos os três (Figura
1). Essencialmente, a análise aerodinâmica dirige as formas
20 aerodinâmicas ideais e prediz as distribuições da pressão
experimentadas por estas formas. A cinemática está
relacionada às formas que podem ser obtidas de acordo com as
limitações de desenho, tais como a restrição do alongamento
do perímetro de superfície e a minimização das transições de
25 curvatura que estão relacionadas à tensão estrutural. Deve
ser observado que a estrutura pode se otimizada em torno de
uma forma alvo intermediária (denominada posição de tensão
medial), que reduz as forças e as tensões sobre todo o
envelope de mudança da forma. Isto coloca uma importância
30 adicional no desenho da forma alvo, uma vez que a forma de
tensão medial deve ser capaz de alterar morfológicamente com
precisão nas formas alvo extremas.

SUMÁRIO DA INVENÇÃO

Os objetivos acima e outros ainda são atingidos pela presente invenção, a qual apresenta um arranjo de alteração morfológica de borda para um plano aerodinâmico que tem superfícies de controle superior e inferior.

5 De acordo com a invenção, o arranjo de alteração morfológica da borda do plano aerodinâmico é provido com um elemento de nervura arranjado para se sobrepor à borda do plano aerodinâmico. O elemento de nervura tem uma primeira e uma segunda partes de nervura arranjadas para se comunicar
10 respectivamente as superfícies associadas dentre as superfícies de controle superior e inferior do plano aerodinâmico. Um primeiro elemento de ligação compatível tem uma primeira e uma segunda extremidade e é disposto entre a primeira e a segunda parte de nervura do elemento de nervura,
15 em que cada uma dentre a primeira e a segunda extremidade é acoplada ao interior de uma parte respectivamente associada dentre a primeira e a segunda parte de nervura. Adicionalmente, é provida uma ligação de propulsão que tem uma primeira e uma segunda extremidade de ligação de
20 propulsão, e a primeira extremidade da ligação de propulsão é acoplada ao interior de uma parte selecionável dentre a primeira e a segunda partes de nervura na vizinhança do acoplamento da extremidade respectivamente associada do primeiro elemento de ligação compatível. A segunda
25 extremidade é arranjada para receber uma força de alteração morfológica, e o elemento de nervura é deformado em resposta à força de alteração morfológica.

Em uma realização deste aspecto do aparelho da invenção, também é provido um segundo elemento de ligação
30 compatível que tem uma primeira e uma segunda extremidade e é disposto entre a primeira e a segunda partes de nervura do elemento de nervura. Cada uma dentre a primeira e a segunda extremidade é acoplada ao interior de uma parte

respectivamente associada dentre primeira e a segunda partes de nervura. O primeiro e o segundo elementos de ligação compatíveis são arranjados para que tenham uma relação angular predeterminada.

Em uma realização vantajosa, é provido um atuador linear que tem um eixo longitudinal e um primeiro elemento acoplador arranjado angularmente com relação ao eixo longitudinal. Um elemento rotatório que tem um eixo de rotação e um segundo elemento acoplador é acoplado com a segunda extremidade da ligação de propulsão. O primeiro elemento acoplador do atuador linear é provido com um entalhe arranjado com relação ao eixo longitudinal. Adicionalmente, o segundo elemento acoplador do elemento rotatório é provido com um pino de acoplamento para acoplar no entalhe do primeiro elemento acoplador. Um arranjo de rolamento acopla o pino de acoplamento de maneira rotativa ao elemento rotatório.

Preferivelmente, a primeira parte de nervura é acoplada de maneira fixável à superfície de controle superior, e a segunda parte de nervura é acoplada de maneira deslizável à superfície de controle inferior. Nesta realização ilustrativa específica da invenção, um elemento de propulsão rotatório é acoplado à segunda extremidade da ligação de propulsão para aplicar a força de alteração morfológica. Um elemento de propulsão longitudinal acopla com o elemento de propulsão rotatório para forçar o elemento de propulsão rotatório a aplicar a força de alteração morfológica.

Em ainda uma outra realização, é apresentado um elemento de nervura adicional, em que o segundo elemento de nervura é arranjado para se sobrepor à borda do plano aerodinâmico, e o elemento de nervura adicional tem uma primeira e uma segunda partes de nervura respectiva

arranjadas para se comunicar com as superfícies respectivamente associadas dentre as superfícies de controle superior e inferior do plano aerodinâmico. Um primeiro elemento de ligação compatível adicional tem uma primeira e uma segunda extremidade e é disposto entre a primeira e a segunda partes de nervura do elemento de nervura adicional, e cada uma dentre a primeira e a segunda extremidade é acoplada ao interior de uma parte respectivamente associada dentre a primeira e a segunda partes de nervura. Adicionalmente, uma ligação de propulsão adicional que tem uma primeira e uma segunda extremidade da ligação de propulsão também é provida, em que a primeira extremidade da ligação de propulsão é acoplada ao interior de uma parte selecionável dentre a primeira e a segunda partes de nervura do elemento de nervura adicional na vizinhança do acoplamento da extremidade respectivamente associada do primeiro elemento de ligação compatível, e a segunda extremidade é arranjada para receber uma respectiva força de alteração morfológica. O elemento de nervura adicional é deformado em resposta à respectiva força de alteração morfológica. Um elemento de propulsão rotatório é acoplado à segunda extremidade da ligação de propulsão do elemento de nervura e à segunda extremidade da ligação de propulsão adicional do elemento de nervura adicional, para aplicar uma respectiva força de alteração morfológica a cada uma dentre a ligação de propulsão e a ligação de propulsão adicional. Um elemento de propulsão longitudinal acopla com o elemento de propulsão rotatório para forçar o elemento de propulsão rotatório a aplicar as respectivas forças de alteração morfológica. Adicionalmente, uma tampa da borda é arranjada para se sobrepor ao elemento de nervura e ao elemento de nervura adicional na borda do plano aerodinâmico, em que a tampa da borda tem uma primeira e uma segunda parte da tampa arranjada para se comunicar com as superfícies

respectivamente associadas dentre as superfícies de controle superior e inferior do plano aerodinâmico.

De acordo com uma realização altamente vantajosa da invenção, a ligação de propulsão e a ligação de propulsão adicional são configuradas para produzir respectivamente deformações diferentes do respectivo elemento de nervura e de um elemento de nervura adicional. Mais especificamente, para uma determinada extensão de atuação, o elemento de nervura e o elemento de nervura adicional são configurados para que tenham relações operacionais diferentes. Isto é útil ao desenhar as cargas do plano aerodinâmico, por exemplo, que variam na extensão do plano aerodinâmico ou da pá do rotor.

A tampa, ou cobertura, tem uma espessura que é variada para acomodar estruturas internas e também para obter uma característica de compatibilidade predeterminada.

De acordo com um segundo aspecto do aparelho da invenção, é apresentado um arranjo de alteração morfológica da borda para um plano aerodinâmico que tem superfícies de controle superior e inferior, em que o arranjo de alteração morfológica da borda do plano aerodinâmico é provido com uma pluralidade de elementos de nervura, cada um deles arranjado para se sobrepor à borda do plano aerodinâmico. Cada um dos elementos de nervura tem uma primeira e uma segunda parte de nervura arranjada para se comunicar com as superfícies respectivamente associadas dentre as superfícies de controle superior e inferior do plano aerodinâmico. Além disso, cada um dos elementos de nervura tem um elemento associado dentre:

um primeiro elemento de ligação compatível que tem uma primeira e uma segunda extremidades e disposto entre a primeira e a segunda partes de nervura do elemento de nervura associado, em que cada uma dentre a primeira e a segunda extremidades é acoplada ao interior de uma parte respectivamente associada dentre a primeira e a segunda

partes de nervura; e

uma ligação de propulsão que tem uma primeira e uma segunda extremidades da ligação de propulsão, em que a primeira extremidade da ligação de propulsão é acoplada ao interior de uma parte selecionável dentre a primeira e a segunda partes de nervura na vizinhança do acoplamento da extremidade respectivamente associada do primeiro elemento de ligação compatível, e a segunda extremidade é arranjada para receber uma força de alteração morfológica, sendo que o elemento de nervura é deformado em resposta à força de alteração morfológica.

Adicionalmente, um elemento de propulsão rotatório é acoplado a cada uma das segundas extremidades de cada uma das ligações de propulsão para aplicar uma respectiva força de alteração morfológica a cada uma das ligações de propulsão. Cada elemento da pluralidade de elementos de nervura é deformado em resposta à força de alteração morfológica respectivamente aplicada.

Em uma realização deste aspecto adicional da invenção, é adicionalmente apresentado um elemento de propulsão longitudinal que é acoplado com os elementos de propulsão rotatórios para forçar o elemento de propulsão rotatório a aplicar as respectivas forças de alteração morfológica.

Em ainda uma outra realização, é apresentada uma tampa da borda arranjada para se sobrepor à pluralidade de elementos de nervura na borda do plano aerodinâmico, em que a tampa da borda tem uma primeira e uma segunda parte da tampa arranjada para se comunicar com as superfícies respectivamente associadas dentre as superfícies de controle superior e inferior do plano aerodinâmico. Cada elemento da pluralidade de elementos de nervura tem um segundo elemento de ligação compatível com a primeira e a segunda extremidade,

e é disposto entre a primeira e a segunda partes de nervura do elemento de nervura associado. Cada uma dentre a primeira e a segunda extremidade é acoplada ao interior de uma parte respectivamente associada dentre a primeira e a segunda parte de nervura. O primeiro e o segundo elemento de ligação compatível de cada elemento da pluralidade de elementos de nervura são arranjados para que tenham uma relação angular predeterminada.

Em ainda uma outra realização deste segundo aspecto do aparelho da invenção, o elemento de propulsão rotatório é acoplado articuladamente ao plano aerodinâmico. As forças de alteração morfológica são aplicadas em resposta à rotação principal do elemento de propulsão rotatório.

De acordo com um terceiro aspecto do aparelho da invenção, é apresentado um arranjo para converter o movimento linear em movimento rotatório, em que o arranjo tem um atuador linear que tem um eixo longitudinal e um primeiro elemento acoplador arranjado angularmente com relação ao eixo longitudinal. Adicionalmente, um elemento rotatório que tem um eixo de rotação e um segundo elemento acoplador acopla com o primeiro elemento acoplador.

O atuador linear é, em algumas realizações da invenção, uma haste de propulsão, um came de alternância, ou um motor linear.

De acordo com uma realização deste terceiro aspecto da invenção, é adicionalmente apresentada uma ligação de propulsão acoplada ao elemento rotatório para produzir uma força de propulsão.

É adicionalmente apresentado um elemento de nervura que tem uma primeira e uma segunda partes de nervura; um primeiro elemento de ligação compatível que tem uma primeira e uma segunda extremidade e é disposto entre a primeira e a segunda parte de nervura do elemento de nervura, em que cada

uma dentre a primeira e a segunda extremidade é acoplada ao interior de uma parte respectivamente associada dentre a primeira e a segunda parte de nervura; e uma ligação de propulsão que tem uma primeira e uma segunda extremidade da
5 ligação de propulsão, em que a primeira extremidade da ligação de propulsão é acoplada ao interior de uma parte selecionável dentre a primeira e a segunda parte de nervura na vizinhança do acoplamento da extremidade respectivamente associada do primeiro elemento de ligação compatível, e a
10 segunda extremidade é arranjada para receber a força de propulsão, sendo que o elemento de nervura é deformado em resposta à força de propulsão.

Um segundo elemento de ligação compatível tem uma primeira e uma segunda extremidade e é disposto entre a
15 primeira e a segunda parte de nervura do elemento de nervura. Cada uma dentre a primeira e a segunda extremidade é acoplada ao interior de uma parte respectivamente associada dentre a primeira e a segunda parte de nervura.

Em uma realização vantajosa deste aspecto da
20 invenção, é provido um plano aerodinâmico que tem uma primeira e uma segunda superfície de controle e uma borda. Cada um dos elementos de uma pluralidade de elementos de nervura é arranjado para se sobrepôr à borda do plano aerodinâmico, e cada um dos elementos de nervura tem uma
25 primeira e uma segunda parte de nervura arranjadas para se comunicar com as superfícies respectivamente associadas dentre as superfícies de controle superior e inferior do plano aerodinâmico. Cada um dos elementos de nervura tem um elemento associado de:

30 um primeiro elemento de ligação compatível que tem uma primeira e uma segunda extremidade e é disposto entre a primeira e a segunda parte de nervura do elemento de nervura associado, em que cada uma dentre a primeira e a segunda

extremidade é acoplada ao interior de uma parte respectivamente associada dentre a primeira e a segunda parte de nervura; e

uma ligação de propulsão que tem uma primeira e uma
5 segunda extremidade da ligação de propulsão, em que a primeira extremidade de ligação de propulsão é acoplada ao interior de uma parte selecionável dentre a primeira e a segunda parte de nervura na vizinhança do acoplamento da extremidade respectivamente associada do primeiro elemento de
10 ligação compatível, e a segunda extremidade é arranjada para receber uma força de alteração morfológica, sendo que o elemento de nervura é deformado em resposta à força de alteração morfológica.

Desse modo, cada uma das segundas extremidades de
15 cada uma das ligações de propulsão é acoplada à ligação de propulsão para receber uma respectiva força de alteração morfológica respectiva à força de propulsão, por meio do que cada um dos elementos da pluralidade de elementos de nervura é deformado em resposta à força de alteração morfológica
20 respectivamente aplicada.

Em uma realização adicional, o primeiro elemento acoplador é provido com um entalhe no atuador linear arranjado angularmente com relação ao eixo longitudinal. O segundo elemento acoplador é provido com um eixo de came
25 acoplado com o elemento rotatório para acoplar no entalhe no atuador linear. Preferivelmente, o eixo de came é acoplado de maneira rotativa ao elemento rotatório através de um arranjo de rolamento, tal como um suporte de agulhas.

