



República Federativa do Brasil

Ministério do Desenvolvimento, Indústria,
Comércio e Serviços

Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) BR 112021000792-0 B1

(22) Data do Depósito: 16/07/2019

(45) Data de Concessão: 12/03/2024

(54) Título: MÉTODO E INSTALAÇÃO PARA SOLDAR PELO MENOS DUAS PEÇAS RÍGIDAS

(51) Int.Cl.: B29C 65/20; B29C 65/32; B29C 65/22; B29C 65/72; B29C 65/08; (...).

(30) Prioridade Unionista: 16/07/2018 FR 1856537; 17/05/2019 FR 1905223; 17/05/2019 FR 1905222.

(73) Titular(es): ARKEMA FRANCE; INSTITUT DE SOUDURE.

(72) Inventor(es): MICHEL GLOTIN; JEAN-PIERRE CAUCHOIS; AURÉLIEN PHILIPPE; PHILIPPE KLEIN.

(86) Pedido PCT: PCT FR2019051775 de 16/07/2019

(87) Publicação PCT: WO 2020/016514 de 23/01/2020

(85) Data do Início da Fase Nacional: 15/01/2021

(57) Resumo: MÉTODO PARA SOLDAR PEÇAS EM MATERIAL TERMOPLÁSTICO. A invenção refere-se em primeiro lugar a um método para soldar pelo menos duas peças compreendendo um material termoplástico e tendo respectivas superfícies a serem soldadas, compreendendo: inserir um inserto entre as superfícies a serem soldadas das duas peças; gerar calor via o referido inserto; em que o inserto se move em relação às peças a serem soldadas, de acordo com uma direção de soldagem. A invenção também se refere a uma instalação adaptada para a implementação deste método.

MÉTODO E INSTALAÇÃO PARA SOLDAR PELO MENOS DUAS PEÇAS RÍGIDAS

CAMPO TÉCNICO

[001] A presente invenção refere-se a um método de soldagem, em particular a um método de soldagem por indução e a uma instalação para implementar este método.

ANTECEDENTES TÉCNICOS

[002] Os materiais de compósito compreendendo fibras de reforço, por exemplo, fibras de carbono e/ou fibras de vidro dispersas em uma matriz de polímero termoplástico, têm vários usos possíveis e, em particular, para a fabricação de fuselagens de aeronaves no campo da aeronáutica.

[003] A dispersão de fibras em uma matriz de polímero termoplástico confere propriedades particulares a peças de compósito rígido, em particular em termos de resistência a rachaduras, resistência à fadiga, reciclabilidade.

[004] As peças em materiais de compósito são normalmente compostas por várias dobras (camadas) que são sobrepostas e laminadas juntas, as fibras em cada dobra tendo uma direção principal que na maioria das vezes difere da direção principal das fibras das folhas adjacentes. Essas camadas de folhas (ou camadas) também são chamadas de « produtos semiacabados », que podem ser obtidos, por exemplo, ao impregnar fibras contínuas, geralmente unidirecionais, com resina. Existem diferentes métodos de produção pelos quais a resina pode ser fundida ou dissolvida em um solvente, ou está na forma de pó, em um leito fluidizado, ou dispersa em uma suspensão aquosa. As fibras impregnadas são opcionalmente despojadas do solvente ou água e depois aquecidas antes de fundir a resina retida e formar o produto semiacabado. Também é possível fazer com que a resina termoplástica entre nas fibras de reforço ao misturar estreitamente (comisturar) as fibras de reforço com fibras termoplásticas que são fundidas para formar a resina que envolve as fibras de reforço. Os produtos

semiacabados também podem ser obtidos ao impregnar um tecido fibroso ou pela montagem de fibras unidirecionais obtidas por costura (*Non-Crimp Fabrics* - NCF) com um pó de polímero que, uma vez fundido, formará a matriz do compósito. Um produto semiacabado é caracterizado pela distribuição homogênea de resina (então chamada de matriz) ao redor das fibras de reforço.

[005] Para algumas aplicações, pode ser necessário associar várias peças de compósito, por exemplo, para a fuselagem de uma aeronave, painel de revestimento, reforços e estruturas.

[006] Essas peças de compósito podem ser montadas por soldagem, em particular por tecnologia do tipo indução. Este processo usa um indutor que emite um campo magnético. Este campo magnético provoca um aumento na temperatura de materiais sensíveis à indução, até uma temperatura adequada para soldar polímeros termoplásticos.

[007] No momento atual, a soldagem por indução de peças de compósito envolve o aquecimento direto dos materiais de compósito a serem montados, ou o aquecimento de um inserto (ou susceptor) que reage ao campo magnético e intrusivo (geralmente em material metálico) previamente depositado na interface a ser montada.

