

(12) **FASCÍCULO DE PATENTE DE INVENÇÃO**

| | |
|--|---|
| (22) Data de pedido: 2010.03.31 | (73) Titular(es): COROLIS COMPOSITES RUE CONDORCET Z.A. DU MOURILLON 56530 QUEVEN FR |
| (30) Prioridade(s): 2009.04.02 FR 0952144 | |
| (43) Data de publicação do pedido: 2012.02.08 | |
| (45) Data e BPI da concessão: 2014.07.16 172/2014 | (72) Inventor(es): ALEXANDER HAMLYN FR OLIVIER MUNAUX FR HERVÉ CAPPELLE FR |
| | (74) Mandatário: NUNO MIGUEL OLIVEIRA LOURENÇO RUA CASTILHO, Nº 50 - 9º 1269-163 LISBOA PT |

(54) Epígrafe: **PROCESSO E MÁQUINA PARA A APLICAÇÃO DE UMA BANDA DE FIBRAS SOBRE SUPERFÍCIES CONVEXAS E/OU COM ARESTAS**

(57) Resumo:

A PRESENTE INVENÇÃO REFERE-SE A UM PROCESSO E A UMA MÁQUINA DE APLICAÇÃO DE FIBRAS PARA A REALIZAÇÃO DE PEÇAS DE MATERIAIS COMPÓSITOS, ESPECIALMENTE PARA A APLICAÇÃO DE UMA BANDA DE FIBRAS SOBRE SUPERFÍCIES CONVEXAS E/OU COM ARESTAS. A MÁQUINA COMPREENDE UMA CABEÇA DE APLICAÇÃO DE FIBRAS E UM SISTEMA DE DESLOCAMENTO (5) DA REFERIDA CABEÇA DE APLICAÇÃO. A CABEÇA DE APLICAÇÃO COMPREENDE UM SISTEMA DE COMPACTAÇÃO QUE COMPREENDE UM ROLO DE COMPACTAÇÃO (2) DESTINADO A ENTRAR EM CONTACTO CONTRA A SUPERFÍCIE DE APLICAÇÃO (90) PARA APLICAR A BANDA, E UM ÓRGÃO DE COMPACTAÇÃO (3, 103, 203) DISPOSTO A JUSANTE DO REFERIDO ROLO DE COMPACTAÇÃO E TENDO UMA SUPERFÍCIE DE CONTACTO (32) SENSIVELMENTE PLANA, ESTANDO O REFERIDO ÓRGÃO DE COMPACTAÇÃO APTO PARA SER LEVADO EM APOIO PELA SUA SUPEFÍCIE DE CONTACTO, CONTRA UMA SUPERFÍCIE DE APLICAÇÃO, EM SENSIVELMENTE TODA A LARGURA DE UMA BANDA, DE ACORDO PELO MENOS COM UMA LINHA DE CONTACTO.

RESUMO

"PROCESSO E MÁQUINA PARA A APLICAÇÃO DE UMA BANDA DE FIBRAS SOBRE SUPERFÍCIES CONVEXAS E/OU COM ARESTAS"

A presente invenção refere-se a um processo e a uma máquina de aplicação de fibras para a realização de peças de materiais compósitos, especialmente para a aplicação de uma banda de fibras sobre superfícies convexas e/ou com arestas. A máquina compreende uma cabeça de aplicação de fibras e um sistema de deslocamento (5) da referida cabeça de aplicação. A cabeça de aplicação compreende um sistema de compactação que compreende um rolo de compactação (2) destinado a entrar em contacto contra a superfície de aplicação (90) para aplicar a banda, e um órgão de compactação (3, 103, 203) disposto a jusante do referido rolo de compactação e tendo uma superfície de contacto (32) sensivelmente plana, estando o referido órgão de compactação apto para ser levado em apoio pela sua superfície de contacto, contra uma superfície de aplicação, em sensivelmente toda a largura de uma banda, de acordo pelo menos com uma linha de contacto.

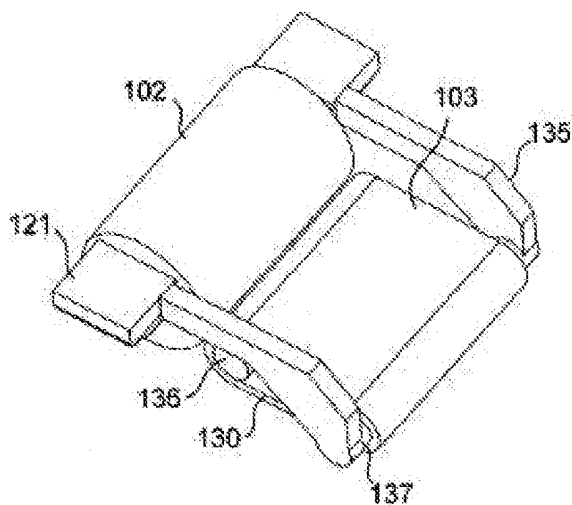


FIG. 7A

DESCRIÇÃO

A presente invenção refere-se a um processo e a uma máquina de aplicação de fibras para a realização de peças de materiais compósitos, mais particularmente a um processo e a uma máquina para a aplicação de uma banda de fibras sobre superfícies convexas e/ou com arestas.

São conhecidas máquinas de aplicação de fibras chamadas correntemente máquinas de colocação de fibras, para a aplicação sobre um molde macho ou fêmea de uma banda larga formada por várias fibras achatadas de tipo fitas, impregnadas de resina, especialmente fibras de carbono impregnadas de uma resina termoendurecível ou termoplástica. Estas máquinas, tais como descritas no documento de patente WO2006/092514 compreendem convencionalmente uma cabeça de aplicação de fibras, apta para aplicar sobre uma superfície de aplicação de um molde uma banda formada por várias fibras achatadas, e um sistema de deslocamento da referida cabeça de aplicação de fibras.

A cabeça de aplicação de fibras, também chamada cabeça de colocação de fibras, compreende convencionalmente um rolo de compactação destinado a entrar em contacto contra o molde de acordo com uma linha de contacto para aplicar a banda de fibras, e meios de guiamento das fibras na forma de uma banda sobre o referido rolo de compactação.

O sistema de deslocamento garante o movimento da cabeça de aplicação de acordo pelo menos com três direções perpendiculares umas às outras. O sistema de deslocamento pode ser formado por um braço multi-articulado de tipo robô padrão de seis eixos, disposto no solo ou montado sobre um eixo linear, com um punho de extremidade ao qual é fixada a cabeça de aplicação, ou por um robô cartesiano de tipo

pórtico equipado com um punho de extremidade que suporta a cabeça de aplicação.

No momento da aplicação, depositam-se fibras através do rolo de compactação, este último mantém uma pressão contínua sobre a superfície de aplicação do molde para evacuar progressivamente o ar encerrado entre as bandas de fibras depositadas. Depois da aplicação de várias camadas de bandas sobrepostas, a peça resultante é endurecida no vácuo por passagem num forno, geralmente autoclave.

Esta operação de compactação no momento do levantamento permite obter uma peça antes da operação de endurecimento cujas dimensões correspondem sensivelmente às da peça final obtida após endurecimento.

No caso da aplicação de banda formada por um número significativo de fibras, por exemplo oito fibras, estas máquinas de aplicação e os softwares de programação de colocação de fibras propostos até à data não permitem depositar uma banda de fibras sobre arestas ou superfícies convexas de pequeno raio de curvatura, por exemplo inferior a 10 mm, que compactam todas as fibras da banda, e em orientações de cerca de 45° ou 135° em relação à aresta ou à geratriz da superfície convexa.

Na ausência de compactação, a evacuação das bolhas de ar é realizada unicamente no momento do endurecimento no vácuo, a peça final apresenta então dobras de excesso de matéria ao nível das referidas arestas ou das superfícies convexas.

Até à data, essas diferentes peças com arestas e/ou superfícies convexas são obtidas através de realização de peças planas por meio de uma máquina de aplicação do tipo

supracitado, depois através de uma operação de dobração e/ou de arqueamento das peças planas antes do endurecimento. Para além do facto de necessitar de uma operação suplementar complexa, esta operação de dobração ou de arqueamento conduz também à formação de dobras ao nível das camadas interiores, que afeta as propriedades de resistência da peça final.

Assim, as máquinas de aplicação propostas até à data não são utilizadas para peças essenciais, especialmente no setor da aeronáutica, tais como as longarinas de asa de avião, vigas de pás para turbinas eólicas, perfis aerodinâmicos, ferragens ou reforços expressos em L.