É adicionalmente apresentada uma aba da borda
30 dianteira da estrutura compatível de curvatura variável para reduzir a perda dinâmica. Esta aba modifica o plano aerodinâmico da pá do rotor de alto desempenho da linha base para prover 0 a 10 graus de movimento da aba para uma aba com

8,5% de corda. A aba pode ser atuada a taxas de até (e ultrapassando) 7 Hz para obter um posicionamento da aba uma vez por rotação. Na posição de 10 graus, a forma da aba permite que o plano aerodinâmico gere uma elevação adicional a ângulos de ataque mais elevados em comparação com o plano aerodinâmico (sem aba) da linha base. A aba da borda dianteira compatível provê um aumento de até 35 por cento na retração da elevação da pá sem nenhuma perda e nenhuma histerese negativa na elevação, no momento de arfagem, e no arraste. Esta tecnologia tem a capacidade de aumentar a combinação da velocidade superior, da carga útil máxima, e a potencialidade de altitude de todo o "rotorcraft".

A adição da aba necessita que a "D-Spar" seja movida para trás em 8,5% para sobrar espaço para a estrutura compatível e o hardware do atuador. A potência de pico total consumida pela aba (sob uma carga aerodinâmica e uma taxa de atuação de 6 Hz) é estimada para ser igual a 885 watts para uma aba com uma envergadura de 7 pés. O peso total desta aba de 7 pés é estimado para ser igual a 13,8 libras excluindo o atuador eletromagnético linear. O peso total incluindo o atuador eletromagnético linear é estimado para ser igual a 33,8 libras com a maior parte da massa do sistema localizada na base do rotor - distante das cargas centrífugas elevadas.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

A compreensão da invenção é facilitada mediante a leitura da seguinte descrição detalhada, conjuntamente com o desenho anexo, no qual:

a Figura 1 é uma representação em seção transversal de uma pá do rotor que tem uma borda dianteira deformável construída de acordo com os princípios da invenção;

a Figura 2 é uma representação em seção transversal do arranjo de deformação da pá do rotor da Figura 1 sem a tampa deformável sobrejacente;

a Figura 3 é uma representação isométrica de uma parte do arranjo de deformação da pá do rotor da Figura 1 sem a tampa deformável sobrejacente que é útil para ilustrar a maneira por meio da qual o movimento longitudinal é
5 convertido em deslocamento rotacional;

a Figura 4 é uma representação isométrica de uma parte do arranjo de deformação da pá do rotor da Figura 1 sem a tampa deformável sobrejacente que é útil para ilustrar a maneira por meio da qual o movimento longitudinal é
10 convertido em deslocamento rotacional;

a Figura 5 é uma representação em seção transversal do arranjo de deformação da pá do rotor da Figura 1 que mostra a parte deformável da pá do rotor na orientação substancialmente neutra;

15 a Figura 6 é uma representação em seção transversal do arranjo de deformação da pá do rotor da Figura 1 que mostra a parte deformável da pá do rotor em uma orientação ligeiramente ascendente;

a Figura 7 é uma representação em seção transversal
20 do arranjo de deformação da pá do rotor da Figura 1 que mostra a parte deformável da pá do rotor em uma orientação ligeiramente descendente;

a Figura 8 é uma representação em perspectiva do arranjo de deformação da pá do rotor da Figura 1 na condição
25 desmontada;

a Figura 9 é um diagrama que ilustra a carga variável com o tempo tridimensional que é experimentada pela aba da borda dianteira;

a Figura 10 é uma representação de um modelo de CAD
30 da aba da borda dianteira e da "D-Spar";

a Figura 11 é uma representação esquemática simplificada do sistema de cunha de came;

a Figura 12 ilustra a disposição do atuador e a

faixa de comprimento representativa com respeito à extensão de pá do rotor;

a Figura 13 é uma representação esquemática de um atuador de aba modificado;

a Figura 14 é um modelo de CAD de um sistema de cunha de came de aba anterior aperfeiçoado e "D-Spar";

a Figura 15 é uma representação de uma nervura de titânio EDM de fio de amostra.

as Figuras 16a e 16b mostram o modelo do protótipo nas posições de 0 e 10 graus, respectivamente;

a Figura 17 é um diagrama de blocos do procedimento de otimização do desenho da presente invenção;

as Figuras 18a, 18b e 18c são representações esquemáticas simplificadas de um arranjo da estrutura em camadas que é provido com estruturas parecidas com redes e é formado de um núcleo de espessura variável (Figura 18(b)) ou um laminado composto (Figura 18(c));

a Figura 19 é uma representação esquemática simplificada do arranjo da estrutura em camadas sem as estruturas parecidas com redes;

a Figura 20 é uma representação esquemática simplificada do arranjo da estrutura em camadas com uma estrutura de núcleo "personalizada", formada ilustrativamente de um material celular;

a Figura 21 é uma representação esquemática simplificada de um arranjo que tem uma aba dividida com um núcleo que une os elementos superior e inferior;

a Figura 22 é uma representação esquemática simplificada de um arranjo no qual o movimento para dentro da superfície inferior efetua uma mudança na forma da aba;

a Figura 23 é uma representação esquemática simplificada de um plano aerodinâmico padrão que tem um perímetro de superfície de espessura variável para permitir a

"personalização" da rigidez do perímetro para obter uma combinação melhor para um contorno desejado;

a Figura 24 é uma representação esquemática simplificada de um plano aerodinâmico afinado que tem um perímetro de superfície de espessura variável para permitir a "personalização" da rigidez do perímetro para obter uma melhor combinação para um contorno desejado;

a Figura 25 é uma representação esquemática simplificada de um plano aerodinâmico padrão que tem atuadores que forçam um engrossamento do plano aerodinâmico;

a Figura 26 é uma representação esquemática simplificada do plano aerodinâmico padrão da Figura 25, mostrando o plano aerodinâmico na condição engrossada; e

a Figura 27 é uma representação esquemática simplificada de um plano aerodinâmico de espessura variável que é atuada por um mecanismo compatível.

DESCRIÇÃO DETALHADA

A Figura 1 é uma representação em seção transversal da pá do rotor (10) que tem uma borda dianteira deformável (20). Conforme mostrado nesta Figura, a pá do rotor (10) é adicionalmente provida com uma "D-Spar" de suporte central (12) e uma borda traseira (14). A borda dianteira deformável tem uma tampa compatível sobrejacente que tem uma parte superior (22), uma parte inferior (23), em que as partes superior e inferior são fixadas em uma parte anterior central (25).

A Figura 2 é uma representação em seção transversal do arranjo de deformação (20) da pá do rotor (10), em que o arranjo de deformação está ampliado para mostrar detalhes estruturais. A tampa deformável sobrejacente foi removida nesta Figura.

Conforme mostrado na Figura 2, a "D-Spar" (12) tem nela fixado um suporte (30) que tem um pivô (32) ao qual é

fixado um elemento rotatório (40) que é girável em torno do pivô (32) nas setas de direção (41) e (42). O elemento rotatório (40) tem integralmente formado com o mesmo uma parte de braço (44) à qual é fixada uma parte acopladora (45). O elemento rotatório (40) é girável em resposta ao movimento longitudinal de uma barra de came (60). A barra de came é suportada por um suporte (50) do sistema de came que tem uma parte de suporte (52) da barra de came. Nesta Figura, a barra de came (60) é móvel longitudinalmente dentro e fora do plano do desenho.

A Figura 3 é uma representação isométrica de um arranjo de deformação (20) da parte da pá do rotor (10) da Figura 1. Os elementos de estrutura que foram descritos anteriormente são designados similarmente. Nesta Figura, a tampa deformável sobrejacente não é mostrada para fins de clareza. Além disso, o elemento girável (40) não é mostrado, mas são mostrados os comes (47a) e (47b) que são fixados ao elemento girável através dos suporte de agulhas (48a) e (48b) que facilitam a rotação dos comes. Os comes (47a) e (47b) são mostrados acoplados em um entalhe (62) da barra de came (60). Os comes, tal como será descrito em seguida, são fixados longitudinalmente em uma relação longitudinal ao eixo longitudinal (11) da pá do rotor (10), e portanto, quando a barra de came (60) é deslocada na direção da seta (61), os comes são deslocados transversalmente na direção da seta (49).

A Figura 4 é uma representação isométrica de uma parte do arranjo de deformação da pá do rotor (10) da Figura 1 com a tampa deformável sobrejacente tendo sido removida. Os elementos da estrutura que foram descritos anteriormente são designados similarmente. Esta Figura mostra que enquanto a barra de came (60) é forçada na direção da seta (61), o elemento rotatório (40) é girado em torno do pivô (32) na

direção da seta (42). Desse modo, a parte de braço (44) e a parte acopladora (45) são movidas para baixo. Por outro lado, quando a barra de came (60) é forçada em uma direção oposta àquela indicada pela seta (61), o elemento rotatório (40) é girado em uma direção oposta àquela indicada pela seta (42), e a parte acopladora (45) é forçada de maneira correspondente para cima.

A Figura 5 é uma representação em seção transversal do arranjo de deformação da pá do rotor (10) da Figura 1. Os elementos da estrutura que foram descritos anteriormente são designados similarmente. Nesta Figura, a tampa deformável é instalada para formar a borda dianteira da pá do rotor (10). A tampa deformável consiste em uma parte superior (22) e uma parte inferior (23) que são unidas uma à outra em uma parte frontal (25). A parte superior (22) é acoplada de maneira fixável (12) à "D-Spar" (12) na junção de acoplamento (77). Uma parte inferior (23) é, no entanto, acoplada de maneira deslizável à "D-Spar" (12) na junção deslizante 78. Adicionalmente, nesta Figura são mostradas as estruturas de rede (71) e (72) (mostradas em seção transversal) que são acopladas nas respectivas extremidades superiores à parte superior (22) da tampa deformável, e nas extremidades inferiores da mesma para abaixar a parte (23) em uma junção (75) de uma ligação de propulsão (74). A ligação de propulsão (74) é mostrada acoplada à parte acopladora (45) do elemento rotatório (40). Quando a barra de came (60) é forçada longitudinalmente ao longo da parte de suporte (52) da barra de came, o elemento rotatório (40) é girado, tal como descrito acima, com o que a parte acopladora (45) do elemento rotatório força a ligação de propulsão (74) para cima e para baixo.

A Figura 6 é uma representação em seção transversal do arranjo de deformação da pá do rotor (10) da Figura 1 que

mostra a parte deformável da pá do rotor (10) em uma orientação ligeiramente ascendente. Nesta representação, a barra de came (60) foi forçada ao plano da Figura (isto é, oposto à direção indicada pela seta (61) da Figura 3), por meio do que a parte de braço (44) e a parte acopladora (45) são forçadas para cima. Isto resulta na parte anterior (25) da tampa compatível sobrejacente sendo levantada na direção da seta (65).

A Figura 7 é uma representação em seção transversal do arranjo de deformação da pá do rotor (10) da Figura 1 que mostra a parte deformável da pá do rotor (10) em uma orientação ligeiramente descendente. Os elementos de estrutura que foram discutidos anteriormente são designados similarmente. Na orientação dos elementos indicados por esta Figura, a barra de came (60) foi forçada para fora do plano da Figura (isto é, na direção indicada pela seta (61) da Figura 3), por meio do que a parte de braço (44) e a parte acopladora (45) são forçadas para baixo. Isto resulta na parte anterior (25) da tampa compatível sobrejacente sendo abaixada na direção da seta (66). Com referência às Figuras 6 e 7, pode ser visto que o arranjo de deformação (20) é deformável com relação ao movimento da barra de came (60) para obter uma borda dianteira da estrutura compatível para a pá do rotor de um helicóptero (não mostrado). Mais especificamente, e tal como aqui observado, o arranjo de deformação (20) modifica os aspectos da folha de ar da linha base do plano aerodinâmico da pá do rotor (10) de alto desempenho para prover 0 a 10 graus do movimento da aba para uma aba com 8,5% de corda. A aba pode ser atuada a taxas que excedem 7 Hz para prover um posicionamento da aba uma vez durante cada rotação. Na posição a 10 graus, a forma da aba permite que o plano aerodinâmico gere uma elevação adicional a ângulos de ataque mais elevados em comparação ao plano

aerodinâmico da linha base (nenhuma aba). Na prática da invenção, a aba da borda dianteira compatível provê um aumento de até 35% na retração da elevação da pá sem nenhuma perda e nenhuma histerese negativa na elevação, no momento 5 arfagem, e no arraste. Esta tecnologia tem a capacidade de aumentar a combinação da velocidade superior, da carga útil máximo, e da capacidade de altitude de todo "rotorcraft".

A Figura 8 é uma representação em perspectiva de um segmento modelo do arranjo de deformação da pá do rotor (10) da Figura 1, na condição desmontada. Os elementos da 10 estrutura que foram discutidos anteriormente são designados similarmente, e a tampa compatível sobrejacente não é mostrada nesta Figura. Conforme pode ser imediatamente visto nesta Figura, o elemento rotatório (40), nesta realização 15 ilustrativa específica da invenção, é longitudinal e continuamente alongado. Similarmente, a parte de braço (44) e a parte acopladora (45) são coextensivas com o mesmo nesta realização. Também nesta Figura, os cames (47a) e (47b) são mostrados dependendo do lado de baixo do elemento rotatório 20 (40) e acoplados ao mesmo através dos rolamentos respectivamente associadas dentre os suportes de agulhas (48a) e (48b). Os cames (47a) e 47h são arranjados para acoplar com os entalhes (62) da barra de came (60), que está desmontada da "D-Spar" (12) nesta Figura de modo que a 25 estrutura da barra de came (60) dentro da parte de suporte (52) da barra de came do suporte (50) do sistema de came possa ser ilustrada.

A Figura 9 é um diagrama que ilustra a carga tridimensional variável com o tempo que é experimentado pela 30 aba (70) da borda dianteira. Conforme mostrado nesta Figura, o sistema de aba da borda dianteira consiste em um sistema apropriado de atuação (não mostrado), uma transmissão de atuador opcional (não mostrada) (para converter o movimento

de empurrar-puxar apropriado para o mecanismo da aba) através da haste de propulsão (72) do atuador, e uma aba de estrutura compatível (74) que deve ser submetida à mudança requerida da forma enquanto resiste às cargas de pressão e às forças de aceleração e flexão de acomodação na "D-Spar" primária (76). A flexão da "D-Spar" (76) é representada no desenho pelo esboço (77). Este requisito para mudar a forma ocorre a uma velocidade moderada (7 Hz), e desse modo as cargas e as condições limite irão mudar em pelo menos esta taxa (harmônicos mais elevados são possíveis). Deve ser observado que a dinâmica do mecanismo também terá que ser considerada quando a atuação ocorrer a estas velocidades.