O documento JP2005329593 descreve uma máquina de aplicação onde a unidade de compactação compreende um rolo de compactação quente e uma placa de recompactação que compacta de novo a banda imediatamente após a compactação através do rolo de compressão. A unidade de compactação é utilizada de modo que ao mesmo tempo o rolo de compactação e a placa de descompactação vêm contra a superfície de aplicação.

Os documentos US5700347, US4990213, e DE102007009124 descrevem máquinas de aplicação que compreendem uma patilha de arrefecimento disposta a jusante do rolo de compactação.

O documento US 4992133 descreve uma máquina para ligar ao mesmo tempo pelo menos duas fibras, a máquina compreendendo uma cabeça, uma superfície de suporte e meios de condução para levar as duas fibras entre a cabeça e a superfície de suporte. A cabeça compreende meios de compressão e meios de aquecimento montados que giram em relação aos meios de compressão, a montante dos meios de compressão, estando uma correia montada entre os meios de

compressão e os meios de aquecimento. Os meios de aquecimento compreendem um elemento condutor de calor com uma superfície inferior arqueada correspondente à forma da superfície de suporte. Os meios de compressão compreendem uma pluralidade de placas de compressão afastadas umas das outras na direção de avanço e móveis independentemente umas das outras.

O documento US 4351688 descreve uma máquina de aplicação que compreende um rolo de compactação segmentado.

A finalidade da presente invenção é propor uma solução que visa superar os inconvenientes supracitados, que permite a realização, por meio de uma máquina de aplicação de fibras, de peças com arestas e/ou superfícies convexas tendo boas propriedades mecânicas.

Para este fim, a presente invenção propõe um processo como definido na reivindicação 1, para a aplicação de uma banda formada por várias fibras achatadas, sensivelmente ligadas, sobre:

- uma superfície de aplicação que compreende uma primeira superfície sensivelmente plana e uma segunda superfície sensivelmente plana ligada por uma aresta ou por uma superfície arredondada, por exemplo em forma de círculo,

- ou sobre uma superfície de aplicação convexa, por exemplo uma superfície cilíndrica ou troncónica,

a aplicação da banda sendo realizada por meio de uma cabeça de aplicação de fibras que compreende um sistema de compactação que inclui um rolo de compactação, o referido processo compreendendo a entrada em contacto do rolo de compactação contra a superfície de aplicação e o movimento da cabeça de compactação para aplicar uma banda de fibras

sobre a superfície de aplicação, sendo o referido processo caracterizado por compreender as etapas seguintes:

- pôr em contacto, contra a banda de fibras aplicada sobre a superfície de aplicação, um órgão de compactação do sistema de compactação, disposto a jusante do rolo de compactação em relação à direção de avanço da cabeça, estando o referido órgão de compactação em contacto sensivelmente contra o conjunto das fibras da banda de acordo pelo menos com uma linha de contacto,

- fazer girar a cabeça à volta da aresta, à volta da superfície arredondada ou à volta da superfície convexa, de modo que o referido órgão de compactação permaneça em contacto com a banda para a compactar, de acordo pelo menos com uma linha de contacto, sensivelmente sem deslizamento entre o referido órgão de compactação e a superfície de aplicação, o rolo de compactação descrevendo uma curva involuta. São definidas formas preferenciais do processo nas reivindicações dependentes de 2 a 9.

De acordo com a invenção, a cabeça compreende um órgão de compactação suplementar através do qual ela é posta em contacto contra a banda aplicada contra a superfície de aplicação, de acordo com pelo menos uma linha de contacto, depois a cabeça é girada de forma a manter o referido órgão de compactação contra a banda de acordo pelo menos com uma linha de contacto, conservando uma velocidade relativa em translação sensivelmente nula entre o referido órgão de compactação e a superfície de aplicação, isto é sensivelmente sem deslizamento.

A entrada em contacto do órgão de compactação é realizada por oscilação para trás da cabeça, através do sistema de deslocamento da cabeça e/ou por movimento do órgão de compactação através de um sistema de deslocamento próprio do referido órgão de compactação. A etapa de

rotação é realizada depois de uma etapa de movimento da cabeça tangencialmente para a superfície de aplicação para levar o rolo de compactação para além da aresta, para além da aresta, para além da linha de junção entre a primeira superfície e a superfície arredondada ou para além da geratriz da superfície convexa, a fim de permitir a operação de rotação, sendo a referida etapa de entrada em apoio do órgão de compactagem realizada simultaneamente ou após essa etapa de deslocamento.

De acordo com uma forma de realização, no caso de uma superfície de aplicação que compreende uma primeira superfície sensivelmente plana e uma segunda superfície sensivelmente plana ligada por uma aresta, o referido processo compreende as etapas seguintes:

- pôr em contacto o rolo de compactação contra a primeira superfície de acordo com pelo menos uma linha de contacto, e mover a cabeça de aplicação para aplicar uma banda de fibras sobre a referida primeira superfície, de acordo com uma primeira direção que forma um ângulo α_1 com a aresta,

- à chegada da aresta, mover a cabeça de acordo com a referida primeira direção tangencialmente para a primeira superfície, para levar o rolo de compactação sensivelmente para além da referida aresta, e simultaneamente ou sucessivamente, pôr em contacto o primeiro órgão de compactação contra a banda aplicada sobre a primeira superfície,

- fazer girar a cabeça à volta da aresta, de modo que o referido órgão de compactação permaneça em contacto com a banda de acordo com pelo menos uma linha de contacto, sendo a referida rotação realizada até à entrada em contacto do rolo de compactação contra a segunda superfície de acordo

pelo menos com uma linha de contacto correspondente sensivelmente à largura da banda,

- separar o referido órgão de compactação da superfície de aplicação para que já não esteja em contacto com esta última, e simultaneamente ou sucessivamente, mover a cabeça para aplicar a banda sobre a referida segunda superfície, de acordo com uma segunda direção que forma um ângulo α_2 , sensivelmente igual a $180-\alpha_1$, com a aresta.

De acordo com uma outra forma de realização, no caso de uma superfície de aplicação que compreende uma primeira superfície sensivelmente plana e uma segunda superfície sensivelmente plana ligada por uma superfície arredondada, o referido processo compreende as etapas seguintes:

- pôr em contacto o rolo de compactação contra a primeira superfície de acordo pelo menos com uma linha de contacto e mover a cabeça de aplicação para aplicar uma banda de fibras sobre a referida primeira superfície, de acordo com uma primeira direção que forma um ângulo α_1 com a primeira linha de junção, sensivelmente linear, entre a primeira superfície e a superfície arredondada,

- à chegada da referida primeira linha de junção, mover a cabeça de acordo com a referida primeira direção, tangencialmente para a primeira superfície, para levar o rolo de compactação para além da referida primeira linha de junção, e simultaneamente ou sucessivamente pôr em contacto o órgão de compactação contra a banda aplicada sobre a primeira superfície,

- fazer girar, numa ou em várias etapas de rotação, a cabeça à volta da superfície arredondada, de modo que o referido órgão permaneça em contacto com a banda de acordo pelo menos com uma linha de contacto, até à entrada em contacto do rolo de compactação contra a segunda superfície de acordo com pelo menos uma linha de contacto, e separar o

referido órgão de compactação da superfície de aplicação para que não esteja mais em contacto com esta última, e simultaneamente ou sucessivamente, mover a cabeça de aplicação em contato com a segunda superfície através do seu rolo de compactação de acordo com pelo menos uma linha de contacto para aplicar a banda sobre a referida segunda superfície, de acordo com uma direção que forma um ângulo α_2 , sensivelmente igual a $180-\alpha_1$, com a segunda linha de junção entre a superfície arredondada e a segunda superfície.

Nesta forma de realização, após a entrada em contacto do órgão de compactação contra a banda aplicada sobre a primeira superfície, pode-se

- fazer girar à volta da superfície arredondada até à entrada em contacto do rolo de compactação contra a superfície de aplicação, e

- se o rolo de compactação está em contacto de acordo com pelo menos um ponto de contacto com a superfície arredondada no final da referida rotação, mover a cabeça tangencialmente para a superfície arredondada ao referido ponto de contacto, numa direção que faz um ângulo α_1 com a geratriz da superfície arredondada que passa pelo referido ponto de contacto, com ou sem contacto do órgão de compactação com a superfície arredondada, de preferência sem contacto separando o referido órgão da superfície arredondada, depois fazer girar a cabeça à volta da superfície arredondada, sendo estas duas etapas de deslocamento e de rotação repetidas até à entrada em contacto do rolo de compactação contra a segunda superfície de acordo com pelo menos uma linha de contacto.

Em variante, o movimento da cabeça que precede a etapa de rotação é realizado antes da entrada em contacto do rolo contra a superfície arredondada.