A força centrífuga nesta realização ilustrativa específica da invenção é dirigida tal como indicado pela seta (78).

SELEÇÃO DE MATERIAL - CONSIDERAÇÕES DA RESISTÊNCIA E DA FADIGA

Os materiais de alto desempenho para as estruturas compatíveis incluem principalmente materiais com um módulo elevado e uma alta capacidade de tensão que se traduzem diretamente em materiais com elevados limites de resistência, e particularmente resistência à fadiga. As ligas de titânio de alta resistência e os polímeros reforçados com fibras de carbono (CFRP) representam os materiais de alto desempenho, especialmente nas realizações da invenção em que o peso é um fator. Dado o requisito de operação da pá de 4.500 horas de um "rotorcraft" de um helicóptero comercial, se a aba funcionar continuamente a 7 Hz, a aba será sujeitada a exatamente mais de 110 milhões de ciclos durante a sua vida útil. A aplicação de um fator de segurança de fadiga de 2 deve requerer que a estrutura sobreviva aproximadamente por 220 milhões de ciclos. Uma liga de titânio de disponibilidade imediata, Ti-6Al-4V, tem uma limite convencional de

elasticidade de 880 MPa e uma resistência ao ciclo de fadiga 10^7 de 510 MPa.

Adicionalmente, outras ligas de titânio que podem aumentar a resistência estática e à fadiga incluem uma liga de Ti-1 OV-2Fe-3Al que possui uma resistência superior estática e à fadiga. Esta liga tem uma limite convencional de elasticidade de 174 ksi (1.200 MPa) e uma resistência do ciclo da fadiga $1E6$ de 145 ksi (1.000 MPa) que extrapola uma resistência à fadiga de 75 ksi (517 MPa) a 220 milhões de ciclos.

CONCLUSÕES DO DESENHO LIVRE FIXO DE OTIMIZAÇÃO DA TOPOLOGIA

Em uma operação sinusoidal a 7 Hz, o desenho otimizado na topologia de junta de translação inferior requer uma potência de pico máxima de 0,127 HP/fl (310 Watts/m) por unidade de comprimento. Se 6,7 pés (2 metros) da pá do rotor tiver uma aba da borda dianteira de estrutura adaptável, a borda dianteira compatível requer 0,85 HP ou 621 watts de potência de pico para impelir a aba inteira (a potência cíclica média deve ser muito mais baixa). Esta potência de pico requerida é somente 5% abaixo da capacidade de saída de potência rateada máxima do motor eletromagnético linear Aerotech BLUMUC-79, que atinge um máximo de 0,87 HP ou 650 watts para um atuador de 6,22 polegadas (158 mm) de comprimento. Deve ser observado que a análise da potência é conservadora (nenhuma forças de atrito) de maneira tal que a potência total média é igual a zero se for feita a integração para um ciclo completo. As forças de atrito irão causar perdas de potência durante a operação da aba, de modo que um estator ligeiramente maior (estator mais longo e mais poderoso) pode ser requerido para prover uma potência adicional do atuador.

CARGA DE ACELERAÇÃO LATERAL

O carga de 1.000 G foi estimada originalmente de um

raio da pá de 20 pés girando a uma taxa de rotação de 7 Hz. A fim de desenvolver um valor mais preciso de aceleração, as velocidades do diâmetro e da ponta do rotor para uma gama de helicópteros militares são mostradas na Tabela 1, que ilustra
5 três modelos diferentes de helicópteros que abrangem uma faixa do desempenho da elevação e da velocidade.

Tabela 1: Lista de várias especificações de helicóptero

Helicóptero	Raio da pá (pés)	Velocidade da Ponta Estacionária (pés/s)	Taxa de rotação (Hz)	Aceleração Lateral da Ponta da Pá (G)
Blackhawk UH-60A	26,75	725	4,31	612
Cobra AH-1S	22,0	746	5,41	789
Super Stallion CH-53E	39,5	732	2,95	422

Com base nos dados para uma gama de helicópteros de transporte, de combate (suporte em terra) e de elevação pesada de alta velocidade, os autores da presente invenção
10 determinaram que a aceleração de ponta máxima deve ser reduzida ligeiramente para 800 G para representar um helicóptero de carga de disco maior mais manobrável, tal como o Cobra.

15 SIMULAÇÃO TRIDIMENSIONAL

A simulação tridimensional detalhada (contínua) da estrutura da borda dianteira foi reexaminada para avaliar as tensões/solicitações em uma nervura compatível individual devida à carga da pressão e à carga centrífuga. Um gráfico de
20 tensão equivalente é mostrado na Figura 9 do modelo na posição de aba a 0 e 10 graus, com carga de pressão máxima e aceleração lateral de 800 G.

SELEÇÃO DO ATUADOR

Um método de atuar a aba da borda dianteira
25 consiste na provisão de um movimento longitudinal ao longo da extensão da pá do rotor utilizando uma haste de propulsão (ou uma haste em constante tensão). Este método permite que um atuador seja posicionado a bordo afastado das posições de elevada força centrífuga. Enquanto estavam sendo investigadas

várias estratégias de atuação, o movimento do atuador (linear, rotatório, ou um outro) juntamente com o sistema de acondicionamento, deve ser considerado a fim de desenvolver um método apropriado para acoplar o movimento do atuador
5 junto com a estrutura compatível. Idealmente, a posição do atuador ajuda a nivelar (ou aumentar a rigidez) o sistema da borda dianteira tanto quanto possível. Isto pode ser requerido a fim de manter uma rigidez e integridade estrutural elevada (com respeito a qualquer fenômeno
10 aeroelástico indesejável tal como uma divergência crítica ou mudança da forma devido às cargas da pressão aerodinâmica). As características do atuador podem então ser inseridas nos algoritmos de desenho do mecanismo compatível para otimizar o desempenho do sistema.

15 As informações e os dados de (a) atuadores rotatórios, (b) atuadores lineares, (c) com ou sem uma transmissão de redução de velocidade, (d) conceito de atuação embutida e (e) esquemas alternativos de atuação foram compilados. A escolha final do atuador depende de muitos
20 fatores incluindo: a confiabilidade/durabilidade, força/deslocamento requerido para impelir o LE compatível, a necessidade de um sistema de transmissão, o acondicionamento, o peso (incluindo os componentes eletrônicos de propulsão) e a capacidade de potência. Podem existir soluções diferentes
25 devido à consideração específica (critério) e mudanças.

A densidade de potência (potência por peso, potência por volume, potência por extensão) é um fator importante para selecionar os atuadores. Mas outros fatores devem ser levados em consideração para determinar se um
30 atuador é praticável para a aplicação. Todos os atuadores estudados são sujeitados às restrições de dimensão necessária pelo pouco espaço disponível na borda dianteira. De acordo com os dados da densidade de potência, o motor rotatório

ultra-sônico e o atuador de engrenagem gradual linear podem ser empregados porque, com o tamanho requerido, eles podem gerar potência suficiente para atuar o sistema borda dianteira. Além disso, a vida útil dos motores rotatórios
5 ultra-sônicos é tipicamente de menos de 2.000 horas e é demasiadamente curta para aplicações de pá deformável do rotor. Além disso, a temperatura operacional dos atuadores de engrenagem gradual lineares é muito limitada (devido à expansão térmica e questões de tolerância) e não pode cobrir
10 as faixas de temperatura possíveis dos helicópteros.

Todos os atuadores eletromagnéticos lineares, atuadores de bobina de voz e atuadores piezelétricos geram o movimento de saída linear; no entanto, as forças de saída e os deslocamentos de saída destes atuadores são drasticamente
15 diferentes. Os atuadores piezelétricos são compactos e geram forças muito grandes, mas o deslocamento de saída é da ordem de micra. Mecanismos eficientes de amplificação são necessários para ampliar o movimento de saída e a força de mudança para o deslocamento (perdas de poder serão criadas
20 devido ao mecanismo de amplificação). Os atuadores de bobina de voz podem gerar um deslocamento significativamente maior do que os atuadores piezelétricos; no entanto, a força de saída é muito menor. Os atuadores eletromagnéticos lineares podem gerar forças de saída moderadas e grandes deslocamentos
25 de saída. No entanto, o tamanho dos atuadores eletromagnéticos lineares pode ser proibitivo para o uso na aplicação de aba da borda dianteira (motores ligeiramente menores podem ser fabricados). Os motores DC rotatórios são compactos e suficientemente poderosos para satisfazer as
30 necessidades da aplicação. Motores DC sem escova pequenos e seus acessórios são comercialmente disponíveis, e comprovaram funcionar continuamente por até 20.000 horas. Por causa do movimento rotacional contínuo, eles geram menos vibração e

são fáceis de controlar.

SISTEMA DE TRANSMISSÃO DE ATUADOR LINEAR A ROTACIONAL

O espaço disponível dentro da borda dianteira é extremamente apertado, de maneira tal que um acondicionamento cuidadoso do sistema e uma seleção de componentes serão necessários para desenvolver uma transmissão suficientemente compacta que permita uma eficiência de potência elevada e a capacidade de manipular aproximadamente 700 watts de potência (a 7 Hz). Além disso, a mudança da forma executada pela aba reduz ainda mais o espaço disponível para os componentes de atuação.

A Figura 10 é uma representação de um modelo de CAD de aba da borda dianteira e "D-Spar". O sistema de transmissão deve transformar o movimento de atuação linear em movimento rotatório para impelir a posição da aba. O método preferido consiste em desenvolver um sistema de came e cunha para executar a transformação linear em rotacional. As restrições de espaço apertado e os requisitos de potência elevada ditam a seleção cuidadosa dos componentes para desenvolver um sistema durável.

Os rolamentos são selecionados para manter a capacidade de suportar carga compacta e elevada (estática e dinâmica). As tensões de flexão, de cisalhamento e de contato para o sistema de came-rola são estimadas ao utilizar as abordagens de resistência dos materiais e de cálculo Hertziano da tensão. Todos os componentes altamente carregados são fabricados com aço endurecido retificado com precisão para preencher os requisitos de resistência estática e cíclica.

O sistema de came-cunha é dimensionado para propiciar a vantagem mecânica correta dadas as características do sistema de atuação para otimizar as condições operacionais de força/velocidade do sistema de

atuação linear. Atualmente, o sistema de cunha é projetado com uma inclinação de 4 graus, que requer um requisito de força máximo de 943 N (212 libras) do sistema da atuação para uma aba com uma extensão de 2 metros (cálculo da força estática a uma deflexão de 10 graus e carga de pressão máxima). O curso de atuação linear para mover a aba de 0 a 10 graus é de 3,0 polegadas ($\pm 1,5$ polegada), requerendo uma velocidade máxima de 1,68 m/s (66,0 mis) - supondo um perfil de deslocamento sinusoidal. Esta velocidade de pico de 1,68 m/s fica bem dentro da capacidade de velocidade terminal do sistema de motor linear, que é de aproximadamente 17,8 m/s (700 mis).

A Figura 11 é uma representação esquemática simplificada do sistema de came e cunha (80) que é projetado de modo que somente um dos rolos de came duplos (82) seja carregado para uma carga de momento da aba particular (positiva ou negativa). O sistema de came também é projetado para obter o movimento suave de baixo atrito da haste de tensão (sistema de atuação linear) e o movimento rotatório da aba ao evitar superfícies deslizantes e ao prover um movimento de rolagem puro, através dos rolamentos deslizantes lineares (84) para o movimento da aba. Conforme mostrado, o movimento de aba rotatório, nesta ilustração, é mostrado deslocado rotacionalmente por um ângulo de cunha (86) que tem um valor θ . O movimento linear, nesta realização, é dirigido tal como indicado pela seta (88), e o movimento rotatório da aba é indicado pelas setas (89).

O sistema de rolamento-eixo mecânico foi dimensionado para manipular a carga de momento máximo da aba com uma extensão de 16 polegadas-libras por polegada da aba (1.260 polegadas-libras para uma extensão da aba de 79 polegadas) e o sistema de cunha é projetado para obter o total de 0,38 radianos do movimento rotacional (21,77 graus)

na base do braço (não mostrado) que impele a estrutura compatível.

A Figura 12 é uma representação esquemática simplificada de uma pá do rotor (100), que ilustra a disposição do atuador (104) e a faixa de comprimento representativa com respeito à extensão da pá do rotor. A pá do rotor (100) é mostrada nesta Figura com o atuador (104) acoplado através de uma mola balanceadora (106) e de uma haste de tensão (108) a um sistema de came (110) que converte o movimento linear em rotatório, o qual é aplicado à aba compatível (109). O atuador é configurado nesta realização para produzir o movimento de acordo com a seta (111). A força centrífuga é mostrada na direção da seta (112), rumo à ponta da pá (114) do rotor. O cubo da pá do rotor é designado como (116).

Dados os modelos CAD e modelos de elementos finitos, é possível extrair os valores chaves da massa e da rigidez para o sistema de aba. A tabela abaixo esboça os valores chaves para as características apresentadas no modelo da aba.

Tabela 2: Valores de volume, massa, e momento de inércia para o modelo de aba da borda dianteira de CAD de geração de corrente.

Componente	Material	Volume (pol ³)	Massa (lbm)	Momento de Inércia (lbm-pol ²)
Componentes da Rotação				
Borda dianteira compatível	Titânio + GFRP	18,8331	2,5984	0,0233
Braço de manivela	Titânio	23,794	3,8072	0,7691
Rolamentos radiais	Aço	0,136	0,0386	
Rolamentos de empuxo	Aço	0,47	0,1316	
Componentes do Movimento Linear				
Cunha linear	Aço		1,1496	NA
Suporte de agulhas lineares	Aço	11,6780	0,1241	NA
Haste de tensão	CFRP	0,42	2,0584	NA
Estator do atuador	Ferro	31,667	TBD	NA
Componentes Fixos				
Engaste de braço de	Titânio	3,5535	0,5686	NA

manivela				
Canal linear	Titânio	11,6780	1,8685	NA

RESULTADOS DO SISTEMA 2

A Figura 1 é uma representação esquemática simplificada de um atuador de aba modificado (130). Os elementos da estrutura que foram discutidos anteriormente são designados similarmente nesta Figura. O atuador (104) é acoplado através de uma mola de ajuste (132) à haste tensionadora (133). Em comparação à realização da Figura 12, a realização da Figura 13 tem uma polia de redireção (134) que é acoplada a uma segunda haste de tensão (136). A haste de tensão (136) tem, nesta realização, um peso balanceador (138) afixado à mesma distal da polia de redireção (134).