A superfície arredondada pode estender-se sobre um setor angular superior a 180° .

De acordo com uma outra forma de realização, no caso de uma superfície de aplicação convexa, por exemplo uma superfície cilíndrica ou troncónica, o referido processo compreende as etapas seguintes:

- pôr em contacto o rolo de compactação contra a superfície de aplicação convexa de acordo com pelo menos um ponto de contacto,

- mover a cabeça tangencialmente para a superfície de aplicação convexa ao referido ponto de contacto, numa direção que faz um ângulo α_1 com a geratriz da superfície convexa que passa pelo referido ponto de contacto, com ou sem contacto do órgão de compactação com a superfície de aplicação convexa,

- numa ou em várias etapas de rotação, fazer girar à volta da superfície de aplicação convexa a cabeça de aplicação em apoio contra a superfície de aplicação convexa através do seu órgão de compactação, sendo a referida rotação realizada de modo que o referido órgão permaneça em contacto com a banda sonora de acordo com pelo menos uma linha de contacto.

Nesta forma de realização, depois do movimento da cabeça tangencialmente para a superfície de aplicação convexa ao referido ponto de contacto, numa direção que faz um ângulo α_1 com a geratriz da superfície convexa que passa pelo referido ponto de contacto, com ou sem contacto do órgão de compactação com a superfície de aplicação convexa,

de preferência sem contacto separando o referido órgão da superfície de aplicação convexa, pode-se

- fazer girar à volta da superfície de aplicação convexa a cabeça de aplicação em apoio contra a superfície de aplicação convexa através do seu órgão de compactação, até à entrada em contacto do rolo de compactação contra a superfície de aplicação convexa, e repetir as etapas de deslocamento e de rotação precedentes uma ou várias vezes.

Em variante, o movimento da cabeça que precede a etapa de rotação é realizado antes da entrada em contacto do rolo contra a superfície de aplicação convexa.

O presente processo é vantajosamente utilizado para um ângulo α_1 diferente de 90° , de preferência compreendido entre 10° e 80° , de preferência entre 20° e 70° , melhor ainda entre 30° e 60° , por exemplo da ordem de 45° .

A presente invenção tem também como objetivo uma máquina como definida na reivindicação 10, para a aplicação de fibras, para a realização de peças de materiais compósitos, utilizável para a implementação do processo definido acima, que compreende:

- uma cabeça de aplicação de fibras, apta para aplicar sobre uma superfície de aplicação uma banda formada por várias fibras achatadas, e que compreende um sistema de compactação que inclui um rolo de compactação destinado a entrar em contacto contra a superfície de aplicação para aplicar a banda, e meios de guiamento de fibras, na forma de uma banda, sobre o referido rolo de compactação, e

- um sistema de deslocamento da referida cabeça de aplicação de fibras, caracterizada por o referido sistema de compactação compreender além disso um órgão de

compactação disposto a jusante do referido rolo de compactação e que apresenta uma superfície de contacto sensivelmente plana, estando o referido órgão de compactação apto para ser levado, em apoio pela sua superfície de contacto, contra uma superfície de aplicação, sobre sensivelmente toda a largura de uma banda, de acordo com pelo menos uma linha de contacto, o órgão de compactação compreendendo uma banda sem fim montada sobre um rolo de desvio a montante e um rolo de desvio a jusante, estando os dois rolos montados, de preferência rotativos, a jusante do rolo de compactação, paralelamente ao eixo do rolo de compactação, o cabo inferior da banda sem fim constituindo a referida superfície de contacto do órgão de compactação. Formas preferenciais da máquina são definidas nas reivindicações dependentes de 11 a 13.

O referido órgão de compactação é vantajosamente formado a partir de um material de elastómero, de preferência coberto por uma película antiaderente, tal como uma película Teflon. A superfície de contacto do órgão de compactação é vantajosamente disposta mais perto do rolo de compactação.

De acordo com uma forma de realização, o órgão de compactação compreende uma cunha de compactação, independente do rolo de compactação.

De acordo com uma outra forma de realização, o órgão de compactação compreende uma banda sem fim montada sobre o rolo de compactação e um rolo de desvio a jusante, estando o referido rolo de desvio a jusante montado a jusante e paralelamente ao rolo de compactação, o cabo inferior da banda sem fim constituindo a referida superfície de contacto do órgão de compactação.

De acordo com uma forma de realização, a cabeça de aplicação compreende uma estrutura de suporte através da qual a referida cabeça é ligada ao sistema de deslocamento, o órgão de compactação e o rolo de compactação são montados sobre a referida estrutura de suporte de modo fixo um em relação ao outro, sem deslocamento relativo da superfície de contacto do órgão de compactação em relação ao eixo do rolo de compactação, o referido órgão de compactação é então levado em apoio contra a superfície de aplicação por movimento da cabeça de aplicação através do sistema de deslocamento da máquina. Em variante, o órgão de compactação é montado móvel sobre a estrutura de suporte, estando aptos meios de deslocamento para mover o referido órgão de compactação entre uma posição retraída e uma ou várias posições ativas, por um movimento de rotação e/ou de translação, para levar o referido órgão de compactação contra a superfície de aplicação.

A invenção será compreendida melhor, e outras finalidades, detalhes, características e vantagens vão aparecer mais claramente durante a descrição explicativa detalhada que vai seguir de modos de realização particulares atualmente preferidos da invenção, em referência aos desenhos esquemáticos anexos, sobre os quais:

- a figura 1 é uma vista esquemática em perspectiva de uma máquina de aplicação de acordo com uma primeira forma de realização que aplica uma banda de fibras sobre a superfície de aplicação de um molde;

- a figura 2 é uma vista esquemática aumentada em perspectiva da cabeça de aplicação da máquina da figura 1, que aplica uma banda de fibras sobre o molde;

- a figura 3 e 4A são duas vistas esquemáticas em perspectiva do sistema de compactação da cabeça da figura 2

que aplica uma banda de fibras sobre uma superfície de aplicação do molde compreendendo uma primeira superfície sensivelmente plana e uma segunda superfície sensivelmente plana dispostas sensivelmente a 90° uma da outra e ligadas por uma superfície arredondada em forma de círculo, a cabeça de aplicação durante a aplicação da banda sobre a primeira superfície;

- as figuras de 4B a 4G são vistas esquemáticas em perspectiva análogas à da figura 4A, ilustrando diferentes posições da cabeça de aplicação no momento da aplicação da banda de fibras sobre a primeira superfície, a superfície arredondada e a segunda superfície, com uma orientação da ordem de 45° ;

- a figura 5 é uma vista esquemática lateral aumentada da superfície de aplicação da figura 3, sobre a qual está ilustrada a trajetória de um ponto do rolo em projeção vertical no momento do movimento da cabeça para aplicar a banda de fibras sobre a superfície arredondada;

- a figura 6 é uma vista de cima da banda de fibras aplicada sobre a primeira superfície da superfície de aplicação da figura 3;

- as figuras 7A e 7B são respectivamente uma vista em perspectiva e uma vista lateral do sistema de compactação de uma cabeça de aplicação de acordo com uma segunda forma de realização da invenção; e,

- as figuras 8A e 8B são respectivamente uma vista em perspectiva e uma vista lateral do sistema de compactação de uma cabeça de aplicação de acordo com uma terceira forma de realização da invenção.

Em referência à figura 1, a máquina de aplicação de fibras compreende uma cabeça de aplicação 1 de fibras e um sistema de deslocamento 5 para mover a referida cabeça de aplicação de fibras em todas as direções. O sistema de deslocamento compreende aqui um braço multi-articulado 51,

do tipo robô de seis eixos, conhecido de per si, montado móvel sobre um eixo linear 52, e cujo punho de extremidade 51a está equipado com a cabeça de aplicação 1. O braço multi-articulado está fixado pela sua base 52b sobre um carro 53 montado deslizando sobre o eixo linear 52, sendo o referido eixo linear constituído por dois carris paralelos fixados ao solo. O carro está equipado com meios de acionamento, por exemplo de tipo cilindros motorizados dominados por uma unidade de comando para o movimento da cabeça de aplicação ao longo desses carris. A máquina de aplicação de fibras compreende além disso meios de armazenamento de fibras e meios de transporte (não representados) para encaminhar as fibras desde os referidos meios de armazenamento na direção da cabeça de aplicação. As fibras vão ser vantajosamente armazenadas em bobina num suporte, montado por exemplo sobre um carro seguidor deslizando sobre o eixo 52, e encaminhadas individualmente até à cabeça de aplicação através de tubos flexíveis de transporte, tal como descrito no documento de patente WO2006/092514.

Em referência às figuras 2 e 3, a cabeça de aplicação de fibras compreende uma estrutura de suporte 10, através da qual a cabeça é montada na extremidade do punho do robô, e onde são montados os meios de guiamento de fibras e um sistema de compactação que compreende um rolo de compactação 2. Os meios de guiamento conduzem as fibras que entram na cabeça na direção do rolo de compactação na forma de uma banda de fibras pré-impregnadas de resina, as fibras da banda sendo dispostas lado a lado de forma sensivelmente unidas. Por movimento da cabeça pelo robô, o rolo de compactação, conhecido de per si, está apto para ser levado em contacto com a superfície de aplicação de um molde 9 para aplicar a banda formada por várias fibras. A cabeça é por exemplo uma cabeça do tipo descrito no documento de

patente FR 2 913 365. O referido rolo de compactação 2 é montado rotativo sobre a estrutura de suporte 10, de forma amovível, através dos suportes laterais 21. O rolo é constituído por um material de elastómero revestido de um material antiadesivo, por exemplo de Teflon. A largura do rolo é ligeiramente superior à largura da banda, que é formada por 8 fibras na forma de realização ilustrada.

O sistema de compactação compreende além disso um órgão de compactação formado nesta forma de realização por uma cunha de compactação 3 disposta a jusante do referido rolo de compactação em relação à direção de avanço da cabeça, representada pela seta referenciada F1 na figura 3, para a aplicação de uma banda de fibras sobre uma superfície de aplicação. Segundo a figura 3, a cunha de compactação é constituída por um bloco 30, por exemplo sensivelmente paralelepípedo, cuja largura, definida pela distância entre as duas faces laterais 31 do bolco, é sensivelmente igual à largura do rolo de compactação 2. A face inferior do bloco constitui uma superfície chamada de contacto 32, sensivelmente plana, através da qual a referida cunha de compactação está destinada a apoiar-se, de acordo com pelo menos uma linha de contacto em toda a largura da banda que acaba de ser depositada pelo rolo de compactação.

Na presente forma de realização, a cunha de compactação é montada sobre a estrutura de suporte 10, de modo fixo, por intermédio de um braço de ligação 35 central, atrás do rolo de compactação, de modo que a sua superfície de contacto 32 esteja disposta tangencialmente ao rolo de compactação, a entrada em contacto da cabeça contra a banda que acaba de ser depositada sendo obtida por oscilação para trás da cabeça através do braço multi-articulado 51.

A face dianteira do bloco, disposta do lado do rolo, tem vantajosamente uma superfície côncava 33 cujo raio de curvatura está adaptado ao do rolo para montar a cunha, e em particular a sua superfície de contacto 32 mais perto do rolo. Vantajosamente, a borda dianteira 34 definida entre a superfície côncava 33 e a superfície de contacto 32 tem uma altura tão reduzida quanto possível, sendo a referida borda dianteira 34 quase linear. Os meios de guiamento levam as fibras contra o rolo de compactação, passando as fibras entre o rolo e a cunha de compactação, sensivelmente sem contacto com esta última. O bloco é vantajosamente formado de um material de elastómero análogo ao do rolo, a face inferior sendo vantajosamente revestida de uma película antiaderente, por exemplo uma película de Teflon, que constitui a superfície de contacto 32.

A cabeça equipada com este sistema de compactação é vantajosamente utilizada para a colocação de uma banda de fibras sobre uma superfície de aplicação que tem uma aresta ou uma superfície convexa para garantir uma boa compactação da banda ao nível da referida aresta ou superfície convexa, em particular quando a banda aplicada forma um ângulo com a aresta ou com a superfície convexa, por exemplo de 45° ou de 135° .

Uma descrição do processo de aplicação de uma banda por meio da máquina de aplicação de fibras de acordo com a invenção sobre uma superfície de aplicação de um molde vai presentemente ser efetuada em referência às figuras 3, de 4A a 4G, 5 e 6, no caso de uma superfície de aplicação 90 que compreende uma primeira superfície 91 sensivelmente plana e uma segunda superfície 92 sensivelmente plana ligadas através de uma superfície arredondada 93 em forma de círculo.

As duas superfícies 91 e 92 são dispostas a 90° uma da outra, a superfície arredondada 93 estende-se em forma de círculo sobre um setor angular de 90° . As referências 93a e 93b designam respetivamente a primeira linha de junção sensivelmente linear entre a primeira superfície 91 e a superfície arredondada 93 e a segunda linha de junção sensivelmente linear entre a segunda superfície e a superfície arredondada.

A primeira e a segunda superfície são chamadas sensivelmente planas. Aqui, entende-se por «superfície sensivelmente plana», uma superfície plana, assim como o caso de uma superfície côncava ou convexa, cuja convexidade ou concavidade é suficientemente pequena para permitir o apoio do rolo sobre a referida superfície em toda a sua largura, a fim de compactar o conjunto das fibras da banda, podendo o rolo de material de elastómero se for caso disso deformar-se ligeiramente para garantir esse apoio.

Em referência às figuras 3, 4A e 6, a cabeça de aplicação deposita uma banda 8 de fibras 7 sobre a primeira superfície 91. A cabeça de aplicação está convencionalmente em apoio contra a primeira superfície 91 através do rolo de compactação 2, de acordo com pelo menos uma linha de contacto. Na prática, o rolo de material deformável está em apoio de acordo com uma banda estreita. A cabeça é movida de acordo com a direção F1 para aplicar uma banda que forma um ângulo α_1 (Fig. 6) com a primeira linha de junção 93a.

A cabeça é movida na mesma direção F1, até à primeira linha de junção 93a, tal como ilustrada na figura 4B. Para definir a trajetória da cabeça de aplicação, determina-se um ponto de origem Po da cabeça que corresponde por exemplo ao meio da geratriz G do rolo de contacto da superfície. A

cabeça de aplicação é movida até que o ponto de origem P_o esteja sensivelmente na primeira linha de junção.

Em referência às figuras 5 e 6, a cabeça de aplicação é movida na mesma direção F_1 , tangencialmente para a primeira superfície 9_1 , numa distância L_1 , de modo que a borda da fibra exterior 7_1 da banda aplicada sobre a primeira superfície esteja ao nível da primeira linha de junção. Para uma largura de banda igual a $2d$, a referida distância L_1 é igual a $d/\tan\alpha_1$.

O movimento da cabeça na direção F_1 , tangencialmente para a primeira superfície é continuado numa distância L_2 , esta distância L_2 sendo pelo menos do comprimento de fibra necessária para o seu enrolamento sobre a superfície arredondada entre as duas linhas de junção, adicionada à distância que separa a geratriz G do rolo da cunha de compactação.

A cabeça de aplicação é em seguida inclinada para trás para pôr a calha de compactação 3 em apoio contra a primeira superfície, a superfície de contacto 32 da cunha contra a banda de fibras aplicadas sobre a referida primeira superfície, tal como ilustrada na figura 4C. A oscilação para trás da cabeça para inserir a cunha de compactação é realizada no fim ou no momento do movimento da cabeça para as distâncias L_1 e L_2 ou para a distância L_2 , de preferência no fim do referido deslocamento para evitar qualquer deslizamento da cunha em relação às fibras.

A cabeça gira em seguida à volta da superfície arredondada 9_3 , tal como ilustrada na figura 4D seguindo uma trajetória que permite manter a cunha de compactação em contacto com o molde sensivelmente de acordo com pelo menos uma linha de contacto, conservando uma velocidade relativa

nula entre a cunha e o molde. A rotação é realizada até que o rolo entre em apoio sobre a segunda superfície 92 de acordo com uma linha de contacto, para além da segunda linha de junção. A figura 5 ilustra a trajetória em projeção vertical do ponto P1 da geratriz de contacto G do rolo, o referido ponto P1 sendo o ponto da geratriz disposto ao nível da borda da fibra exterior 71 da banda. Cada ponto do rolo descreve uma curva involuta que corresponde ao enrolamento de uma fibra de comprimento L2 à volta do arco descrito pela superfície arredondada entre as duas linhas de junção. No final da rotação, o ponto P1 chega à segunda superfície 92, de modo que a borda dianteira 34 da cunha de compactação seja disposta para além da segunda linha de junção, com a extremidade dessa borda dianteira 34 situada à direita do ponto P1 eventualmente disposta sensivelmente de acordo com a segunda linha de junção 93b.

Uma vez que a cabeça acabou de girar à volta da superfície arredondada, tal como ilustrado na figura 4E, o rolo de compactação apoia-se de acordo com uma linha de contacto, a cabeça inclina-se para a frente para levantar a cunha de compactação, para que já não esteja em contacto com o molde, tal como ilustrado na figura 4F.