A modificação representada na Figura 13 gera um deslocamento constante da força centrífuga sem requerer uma mola balanceadora pesada e rígida. Uma vez que a zona de nenhuma aba nos últimos 10% da extensão de pá do rotor e por causa da elevada carga G aqui, uma massa relativamente pequena pode ser utilizada para gerar uma força balanceadora para compensar a força centrífuga, a qual é invertida em parte pela polia de redireção (134), que em algumas realizações é configurada como um sistema de cremalheira e pinhão (não mostrado) ou de polias. A mola de ajuste linear da presente realização tem muito mais liberdade para ser "ajustada na rigidez" para minimizar a impedância do sistema à frequência operacional desejada. Desta maneira, a amplitude da força do atuador é reduzida. Além disso, uma vez que a mola de ajuste linear é mais mole do que uma mola balanceadora, a força de deslocamento do atuador pode ser reduzida significativamente. A análise do espaço de acondicionamento dentro da borda dianteira revela que não há espaço para colocar a segunda haste de tensão fina (136), que pode ser configurada em algumas realizações para que tenha

~1/8" de diâmetro em seção transversal, no entanto, terá uma resistência e uma rigidez adequadas para suportar a massa balanceadora (138) localizada na ponta (114) do rotor. Naturalmente que a massa balanceadora (138) adiciona um peso adicional e complexidade ao sistema, mas este peso adicional é provavelmente significativamente menor do que a massa adicionada de algumas molas balanceadoras de tensão helicoidal de serviço pesado.

Conforme mostrado na Figura 13, o atuador linear é posicionado perto do cubo (116) da pá do rotor, isolando desse modo o atuador de uma carga centrífuga elevada. O atuador linear irá transmitir a potência à aba da borda dianteira utilizando uma haste de tensão onde a rigidez máxima da transmissão é obtida ao utilizar uma haste de fibra de carbono em tensão/compressão e não em torção ou flexão (eficiência estrutural mais elevada). Uma mola balanceadora irá compensar a carga centrífuga que age na haste de tensão.

O movimento do atuador linear será transferido ao movimento rotatório para dirigir a ligação rotativa principal utilizando um sistema do tipo de came projetado para ser muito compacto, de pouco peso e rígido na direção rotativa. Ao longo da extensão da aba, haverá estações de came a intervalos. O espaçamento deve ser determinado com base no espaço dos componentes, na vantagem mecânica do sistema de came (curso da haste de tensão versus a rotação da ligação de propulsão), e na rigidez e no arrasto permissíveis (amortecimento) do sistema de came.

Um aspecto importante da abordagem da haste de tensão da presente invenção é que a haste de atuação está sempre em tensão. Dessa maneira, portanto, a força de atuação constitui apenas uma redução na tensão em tal realização. Esta abordagem ao desenho do sistema evita a formação de ondulação da haste de atuação, tal como deve ser o caso com a

compressão.

Para o sistema de aba modificado, a potência de pico instantânea do atuador é reduzida a 885 watts em comparação ao desenho precedente que tinha uma potência de pico atuador de 2.250 watts. Deve ser observado que o deslocamento da potência do atuador é negativo (-120,25 libras), o que ilustra a necessidade de aplicar a força (interna) negativa do atuador para que a aba assente a um deslocamento de +5 graus (posição neutra). Por causa da característica de atrito dos rolamentos e devido à proximidade da frequência forçada à primeira frequência natural, a força tende a subir ao extremo e a mudar entre amplitudes sinusoidais. A característica de atrito linearizado tem o efeito de mudar ligeiramente a frequência natural do sistema à medida que muda o vetor da velocidade.

SELEÇÃO DO ATUADOR

Dados os requisitos de força e de potência do atuador, um motor eletromagnético linear da Anorad (Rockwell Automation) LC-50-300 e um atuador linear AeroTech LMX-382 irão preencher os requisitos de força. O motor LC-50-300 tem uma potência de pico teórica de 4.420 watts e o motor LMX-282 tem uma potência de pico teórica de 2.263 watts. Estes atuadores são maiores do que o AeroTech BLMU-79 originalmente especificado que tem uma saída de potência de pico de 660 watts mas a sua força limitada para esta aplicação (a força de pico é de 29,2 libras). Neste caso particular, o requisito da força de uma força de pico de 150 libras dita o tamanho do atuador. Um atuador muito menor poderia ser utilizado se a característica de segurança - provisão de posição da aba a 0 grau quando o atuador é desabilitado - não fosse necessária (dita a força de estado estável de -120,25 libras para puxar a aba para a posição a 5 graus). O motor linear da Anorad indica um desenho mais compacto e mais leve que pode

preencher os requisitos de força (densidade de potência maior do que um atuador AeroTech comparável). As dimensões e o peso deste atuador são: 2,12" x 3,15" x 15", e deve pesar 15,5 libras (9,8 lbm são incluídos na análise dinâmica como a massa do estator). A montagem interna do atuador deve requerer uma protuberância local no plano aerodinâmico para acomodar o volume adicionado adiante da "D-Spar". Para um estudo adicional, uma análise de sistema eletromecânico do atuador linear poderia ser utilizada para detalhar as voltagens e as correntes operacionais requeridas.

DESENHO DE CAD da BORDA DO SISTEMA DE ABA DA BORDA DIANTEIRA

COMPATÍVEL EM ESCALA TOTAL

MODELO DE CAD E PROTÓTIPO RÁPIDO

Dadas as restrições de espaço apertado, os requisitos de alta potência e as limitações associadas com a seleção dos rolamentos em circulação, eixos mecânicos, etc., a "spar" da borda dianteira foi movida para trás em mais 0,097 polegada ao empurrar a "D-Spar" para trás para 9,0%. Os rolamentos foram selecionados para suportar as cargas de came-cunha enquanto operando (rolando) para os ciclos de 220E6. As tensões de flexão, de cisalhamento e de contato para o sistema de came-rolo são estimadas ao utilizar as abordagens de resistência dos materiais e do cálculo Hertziano da tensão. Atualmente, a tensão máxima de contato é de 301.511 libras por polegada quadrada (-2 GPa) para os comes na posição da aba a 10 graus com carga de pressão máxima. Há alguns aços carburizados e endurecidos especiais que podem satisfazer estes valores muito elevados da tensão de contato.

A Figura 14 é um modelo de CAD de um sistema aperfeiçoado de came-cunha de aba da borda dianteira e "D-Spar".

A Figura 15 é uma representação de uma nervura de

titânio EDM de fio de amostra 160 ilustrada com relação a uma régua de medição (não especificamente designada). Conforme ilustrado, a nervura de titânio (160) tem um comprimento em seção transversal de aproximadamente 3".

5 As Figuras 16a e 16b mostram um modelo de protótipo (170) da presente invenção nas posições a 0 e 10 graus, respectivamente.

A Figura 17 é um diagrama de blocos do procedimento de otimização de desenho da presente invenção. Conforme 10 mostrado nesta Figura, o conteúdo de um bloco de função (471) é utilizado para iniciar o processo do desenho. Isto inclui a determinação das Especificações do Desenho, que incluem a determinação de:

- . Conjunto desejado de formas;
- 15 . Espaço disponível para encaixar o mecanismo e os atuadores;
- . Posição preferida do(s) atuador(es);
- . Cargas externas (cargas aerodinâmicas externas);
- . Escolha de materiais (se houver algum);
- . Limites inferior e superior nas dimensões das travessas
- 20 (dependendo da escolha do método de manufatura); e
- . Tipo de atuador preferido (incluindo a força máxima, e o deslocamento).

No bloco de função (473), as seguintes determinações são feitas:

- 25 . Criar uma rede de elementos de travessa para encaixar dentro do espaço disponível com determinadas dimensões seccionais transversais nominais;
- . Desenhar seção transversal de travessa variável; e
- . Definir as condições limite - isto é, identificar os nós
- 30 que devem permanecer fixados à terra, os nós onde o atuador exerce a força de entrada e os nós no limite representam a superfície exterior da forma a ser modificada.

A Figura mostra os blocos de função (471) e (473)

para dirigir o processo para o bloco de função. No bloco de função (475), é executada a função Objetiva do Procedimento de Otimização, especificamente:

. Minimizar o erro da forma (entre a forma obtida e a forma desejada);

. Minimizar a força do atuador requerida para causar a mudança da forma desejada contra a carga de resistência externa; e

. Minimizar o peso total do sistema sujeito a várias restrições tais como a tensão permissível máxima, a carga de ondulação, a tensão de fadiga, as dimensões mínimas e máximas dos elementos de travessa, etc.

O processo de otimização do desenho flui então do bloco de função (475) ao bloco de função (477), em que, quando o processo de otimização converge, as seções transversais de determinadas travessas se aproximam de zero, deixando um subconjunto de elementos de travessa necessários para satisfazer as especificações do desenho. Isto estabelece a topologia, o tamanho e a geometria do mecanismo compatível.

As Figuras 18a, 18b, e 18c são representações esquemáticas simplificadas de um arranjo de estrutura em camadas (200) que é provido com estruturas parecidas com redes (202) que são, nesta realização ilustrativa específica da invenção, ligadas à cobertura compatível (210), que será descrita em mais detalhes em conexão com as Figuras 18b e 18c, abaixo. Com referência à Figura 18a, o arranjo de estrutura em camadas (200) é mostrado provido com uma barra de propulsão (204) que aplica uma força linear contra a "spar" da asa traseira (206) pela operação de um atuador (208). O movimento da barra de propulsão (204) é transmitido a uma cobertura compatível (210), e o movimento da cobertura compatível é acomodado por uma junção deslizante (214) que em algumas realizações da invenção pode ser configurada como um

painel de elastômero (não mostrado).

A Figura 18b é uma representação da cobertura compatível (210) que é formada, nesta realização ilustrativa específica da invenção, de um núcleo de espessura variável (210a). Alternativamente, a Figura 18c mostra a cobertura compatível (210) como um laminado composto de múltiplas camadas (210b) em que as camadas são alternadas para facilitar o controle sobre a espessura. Conforme mostrado, as camadas do laminado composto são unidas umas às outras com um adesivo de laminação (211). As camadas compostas são configuradas do ponto de vista de orientação das camadas, de trama das fibras, de seleção do adesivo, etc., para obter uma rigidez e uma resistência compatíveis desejadas da estrutura.

A Figura 19 é uma representação esquemática simplificada do arranjo de estrutura em camadas (230), sem as estruturas parecidas com redes descritas na Figura 18a. Os elementos da estrutura que foram discutidos anteriormente são designados similarmente nesta Figura.

A Figura 20 é uma representação esquemática simplificada do arranjo de estrutura em camadas (250) com uma estrutura de núcleo "personalizada" (252), formada ilustrativamente de um material celular. A estrutura de núcleo (252), nesta realização ilustrativa específica da invenção, é configurada para ter uma característica de elevada rigidez na direção substancialmente vertical indicada pela seta (256), e uma característica de baixa rigidez na direção substancialmente horizontal indicada pelas setas (258).

A Figura 21 é uma representação esquemática simplificada de um arranjo fixo-fixo (270) no qual o movimento interno da superfície inferior (272) efetua uma mudança na forma da aba. Nesta realização, dois atuadores (276) e (278) são acoplados pelos cabos respectivamente

associados dentre os cabos de propulsão antagonistas (277) e (279), às "spar" respectivamente associadas entre as "spar" (281) e (282) da ponta da borda traseira. Em algumas realizações, os cabos de propulsão (277) e (279) podem ser substituídos por hastes (não mostradas). As "spar" de ponta (281) e (282) são configuradas para deslizar umas contra as outros na junção de deslizamento (285).

A Figura 22 é uma representação esquemática simplificada de um plano aerodinâmico padrão (300) que tem um perímetro de superfície de espessura variável (302) para permitir a "personalização" da rigidez do perímetro para obter uma melhor combinação para um contorno desejado. Quando o atuador (305) é operado para o movimento interno tal como indicado pela direção da seta (307), o contorno do perímetro de superfície de espessura variável (302) é forçado para a configuração representada em linha descontínua e designada como (309). Nesta realização, não há nenhuma junção de deslizamento ou superfície de elastômero na superfície superior ou inferior, e isto é denominado uma configuração "fixo-fixo".

A Figura 23 é uma representação esquemática simplificada de um plano aerodinâmico padrão (320) que tem um perímetro de superfície de espessura variável (322) que permite a "personalização" da rigidez do perímetro para obter uma melhor combinação para um contorno desejado. Isto é, a espessura de asa variável permite que a rigidez do perímetro seja "personalizada" para facilitar o desenho de uma característica vantajosa do contorno. O afinamento do plano aerodinâmico é efetuado ao fazer com que os atuadores (326) e (328) sejam puxados para dentro na direção das setas.

A Figura 24 é uma representação esquemática simplificada do plano aerodinâmico (320) que foi "afinada" pela operação dos atuadores, tal como discutido acima com

relação à Figura 23.

A Figura 25 é uma representação esquemática simplificada de um plano aerodinâmico padrão (320) em que os atuadores (326) e (328) forçam um engrossamento do plano aerodinâmico, na direção das setas.

A Figura 26 é uma representação esquemática simplificada do plano aerodinâmico padrão da Figura 25, mostrando o plano aerodinâmico na condição engrossada.

A Figura 27 é uma representação esquemática simplificada de um plano aerodinâmico de espessura variável (350) que é atuada, nesta realização ilustrativa específica da invenção, pelos mecanismos compatíveis (352) e (354). Pela operação dos atuadores (356) e (358), o plano aerodinâmico é engrossado, conforme representado pelo contorno (360), ou afinada, conforme representado pelo contorno (362).

Embora a invenção tenha sido descrita em termos de realizações e aplicações específicas, os elementos versados na técnica podem, à luz deste ensinamento, gerar realizações adicionais sem exceder o âmbito ou desviar do caráter da invenção aqui descrita e reivindicada. Consequentemente, deve ser compreendido que o desenho e a descrição nesta descrição são apresentados para facilitar a compreensão da invenção, e não devem ser interpretados como limitadores do âmbito da mesma.