Uma vez que a cunha de compactação já não está em contacto, a cabeça retoma a sua moldação apenas com o rolo de compactação de contacto, seguindo com uma direção F2 que faz um ângulo α_2 em relação à segunda linha de junção, sendo este ângulo α_2 sensivelmente igual a $180^\circ - \alpha_1$.

No caso de um rolo e de uma cunha de compactação de material deformável, a sua capacidade de deformação permite alguns desvios no movimento L2, e portanto alguns desvios no posicionamento da geratriz de contacto G antes e depois

da rotação, garantindo uma compactação do conjunto das fibras sobre a superfície arredondada.

Na presente forma de realização, o movimento da cabeça para a distância L_2 permite desenrolar as fibras e deslocar a cunha em relação à primeira linha de junção num comprimento suficiente para permitir a compactação da banda através da cunha sobre o conjunto da superfície arredondada no momento da operação de rotação.

Em variante, a aplicação da banda arredondada sobre a superfície arredondada pode ser efetuada em várias operações de deslocamento e de rotação, especialmente quando o arco de enrolamento de cada fibra entre as duas linhas de junção é importante e/ou quando a cunha tem um comprimento inferior ao referido arco de enrolamento. Neste caso, a cabeça é movida tangencialmente à primeira superfície para uma distância L_1 , como precedentemente, depois para uma distância L'_2 inferior ao referido arco de enrolamento. Após oscilação da cabeça para colocação de apoio da cunha, gira-se a cabeça até ao contacto do rolo contra a superfície arredondada. A cabeça é então movida tangencialmente no ponto de contacto para uma distância L''_2 eventualmente igual à distância L'_2 . No momento deste deslocamento, a cunha pode ser mantida contra a superfície arredondada, ou de preferência a cabeça é oscilada para a frente para desviar a superfície arredondada e assim evitar qualquer deslizamento. Se a cunha foi desviada, no final do deslocamento para a distância L_2 , a cunha é reenviada contra a superfície oscilação arredondada de acordo com uma linha de contacto por da cabeça para trás. A cabeça é em seguida girada, tal como descrita precedentemente. Se o rolo entra em contacto com a segunda superfície no final dessa rotação, a cabeça é então oscilada para trás para realizar a aplicação convencional da banda de fibras sobre

a segunda superfície. Senão, as operações de deslocamento e de rotação são repetidas até ao contacto do rolo contra a segunda superfície.

O processo de acordo com a invenção pode bem entendido ser adaptado para diversas superfícies de aplicação compreendendo duas superfícies que formam uma aresta ou ligada por uma superfície arredondada, especialmente duas superfícies sensivelmente paralelas ligadas por uma superfície arredondada em forma de círculo sobre 180° ou mais de 180° . Por outro lado, as operações de deslocamento tangencial e rotação supracitadas podem ser encadeadas continuamente por exemplo para o drapeamento sobre um cilindro de pequeno diâmetro.

No caso simples de duas superfícies ligadas por uma aresta viva ou por uma superfície arredondada cujo raio de curvatura é suficientemente pequeno para permitir uma compactação da superfície arredondada por deformação elástica da cunha de compactação, a cabeça é movida de uma distância pelo menos igual à distância L1 supracitada, de preferência adicionada da distância que separa a referida geratriz da borda dianteira da cunha de compactação, a cabeça é em seguida oscilada para trás para colocar em apoio a cunha, depois girada até à colocação em apoio do rolo contra a segunda superfície.

As figuras 7A e 7B ilustram uma segunda forma de realização de um sistema de compactação que pode ser montado na estrutura de uma cabeça. O sistema de compactação compreende como precedentemente um rolo de compactação 102 e um órgão de compactação 103 que compreende uma banda sem fim 130, ou correia, montada sobre um rolo de desvio a montante 136 e um rolo de desvio a jusante 137. Os dois rolos de desvio são montados rotativos

sobre a estrutura de suporte da cabeça, a jusante do rolo de compactação, paralelamente ao eixo do rolo de compactação, o cabo inferior 138 da banda sem fim constituindo a referida superfície de contacto 132 pela qual o órgão de compactação é posto em apoio contra o molde.

Esta superfície de contacto 132 formada por uma banda sem fim permite evitar um eventual deslizamento da superfície de contacto em relação ao molde no momento da operação de rotação, e permite oscilar a cabeça para a colocação em apoio desta superfície de contacto antes da operação de rotação, sem deslizamento em relação à referida superfície o molde, por exemplo quando o ponto de origem PO está na primeira linha de junção e/ou durante o movimento da cabeça para a distância L1 e/ou para as distâncias L2, L'2 e L''2 supracitadas.

Vantajosamente, os rolos de desvio 136, 137 são montados via um sistema de braços laterais 135 sobre os suportes laterais 121 do rolo de compactação, pelos quais o sistema de compactagem é montado de forma amovível sobre a estrutura de suporte da cabeça.

As figuras 8A e 8B ilustram uma terceira forma de realização do sistema de compactação em que o órgão de compactação 203 compreende uma banda sem fim 230 montada sobre o rolo de compactação 202 e um rolo de desvio a jusante 237. Este último é montado a jusante e paralelamente ao rolo de compactação. A banda sem fim constitui então a superfície de contacto do rolo de compactação e o seu cabo inferior 238 constitui a referida superfície de contacto 232 do órgão de compactação. O rolo de desvio a jusante é montado via braços laterais 235 aos suportes laterais 221 do rolo de compactação.

As bandas sem fim 130 e 230 supracitadas são vantajosamente constituídas de um material de elastómero, revestido exteriormente de uma película antiadesiva, por exemplo uma película de Teflon.

Embora a invenção tenha sido descrita em ligação com diferentes formas de realização particulares, é bem evidente que não é nunca limitada e que compreende todas as técnicas equivalentes dos meios descritos assim como as suas combinações se estas entram no quadro da invenção.

Lisboa, 28 de Agosto de 2014

REIVINDICAÇÕES

1. Processo de aplicação de uma banda (8) formada por várias fibras (7), sobre
 - uma superfície de aplicação (90) que compreende uma primeira superfície (91) sensivelmente plana e uma segunda superfície (92) sensivelmente plana ligada por uma aresta ou por uma superfície arredondada (93),
 - ou sobre uma superfície de aplicação convexa,a aplicação da banda sendo realizada por meio de uma cabeça de aplicação (1) de fibras que compreende um sistema de compactação incluindo um rolo de compactação (2, 102, 202), o referido processo compreendendo o contacto do rolo de compactação contra a superfície e o movimento da cabeça de compactação para aplicar uma banda de fibras sobre a superfície de aplicação, o referido processo sendo **caracterizado por** compreender as etapas seguintes:
 - colocar em contacto, contra a banda de fibras aplicada sobre a superfície de aplicação, um órgão de compactação (3, 103, 203) do sistema de compactação, disposto a jusante do rolo de compactação (2, 102, 202) em relação à direcção de avanço (F1, F2) da cabeça, o referido órgão de compactação estando em contacto sensivelmente contra o conjunto das fibras da banda de acordo com pelo menos uma linha de contacto,
 - fazer girar a cabeça à volta da aresta, à volta da superfície arredondada (93) ou à volta da superfície convexa, de modo que o referido órgão de compactação permaneça em contacto com a banda para a compactar, de acordo com pelo menos uma linha de contacto, sensivelmente sem deslizamento entre o referido órgão de compactação e a superfície de aplicação.

2. Processo de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** compreender, no caso de uma superfície de aplicação que compreende uma primeira superfície sensivelmente plana e uma segunda superfície sensivelmente plana ligada por uma aresta, as etapas seguintes:

- pôr em contacto o rolo de compactação (2, 102, 202) contra a primeira superfície de acordo com pelo menos uma linha de contacto, e mover a cabeça de aplicação para aplicar uma banda (8) de fibras (7) sobre a referida primeira superfície, de acordo com uma primeira direção (F1) que forma um ângulo α_1 com a aresta,
- mover a cabeça de acordo com a referida primeira direção tangencialmente para a primeira superfície, para levar o rolo de compactação sensivelmente para além da referida aresta, e pôr em contacto o órgão de compactação contra a banda aplicada sobre a primeira superfície,
- fazer girar a cabeça à volta da aresta, de modo que o referido órgão de compactação permaneça em contacto com a banda de acordo com pelo menos uma linha de contacto, a referida rotação sendo realizada até à colocação em contacto do rolo de compactação contra a segunda superfície de acordo pelo menos com uma linha de contacto correspondente sensivelmente à largura da banda,
- desviar o referido órgão de compactação da superfície de aplicação para que já não esteja em contacto com esta última, e mover a cabeça para aplicar a banda sobre a referida segunda superfície, de acordo com uma direção (F1) que forma um ângulo α_2 , sensivelmente igual a $180-\alpha_1$, com a aresta.

3. Processo de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** compreender, no caso de uma superfície de aplicação (90) que compreende uma primeira superfície (91) sensivelmente plana e uma segunda superfície (92) sensivelmente plana ligada por uma superfície arredondada, as etapas seguintes:

- pôr em contacto o rolo de compactação (2, 102, 202) contra a primeira superfície (91) de acordo pelo menos com uma linha de contacto e mover a cabeça de aplicação para aplicar uma banda (8) de fibras (7) sobre a referida superfície, de acordo com uma primeira direção (F1) que forma um ângulo α_1 com a primeira linha de junção (93a) entre a primeira superfície e a superfície arredondada,
- mover a cabeça de acordo com a primeira direção, tangencialmente para a primeira superfície, para levar o rolo de compactação para além da primeira linha de junção, e pôr em contacto o órgão de compactação contra a banda aplicada sobre a primeira superfície,
- fazer girar a cabeça à volta da superfície arredondada, de modo que o referido órgão permaneça em contacto com a banda de acordo com pelo menos uma linha de contacto, até à colocação em contacto do rolo de compactação contra a segunda superfície de acordo pelo menos com uma linha de contacto, e
- desviar o referido órgão de compactação da superfície de aplicação para que já não esteja em contacto com esta última, e mover a cabeça de aplicação em contacto com a segunda superfície pelo seu rolo de compactação de acordo pelo menos com uma linha de contacto para aplicar a banda sobre a referida segunda superfície, de acordo com uma direção (F2) que forma um ângulo α_2 , sensivelmente igual a

180- α_1 , com a segunda linha de junção entre a superfície arredondada e a segunda superfície.

4. Processo de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** compreender, no caso de uma superfície de aplicação convexa, as etapas seguintes:

- pôr em contacto o rolo de compactação (2, 102, 202) contra a superfície de aplicação convexa de acordo pelo menos com um ponto de contacto,
- mover a cabeça tangencialmente para a superfície de aplicação convexa do referido ponto de contacto, numa direção que faz um ângulo α_1 com a geratriz da superfície convexa passando pelo referido ponto de contacto, para levar o rolo de compactação para além da geratriz, e
- fazer girar à volta da superfície de aplicação convexa a cabeça de aplicação em apoio contra a superfície de aplicação convexa pelo seu órgão de compactação, sendo a referida rotação realizada de modo que o referido órgão permaneça em contacto com a banda de acordo pelo menos com uma linha de contacto.

5. Processo de acordo com a reivindicação 3, **caracterizado por** após a entrada em contacto do órgão de compactação contra a banda aplicada sobre a primeira superfície, o processo compreender as etapas seguintes:

- fazer girar a cabeça à volta da superfície arredondada até à entrada em contacto do rolo de compactação contra a superfície de aplicação, e
- se o rolo de compactação está em contacto de acordo com pelo menos um ponto de contacto com a superfície

arredondada no final da referida rotação, mover a cabeça tangencialmente para a superfície arredondada ao referido ponto de contacto, numa direcção que faz um ângulo α_1 com a geratriz da superfície arredondada passando pelo referido ponto de contacto, depois fazer girar a cabeça à volta da superfície arredondada, essas duas etapas de deslocamento e de rotação sendo retiradas até à colocação em contacto do rolo de compactação contra a segunda superfície de acordo pelo menos com uma linha de contacto.

6. Processo de acordo com a reivindicação 3, **caracterizado por**, após entrada em contacto do órgão de compactação contra a banda aplicada sobre a primeira superfície, o processo compreender as etapas seguintes:

- fazer girar a cabeça à volta da superfície arredondada, e
- antes que o rolo de compactação entre em contacto de acordo com pelo menos um ponto de contacto com a superfície arredondada, mover a cabeça tangencialmente para a superfície arredondada ao referido ponto de contacto, numa direcção que faz um ângulo α_1 com a geratriz da superfície arredondada passando pelo referido ponto de contacto, depois fazer girar a cabeça à volta da superfície arredondada, essas duas etapas de deslocamento e de rotação sendo repetidas até à entrada em contacto do rolo de compactação contra a segunda superfície de acordo pelo menos com uma linha de contacto.

7. Processo de acordo com a reivindicação 4, **caracterizado por**, após movimento da cabeça

tangencialmente para a superfície de aplicação convexa ao referido ponto de contacto, o processo compreender as etapas seguintes:

- fazer girar à volta da superfície de aplicação convexa a cabeça de aplicação em apoio contra a superfície de aplicação convexa pelo seu órgão de compactação, até à colocação em contacto do rolo de compactação contra a superfície de aplicação convexa, e
- repetir as etapas de deslocamento e de rotação precedentes uma ou várias vezes.

8. Processo de acordo com a reivindicação 4, **caracterizado por**, após movimento da cabeça tangencialmente para a superfície de aplicação convexa ao referido ponto de contacto, o processo compreender as etapas seguintes:

- fazer girar à volta da superfície de aplicação convexa a cabeça de aplicação em apoio contra a superfície de aplicação convexa pelo seu órgão de compactação, e
- antes da entrada em contacto do rolo de compactação contra a superfície de aplicação convexa, repetir as etapas de deslocamento e de rotação precedentes uma ou várias vezes.

9. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicações de 2 a 8, **caracterizado por** o ângulo α_1 estar compreendido entre 10° e 80° .

10. Máquina de aplicação de fibras, para a realização de peças de materiais compósitos, utilizável para a

implementação do processo de acordo com uma das reivindicações de 1 a 9 que compreende:

- uma cabeça de aplicação (1) de fibras, apta para aplicar sobre uma superfície de aplicação (90) uma banda (8) formada por várias fibras (7) achatadas, e que compreende um sistema de compactação que inclui um rolo de compactação (2, 102, 202) destinado a entrar em contacto contra a superfície de aplicação para aplicar a banda, e meios de guiamento de fibras sobre o referido rolo de compactação, e

- um sistema de deslocamento (5) da referida cabeça de aplicação,

o referido sistema de compactação compreendendo além disso um órgão de compactação (3, 103, 203) disposto a jusante do referido rolo de compactação e tendo uma superfície de contacto (32, 132, 232) sensivelmente plana, o referido órgão de compactação estando apto para ser levado em apoio através da sua superfície de contacto, contra uma superfície de aplicação, em sensivelmente toda a largura de uma banda, de acordo com pelo menos uma linha de contacto,

caracterizado por o referido órgão de compactação compreender uma banda sem fim (130, 230) montada sobre um rolo de desvio a montante (136, 202) e um rolo de desvio a jusante (137, 237), o cabo inferior (138, 238) da banda sem fim constituindo a referida superfície de contacto (132, 232) do órgão de compactação.

11. Máquina de aplicação de acordo com a reivindicação 10, **caracterizada por** a referida banda sem fim (130) estar montada sobre um rolo de desvio a montante (136) e um rolo de desvio a jusante (137)

estando os dois rolos montados a jusante do rolo de compactação, paralelamente ao eixo do rolo de compactação.

12. Máquina de aplicação de acordo com a reivindicação 10, **caracterizada por** o referido rolo de desvio a montante ser constituído pelo referido rolo de compactação (202), a referida banda sem fim (230) estando montada sobre o rolo de compactação (202) e um rolo de desvio a jusante (237), estando o referido rolo de desvio a jusante montado a jusante e paralelamente ao rolo de compactação, a referida banda sem fim constituindo a superfície de contacto do rolo de compactação.

13. Máquina de aplicação de acordo com uma das reivindicações de 10 a 12, **caracterizada por** a cabeça de aplicação de fibra compreender uma estrutura de suporte (10) através da qual a referida cabeça é ligada ao sistema de deslocamento, o órgão de compactação e o rolo de compactação estarem montados sobre a referida estrutura de suporte de forma fixa um em relação ao outro.