REIVINDICAÇÕES

1. ARRANJO DE ALTERAÇÃO MORFOLÓGICA DE BORDA PARA UM AEROFÓLIO QUE TEM SUPERFÍCIES DE CONTROLE SUPERIOR E INFERIOR, em que o arranjo de alteração morfológica de borda
5 é caracterizado pelo fato de compreender:

uma estrutura em camadas que tem partes superior e inferior, em que cada uma das partes superior e inferior da dita estrutura em camadas é configurada para se comunicar entre uma e outra em um ápice; e

10 uma barra propulsora afixada a uma das ditas partes superior e inferior da dita estrutura em camadas.

2. ARRANJO DE ALTERAÇÃO MORFOLÓGICA DE BORDA, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a dita estrutura em camadas compreende uma película
15 compatível.

3. ARRANJO DE ALTERAÇÃO MORFOLÓGICA DE BORDA, de acordo com a reivindicação 2, caracterizado pelo fato de que a dita película compatível compreende um laminado compósito de múltiplas camadas.

20 4. ARRANJO DE ALTERAÇÃO MORFOLÓGICA DE BORDA, de acordo com a reivindicação 3, caracterizado pelo fato de que o dito laminado compósito de múltiplas camadas compreende uma pluralidade de camadas do laminado compósito que são unidas umas às outras com um adesivo de laminação.

25 5. ARRANJO DE ALTERAÇÃO MORFOLÓGICA DE BORDA, de acordo com a reivindicação 4, caracterizado pelo fato de que a dita pluralidade de camadas do laminado compósito e o dito adesivo de laminação são selecionados para obter uma rigidez predeterminada e resistência características da dita
30 estrutura em camadas.

6. ARRANJO DE ALTERAÇÃO MORFOLÓGICA DE BORDA, de acordo com a reivindicação 4, caracterizado pelo fato de que a dita pluralidade de camadas do laminado compósito são

arranjadas em uma relação alternada para prover uma predeterminada espessura característica para a estrutura em camadas.

5 7. ARRANJO DE ALTERAÇÃO MORFOLÓGICA DE BORDA, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que também é provido um atuador para aplicar uma força na dita barra propulsora.

10 8. ARRANJO DE ALTERAÇÃO MORFOLÓGICA DE BORDA, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que provê adicionalmente uma estrutura do tipo rede compatível acoplada nas suas respectivas extremidades às partes superior e inferior da dita estrutura em camadas.

15 9. ARRANJO DE ALTERAÇÃO MORFOLÓGICA DE BORDA, de acordo com a reivindicação 8, caracterizado pelo fato de que a dita estrutura do tipo rede é unida nas suas respectivas extremidades às partes superior e inferior da dita estrutura em camadas.

20 10. ARRANJO DE ALTERAÇÃO MORFOLÓGICA DE BORDA, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que também é provida uma estrutura de núcleo intercalada entre as partes superior e inferior da dita estrutura em camadas.

25 11. ARRANJO DE ALTERAÇÃO MORFOLÓGICA DE BORDA, de acordo com a reivindicação 10, caracterizado pelo fato de que a dita estrutura de núcleo é feita de um material celular.

30 12. ARRANJO DE ALTERAÇÃO MORFOLÓGICA DE BORDA, de acordo com a reivindicação 10, caracterizado pelo fato de que a dita estrutura de núcleo tem uma característica de rigidez elevada na primeira direção indicada, e uma baixa característica de rigidez em uma segunda direção.

13. ARRANJO DE ALTERAÇÃO MORFOLÓGICA DE BORDA, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que provê adicionalmente uma armação que suporta a dita estrutura em camadas, em que as partes superior e inferior da dita

estrutura em camadas são acopladas às respectivas partes da dita armação.

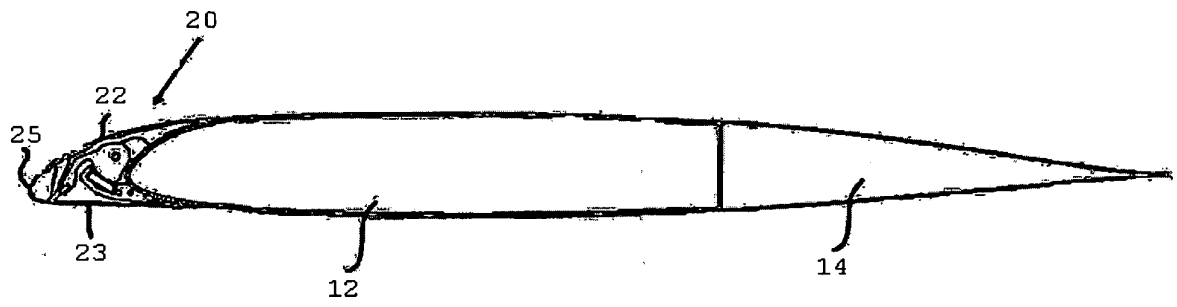
14. ARRANJO DE ALTERAÇÃO MORFOLÓGICA DE BORDA, de acordo com a reivindicação 13, caracterizado pelo fato de que a dita estrutura em camadas é morfologicamente deformada em resposta à aplicação de uma força de acionamento na dita barra propulsora.

15. ARRANJO DE ALTERAÇÃO MORFOLÓGICA DE BORDA, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a dita barra propulsora é formada integralmente com uma das ditas partes superior e inferior da dita estrutura em camadas.

16. ARRANJO DE ALTERAÇÃO MORFOLÓGICA DE BORDA, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que cada uma das partes superior e inferior da dita estrutura em camadas é configurada para se comunicar de maneira deslizável uma com a outra no ápice.

17. ARRANJO DE ALTERAÇÃO MORFOLÓGICA DE BORDA, de acordo com a reivindicação 16, caracterizado pelo fato de que são providos adicionalmente um primeiro e segundo atuadores associados com as ditas respectivas partes superior e inferior da dita estrutura em camadas.

18. ARRANJO DE ALTERAÇÃO MORFOLÓGICA DE BORDA, de acordo com a reivindicação 17, caracterizado pelo fato de que os ditos primeiro e segundo atuadores impelem as ditas partes superior e inferior da dita estrutura em camadas uma na direção da outra.



10
FIG. 1

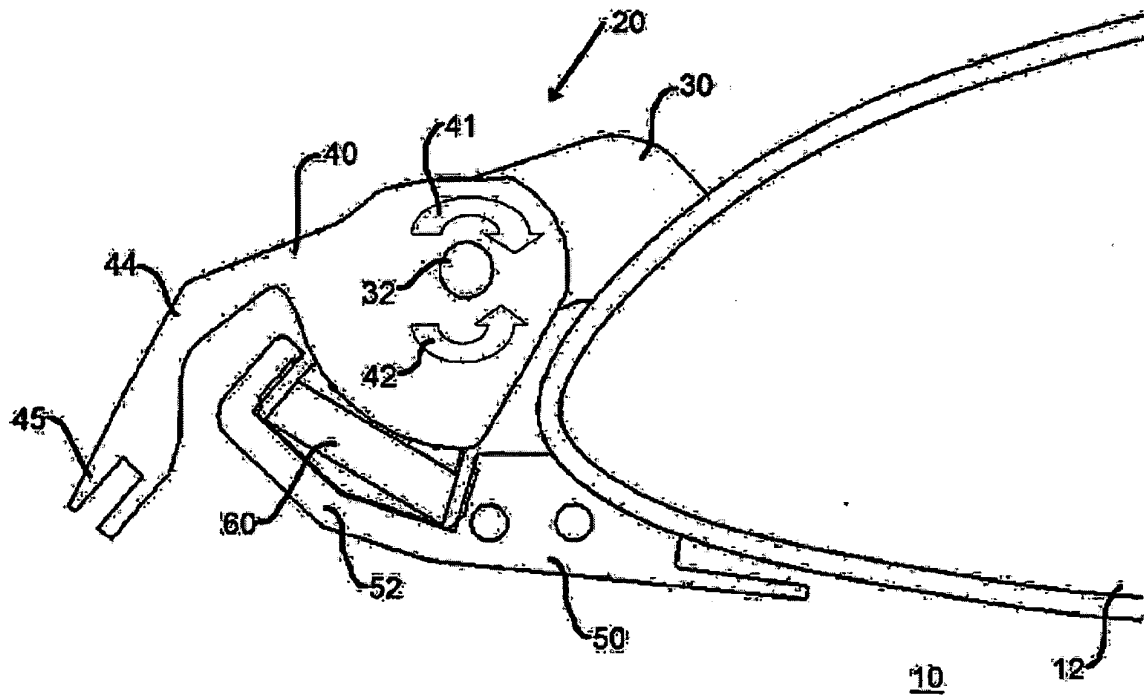


FIG. 2

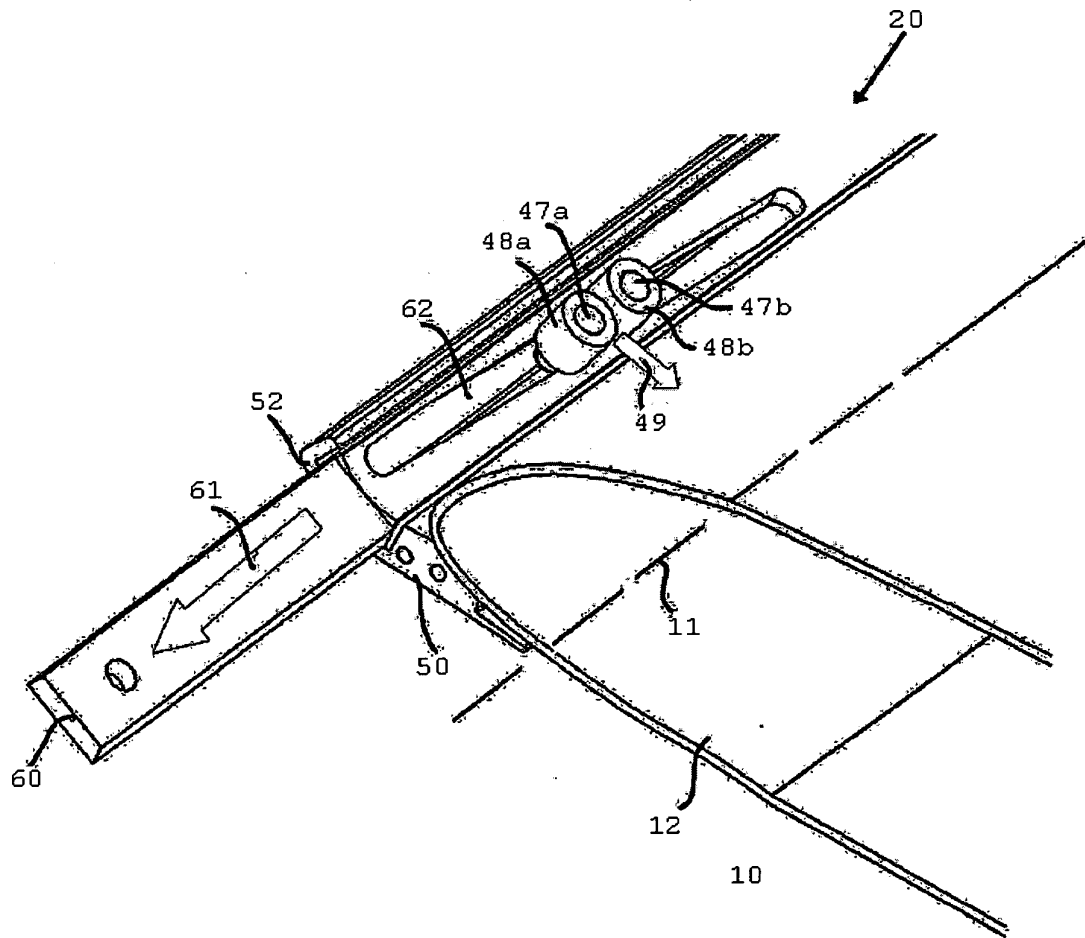


FIG. 3

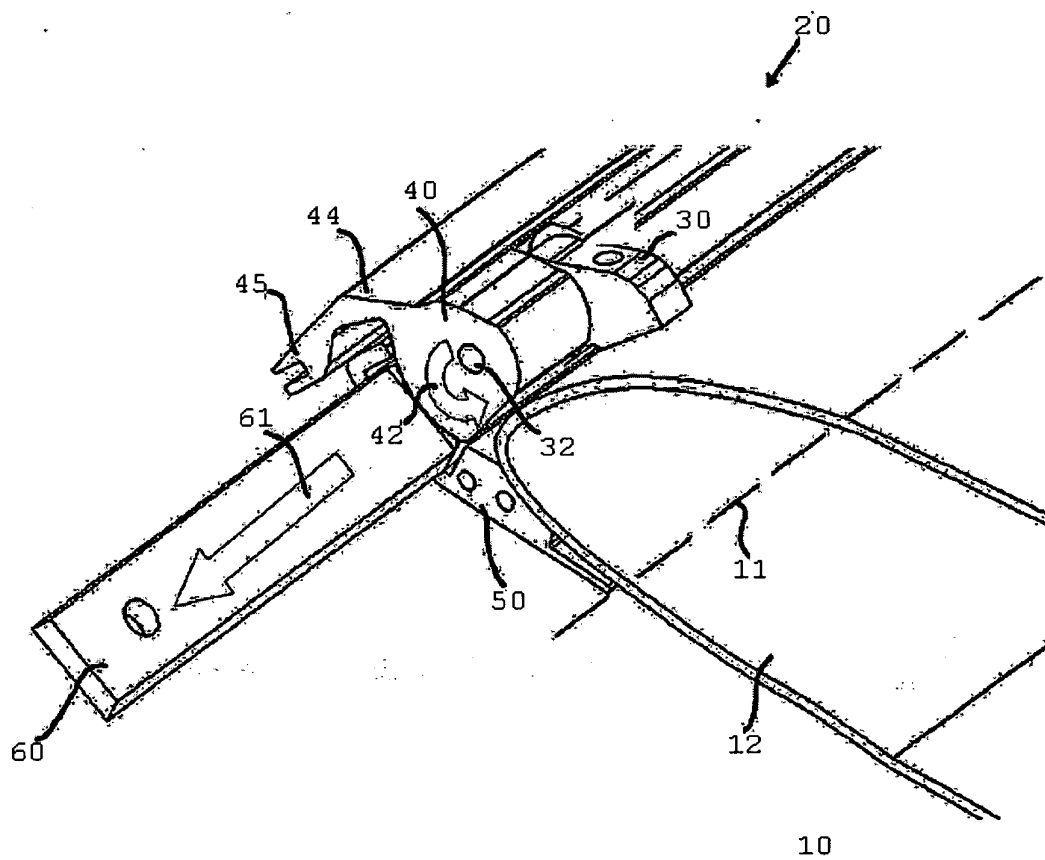


FIG. 4

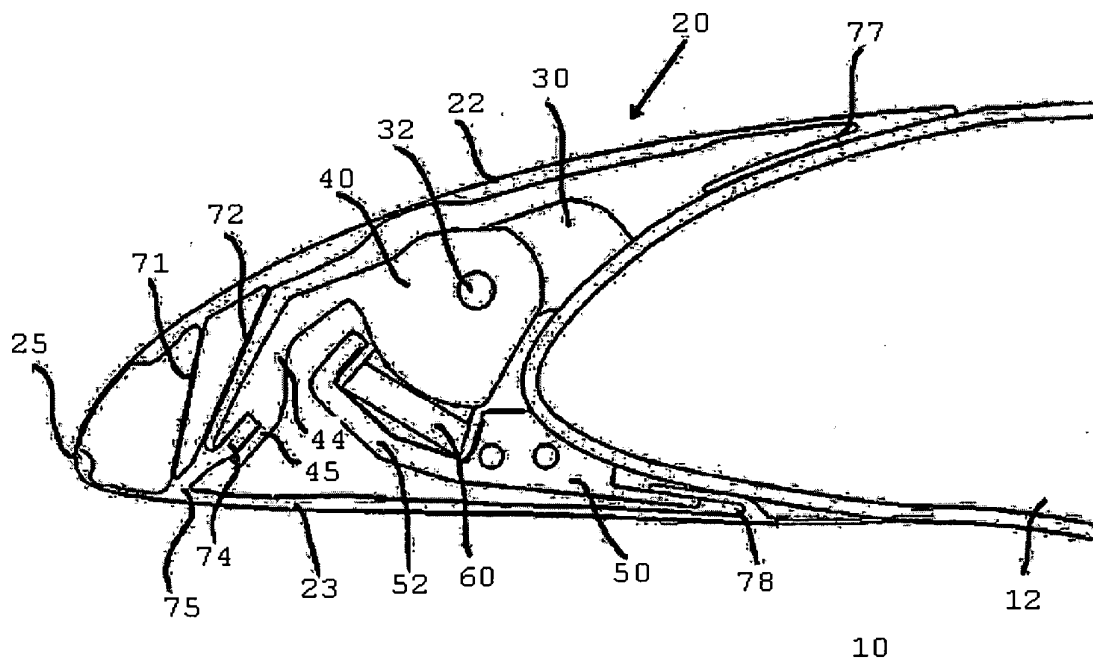


FIG. 5

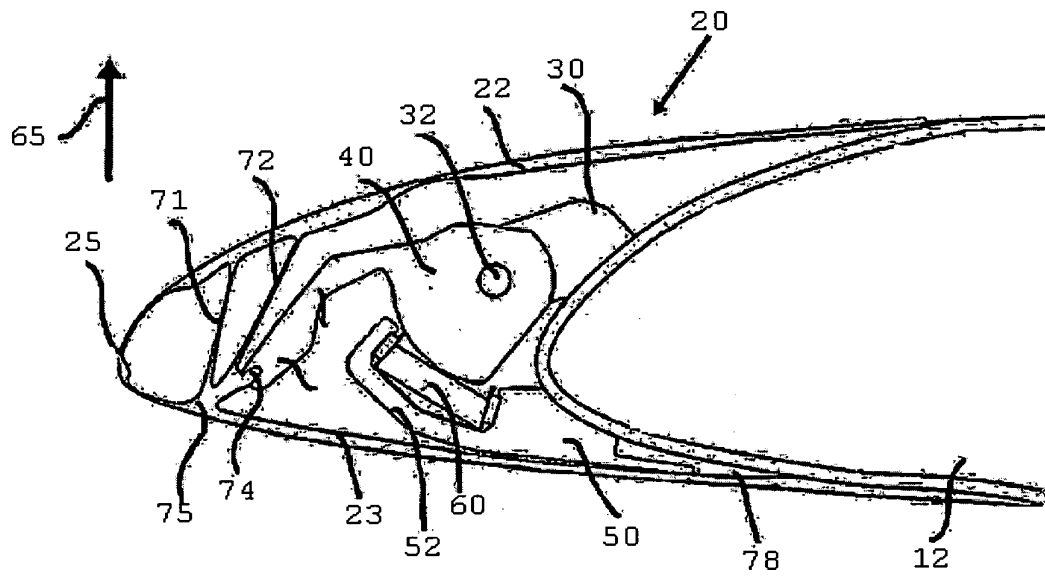


FIG. 6

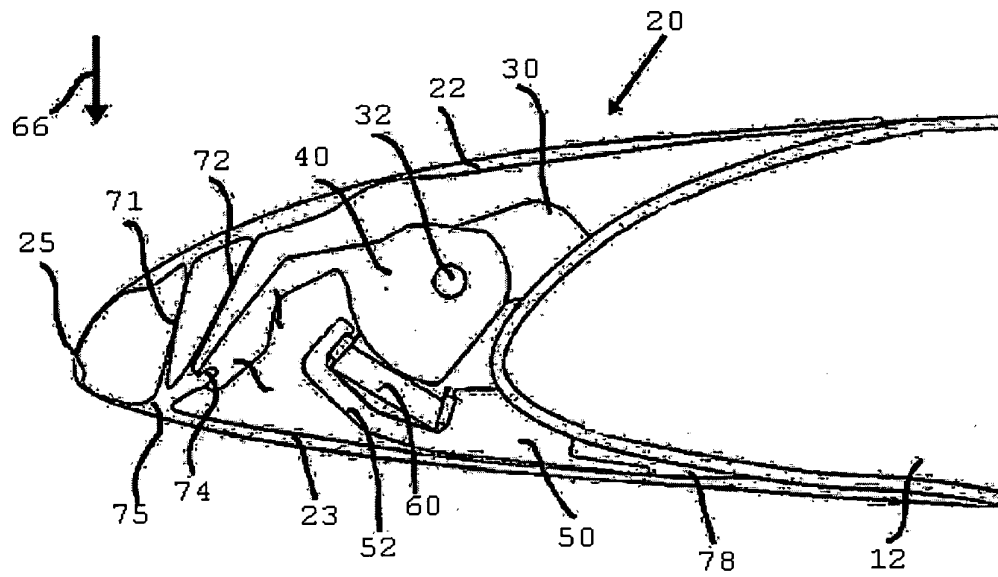


FIG. 7

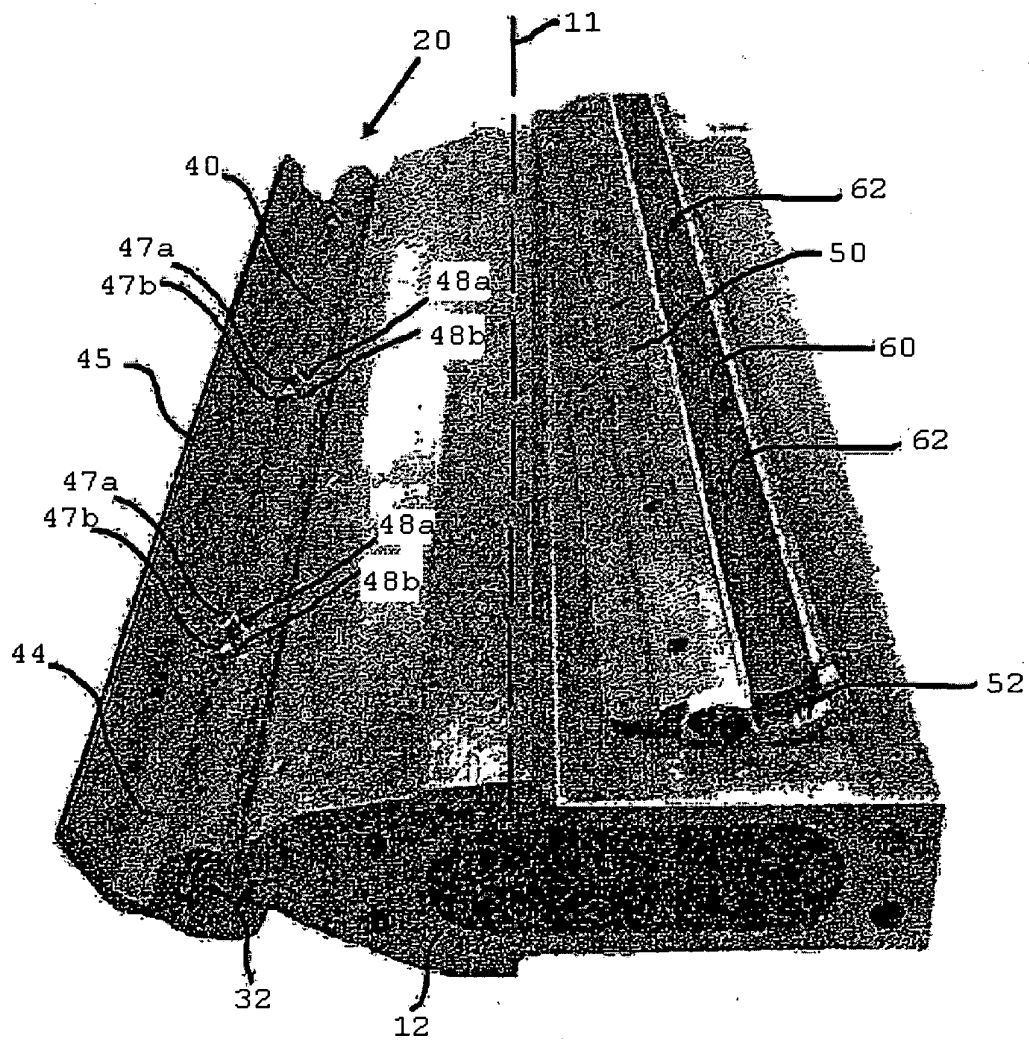


FIG. 8

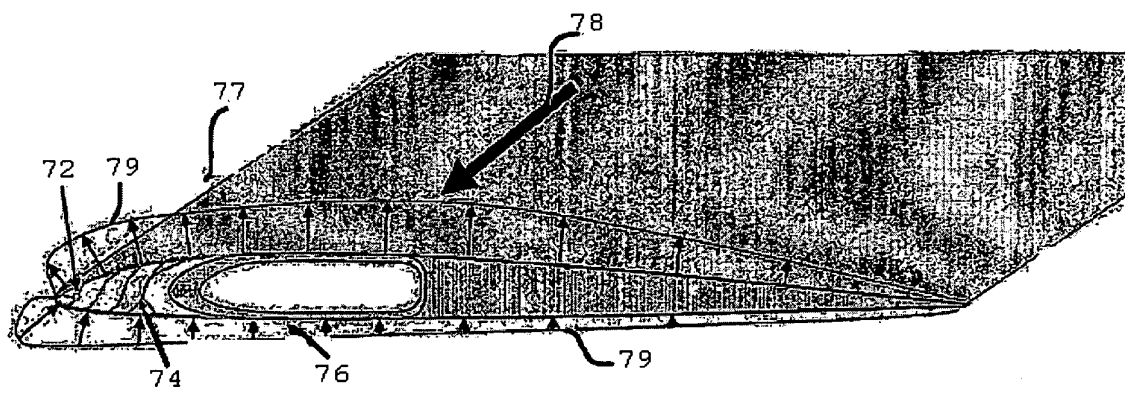


FIG. 9

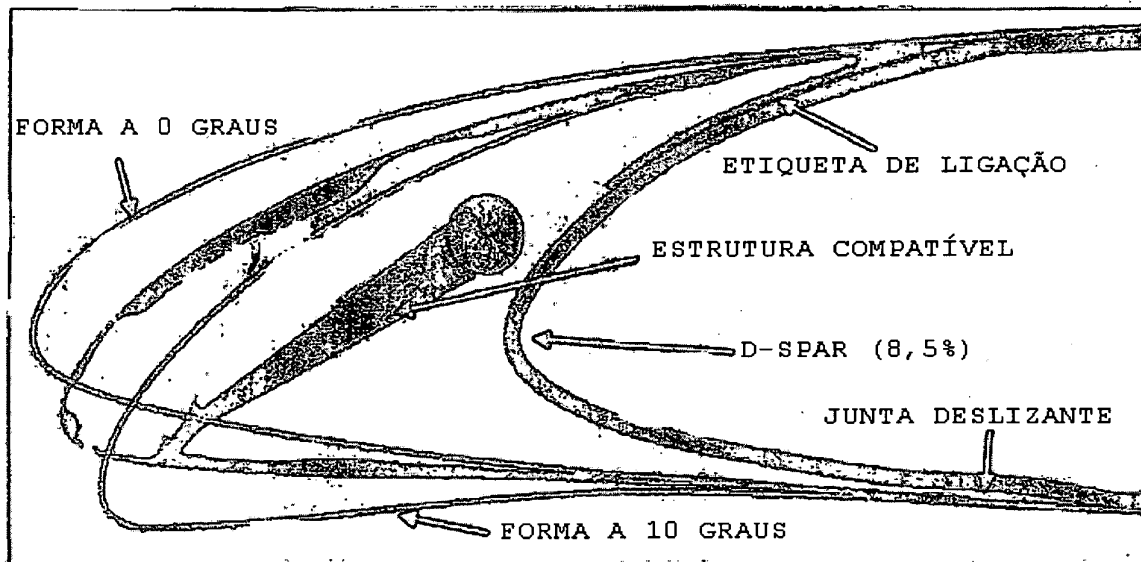