Lisboa, 28 de Agosto de 2014

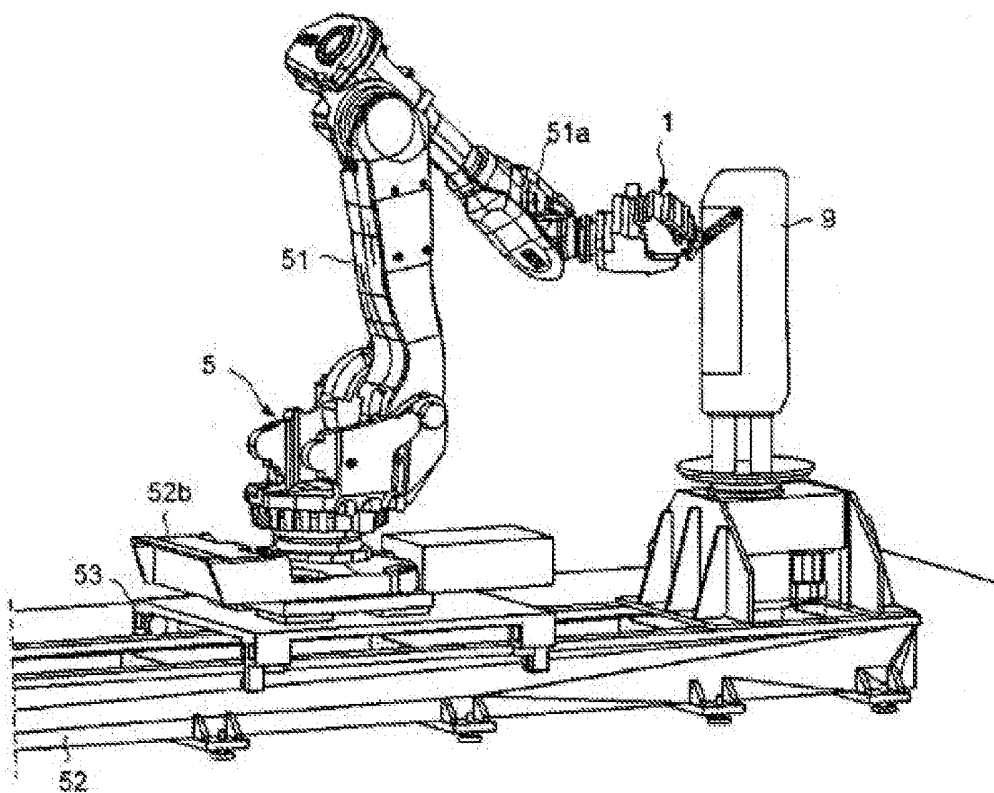


FIG. 1

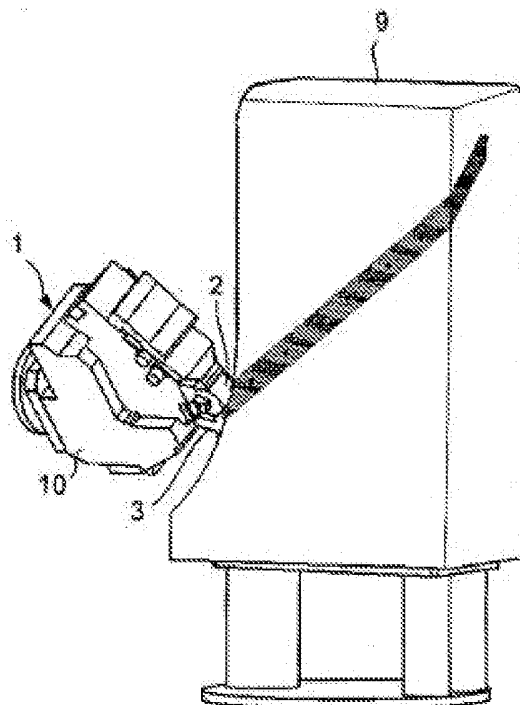
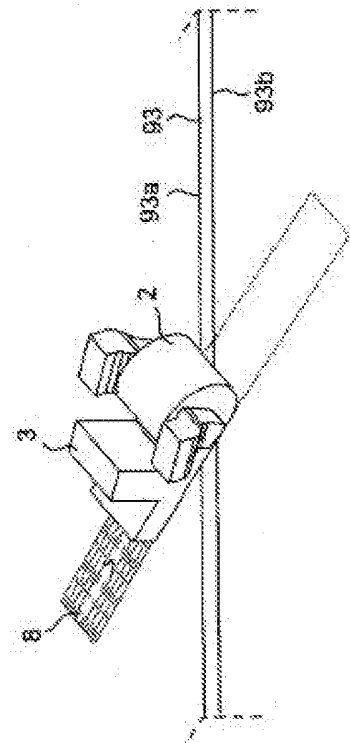
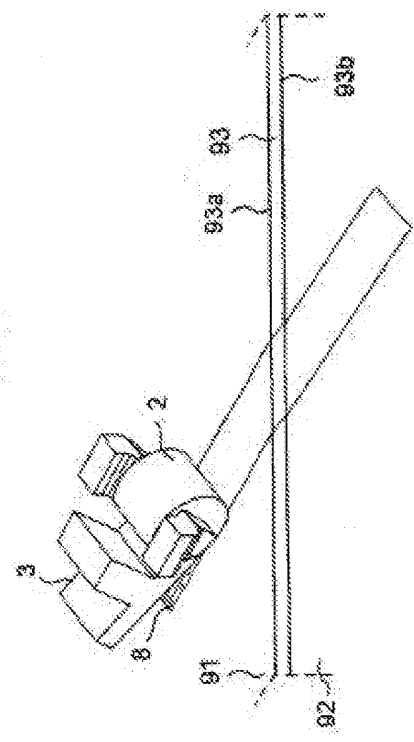
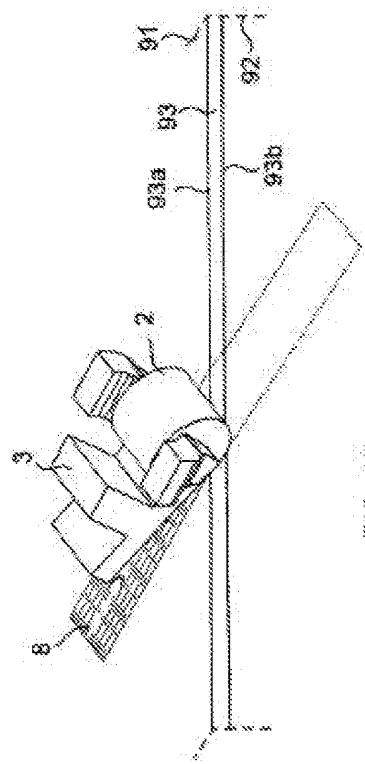
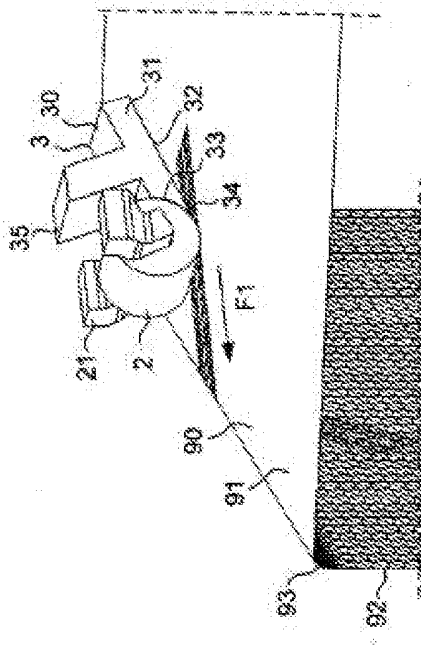