FIG. 10

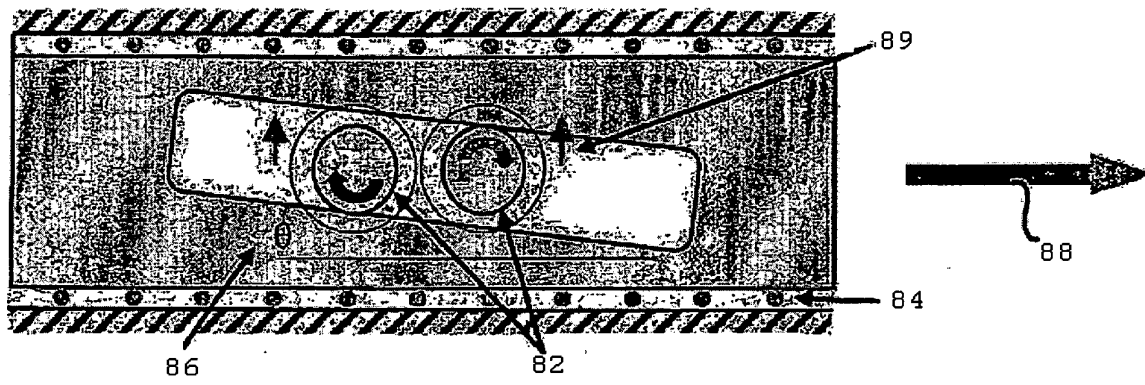


FIG. 11

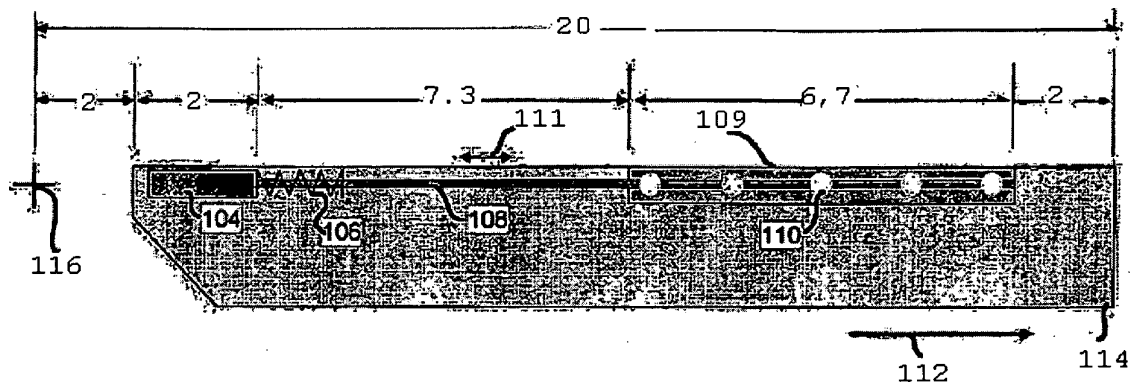


FIG. 12

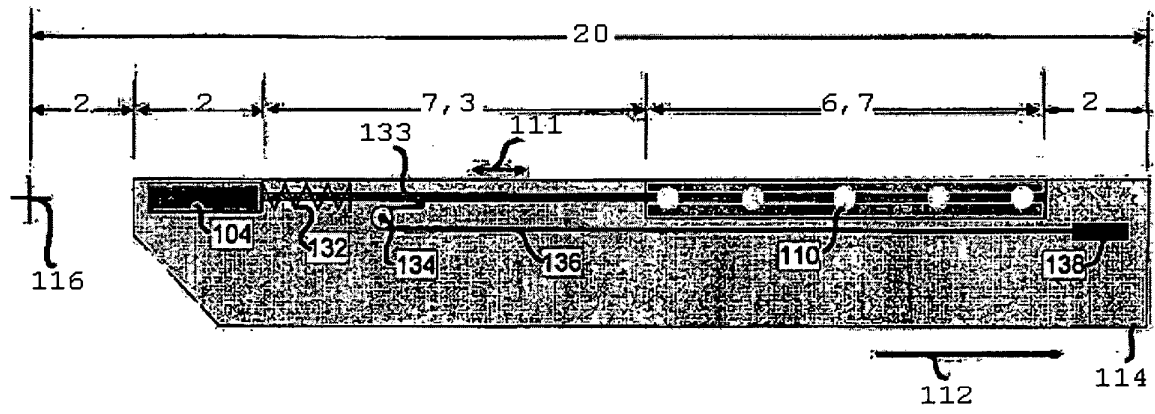


FIG. 13



FIG. 14

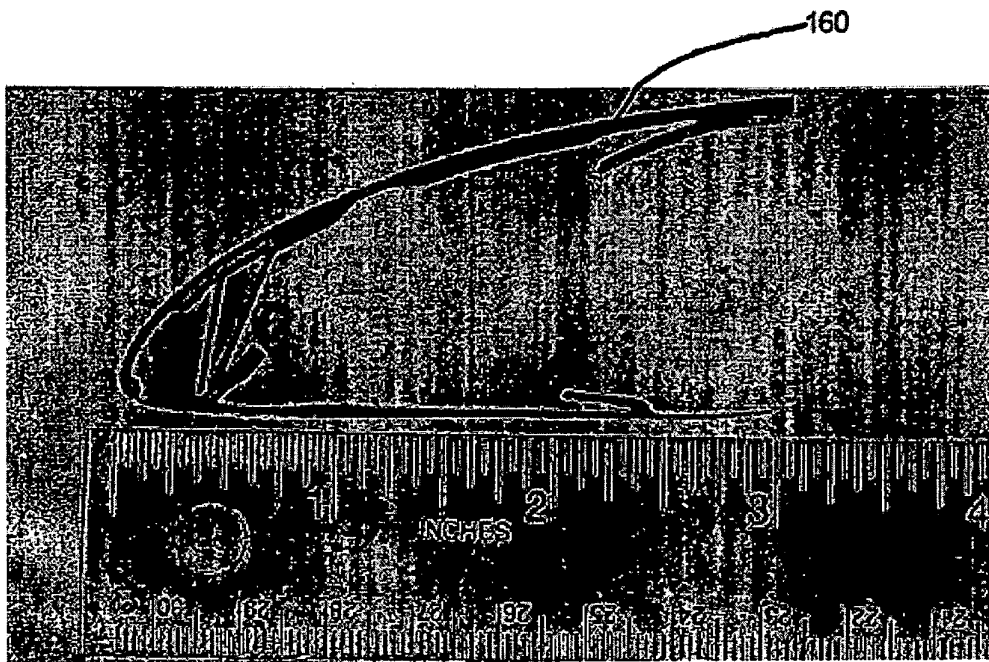
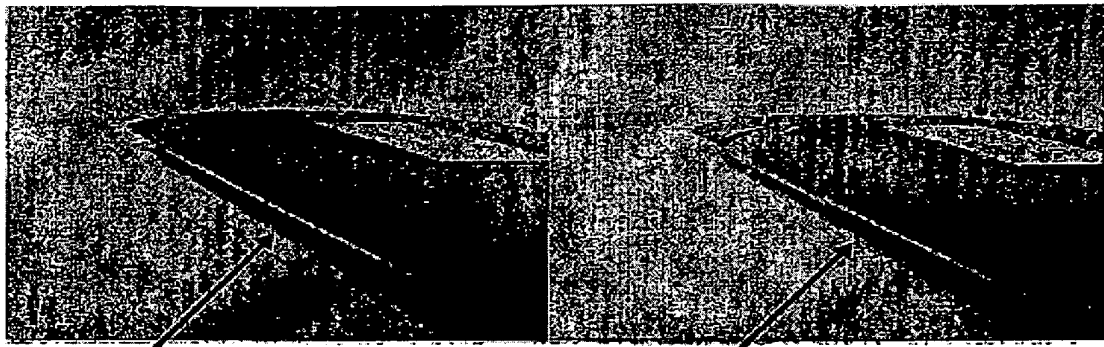


FIG. 15



170

FIG. 16A

170

FIG 16B

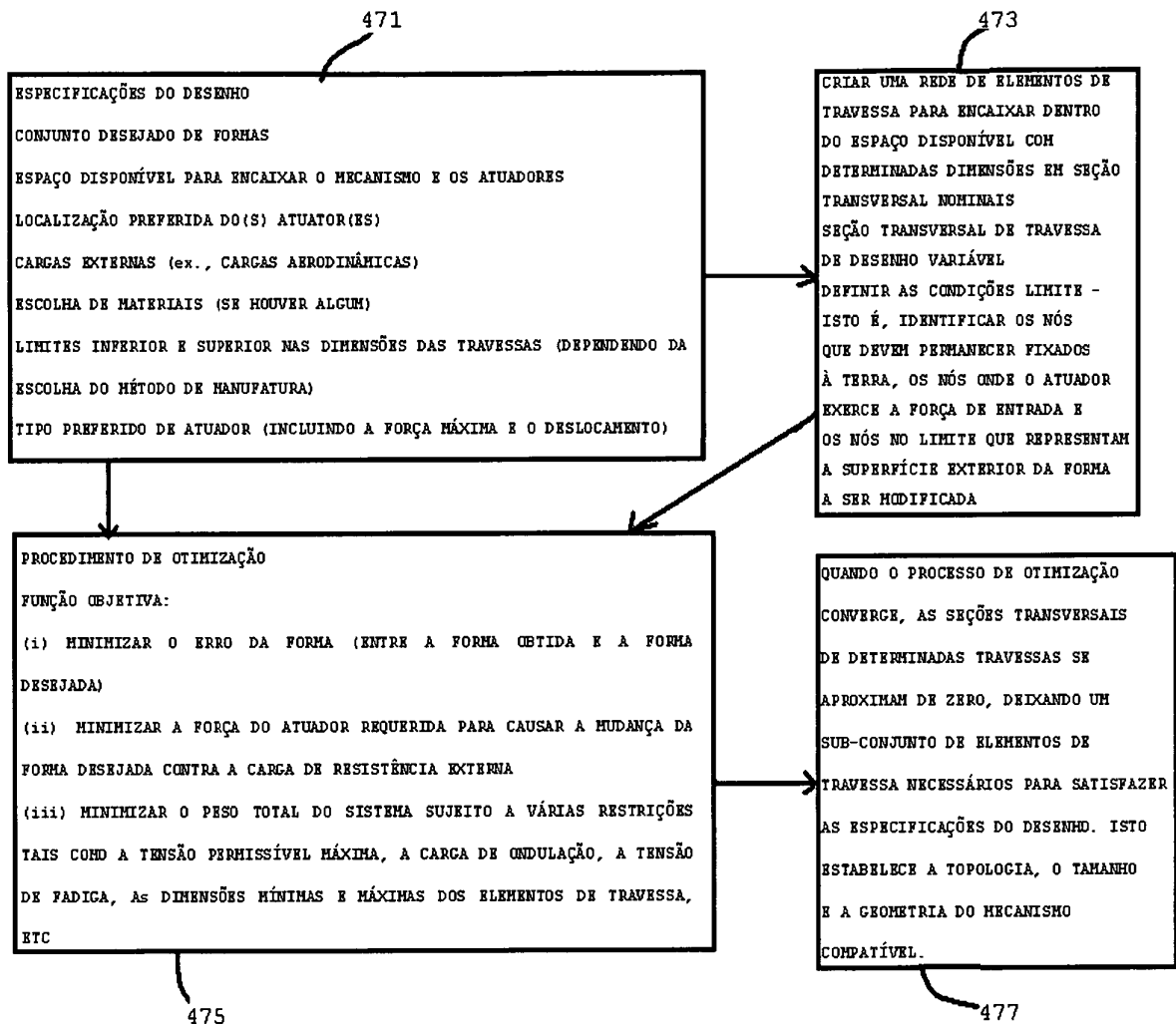
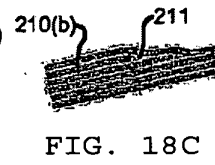
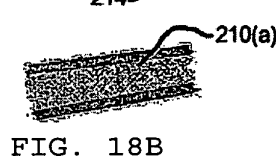
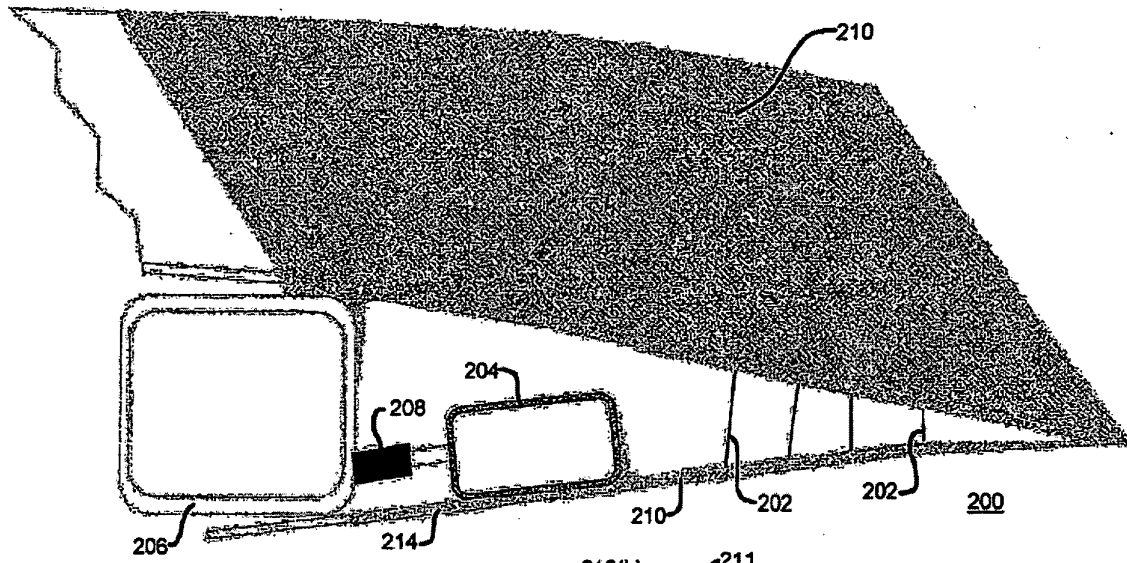


FIG. 17

FIG. 18A



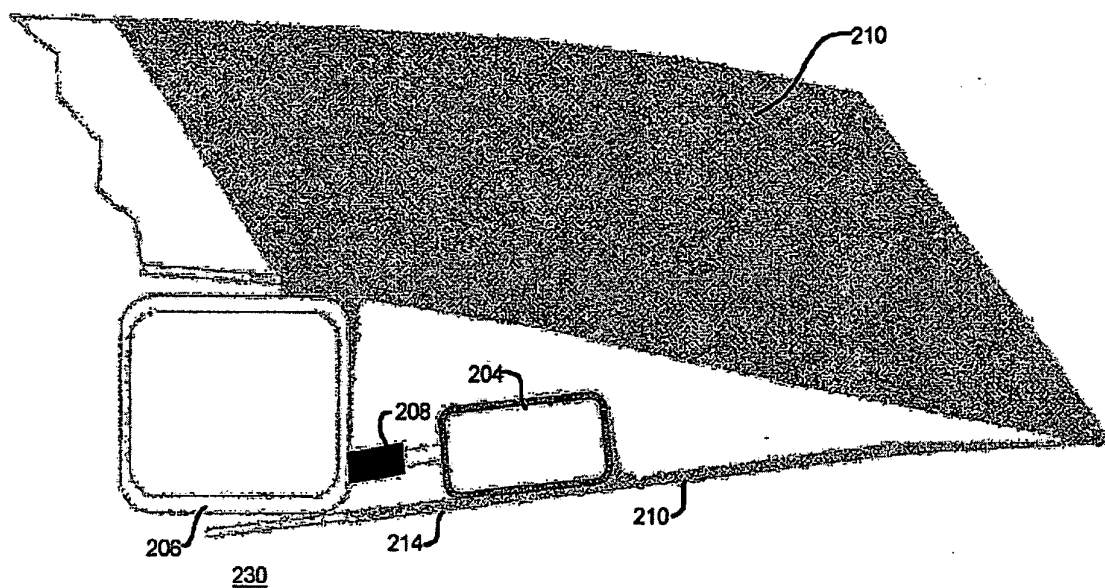


FIG. 19

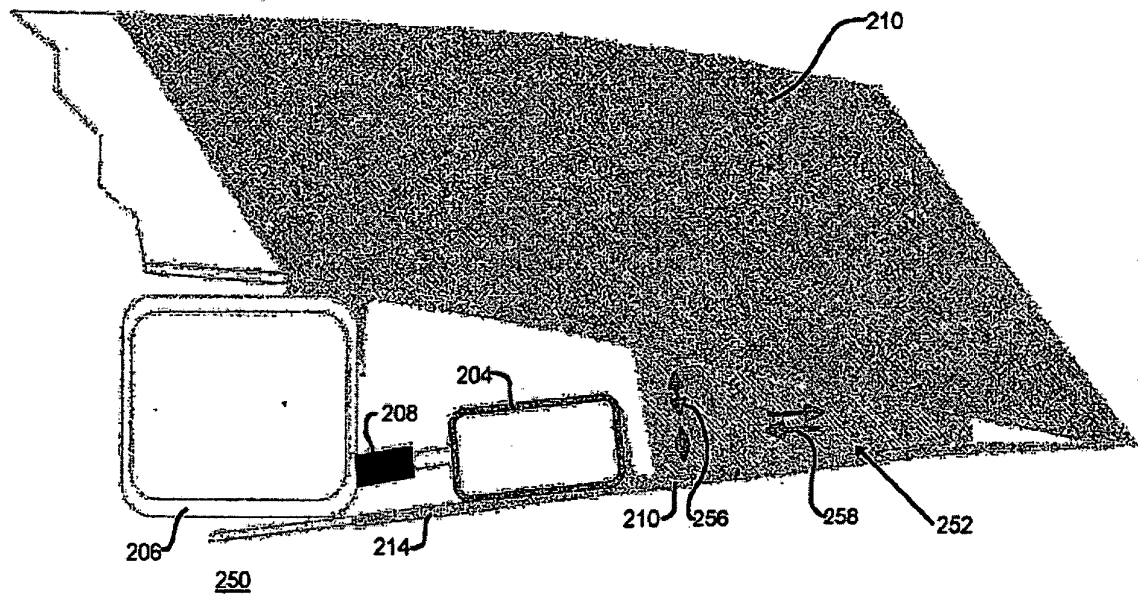


FIG. 20

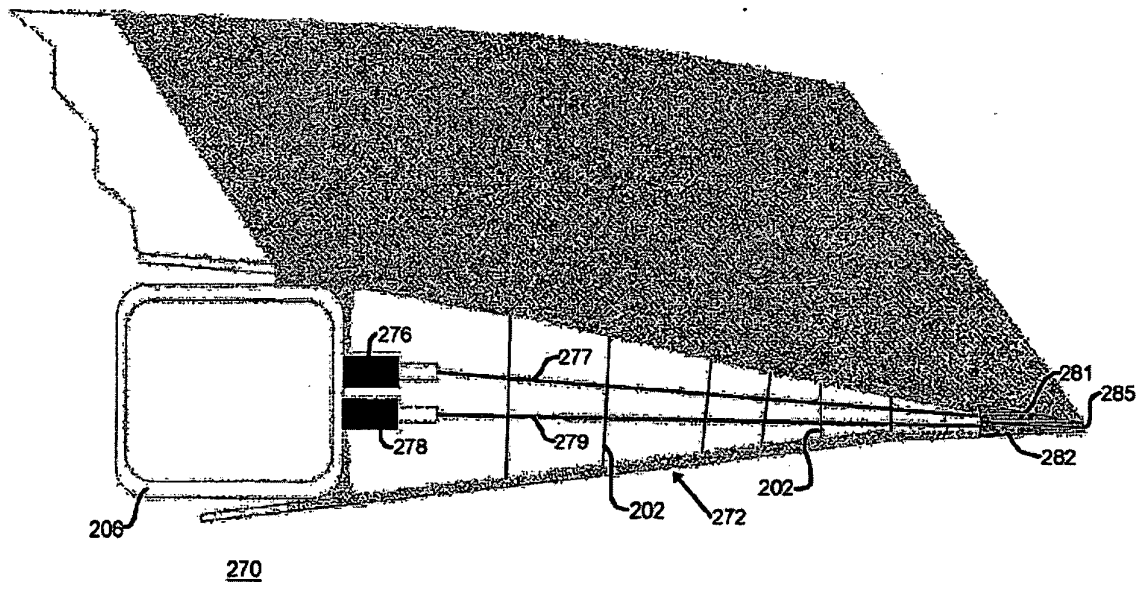


FIG. 21

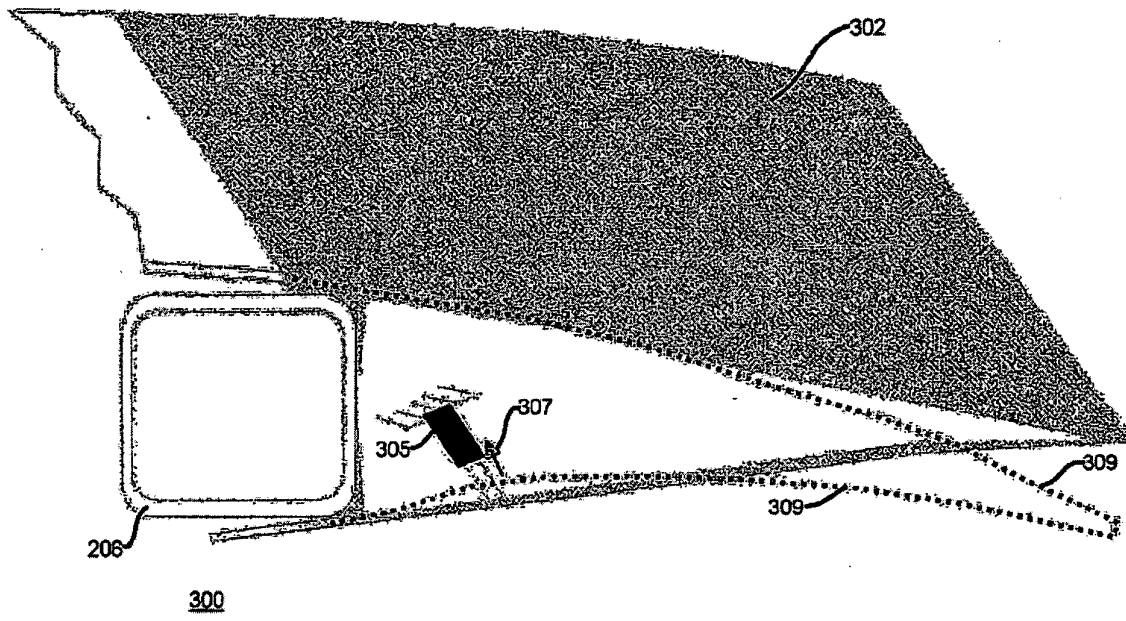


FIG. 22

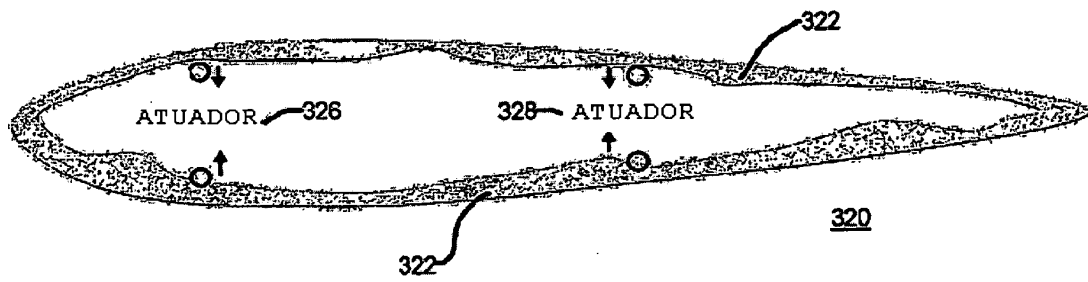


FIG. 23

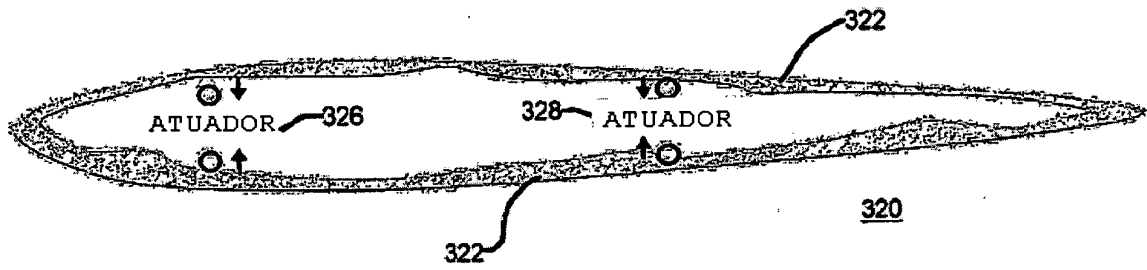


FIG. 24

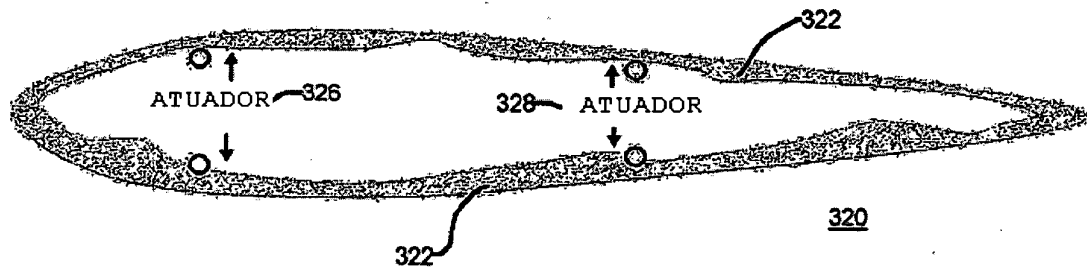


FIG. 25

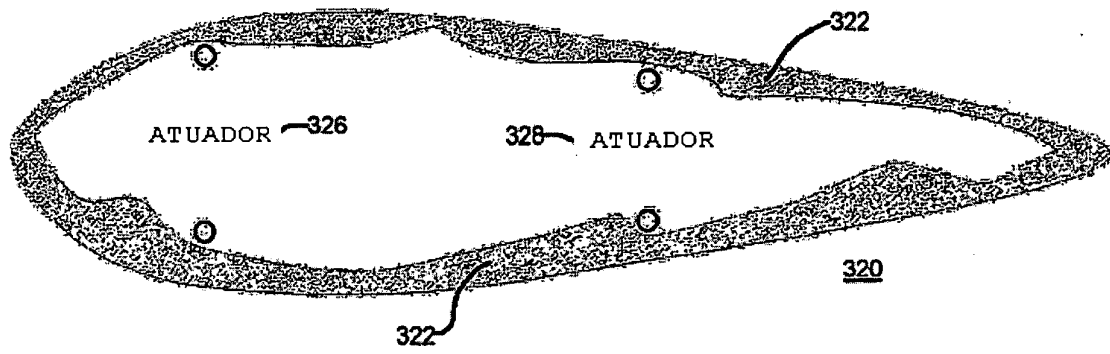


FIG. 26

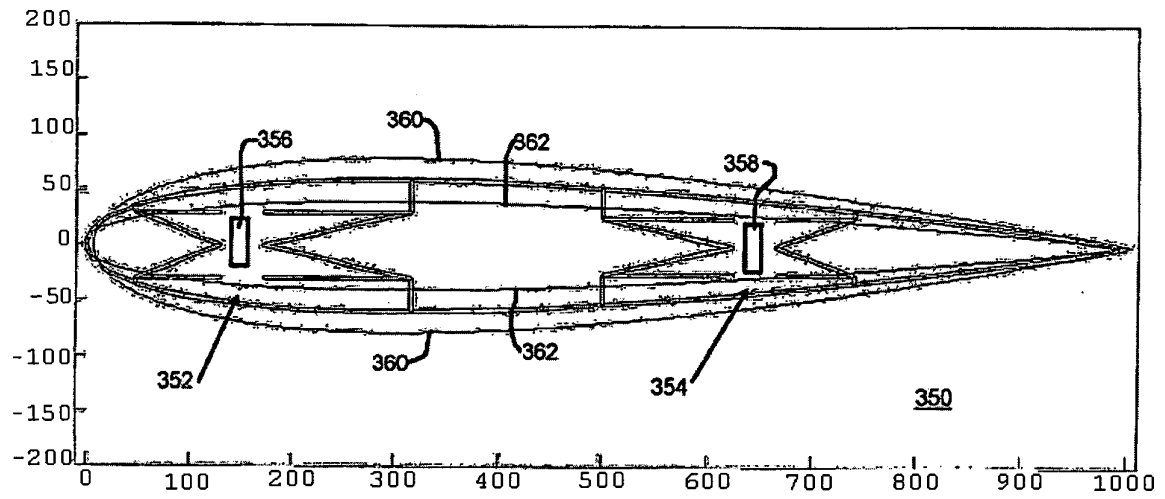


FIG. 27