FIG. 2



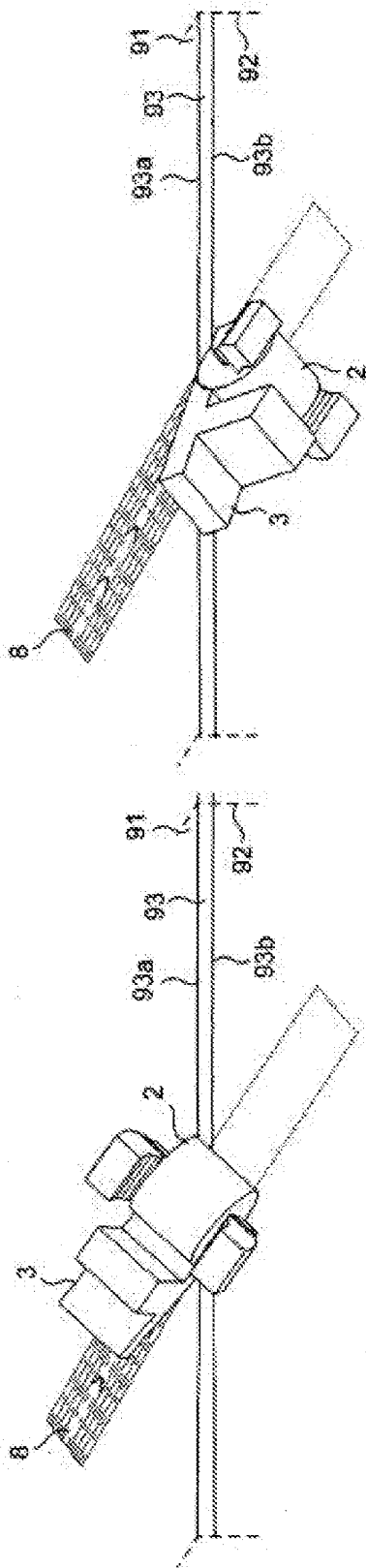


FIG. 4D

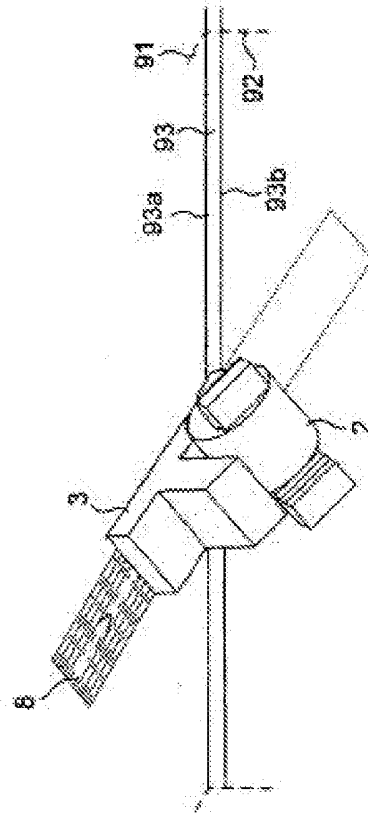


FIG. 4E

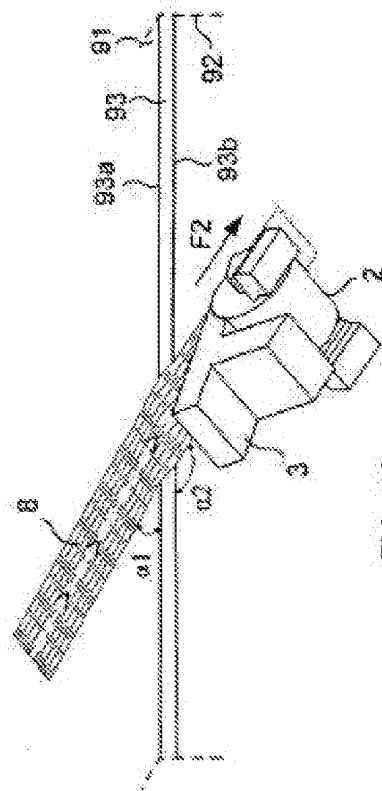


FIG. 4G

FIG. 4F

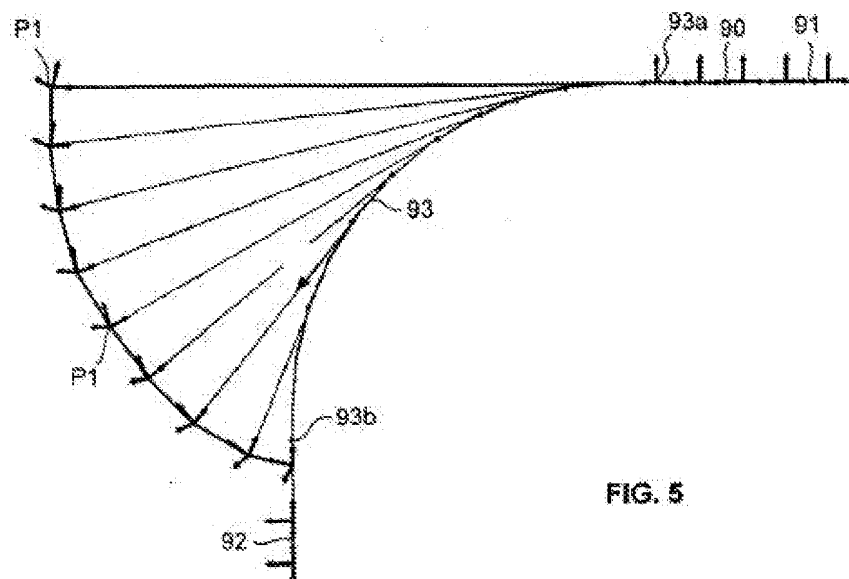


FIG. 5

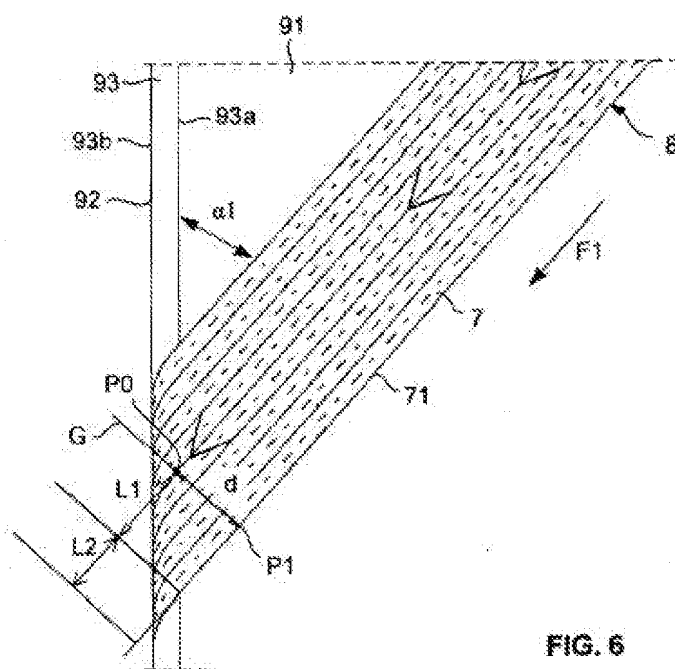


FIG. 6

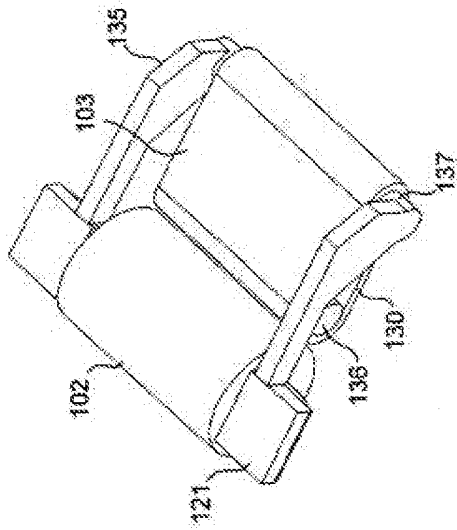


FIG. 7A

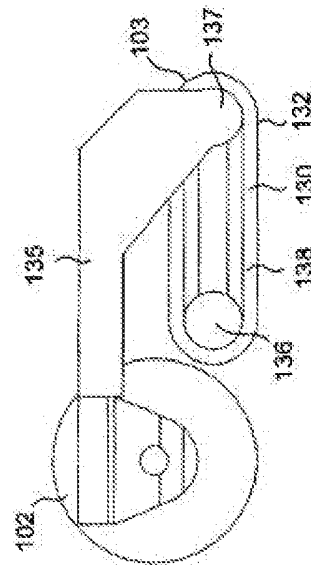


FIG. 7B

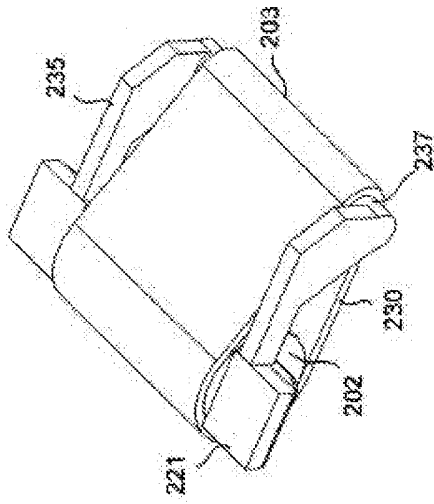


FIG. 8A

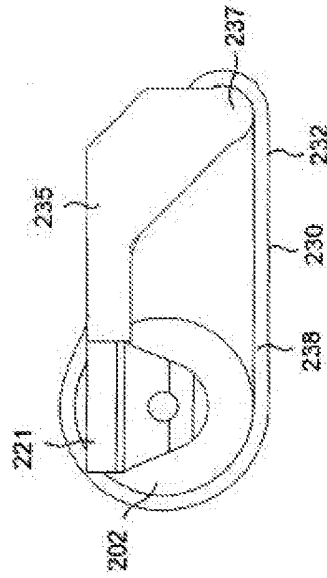


FIG. 8B