[008] No entanto, um método baseado no aquecimento direto das fibras de carbono das peças de compósito a serem montadas tem as seguintes desvantagens:

- a implementação do mesmo requer que as fibras de carbono sejam contínuas e tenham orientações ou imbricações que promovam a criação de circuitos de corrente no material;

- este método geralmente não permite a localização do calor apenas na interface; isso muitas vezes leva ao aquecimento de toda a peça de compósito, o que, se não corrigido por resfriadores adequados, pode se traduzir em riscos

de descompactação, possivelmente causando delaminação das camadas da peça de compósito;

- o calor produzido também pode afetar as zonas fronteiriças da linha de solda; uma vez que essas zonas não estão sujeitas a pressões de compactação, podem sofrer os mesmos efeitos negativos que os citados acima;

- é geralmente necessário adicionar um material sensível à indução, como um filme termoplástico contendo cargas ou estruturas condutoras ou ferroelétricas, na interface de soldagem; a adição de tais filmes torna a certificação de peças soldadas para aplicações aeronáuticas muito difícil de se obter;

- não é possível usar a técnica de soldagem por indução quando as fibras de reforço do material compósito não são condutoras ou ferromagnéticas (por exemplo, fibras de vidro, fibras de aramida...);

- este método é sensível ao tipo, configuração (isto é, estocagem) e espessura das peças a serem soldadas;

- este método, aplicado à soldadura de peças de compósito de carbono, não permite parâmetros de soldagem garantidos nas zonas inicial e de extremidade da soldadura e, conseqüentemente, a homogeneidade da junta de solda com esta tecnologia dinâmica.

[009] Para superar esses problemas, diferentes estratégias foram propostas.

[010] Por exemplo, o documento WO 2013/110270 descreve um método de soldagem por indução em que uma unidade de resfriamento segue o indutor de modo que a superfície da peça de compósito voltada para o indutor seja resfriada e não seja fundida.

[011] O documento EP 1849581 refere-se a um dispositivo de soldagem por indução para fixar uma peça de plástico moldado no entorno de uma peça

tubular composta de pelo menos uma camada de metal e uma camada de resina termoplástica, o dispositivo compreendendo um elemento tendo extensa permeabilidade magnética para canalizar as linhas de campo magnético.

[012] Conforme indicado acima, outra solução frequentemente empregada é inserir um susceptor composto de um material que seja mais sensível à indução do que o carbono, por exemplo, uma malha de metal na interface das peças a serem soldadas. Ao adaptar a intensidade do campo magnético emitido, é possível localizar o aquecimento no susceptor e, portanto, na interface das peças a serem soldadas.

[013] Por exemplo, o documento EP 2907651 descreve um método de soldagem por indução, pelo qual uma montagem formada por duas peças a serem soldadas e um absorvedor de campo (ou susceptor) posicionado na interface das peças é submetido a um campo magnético por um indutor em uma incidência particular.

[014] O documento EP 20150393 descreve um método de soldagem por indução em que duas peças são colocadas em um molde para acoplamento no mesmo, pelo menos uma superfície de contato entre as peças compreendendo meios de acoplamento ativados por calor e um componente sensível à indução.

[015] O documento WO 2012/158293 descreve um método de soldagem por indução em que um susceptor é colocado entre duas peças de compósito e um campo magnético paralelo ao susceptor é gerado.

[016] O documento EP 0720906 descreve um método de soldagem termoplástica em que um susceptor é colocado na interface das duas peças de resina a serem soldadas.

[017] O documento US 5,753,058 diz respeito a um aparelho de soldagem termoplástica para soldar peças de compósito compreendendo um susceptor condutor na interface a ser soldada.

[018] O documento US 5,902,935 diz respeito a um método para avaliar a integridade e resistência de uma solda termoplástica na qual um susceptor é incorporado.

[019] O documento US 6,323,468 descreve um aparelho de soldagem por indução para montar dois componentes gerando um campo magnético para causar o aquecimento de um susceptor colocado entre os dois componentes a serem soldados.

[020] O documento WO 2008/087194 descreve um método de indução para soldar um material termoplástico a um material compósito que compreende uma matriz de fixação térmica reforçada com fibras, em que preferencialmente um material condutor é posicionado na interface dos materiais a serem soldados e é aquecido por indução.

[021] O documento US 4,978,825 descreve um método de indução para soldar uma montagem compreendendo duas peças entre as quais é colocado um susceptor que é aquecido por indução, o indutor sendo incorporado dentro de um rolete de pressão.

[022] O documento WO 2015/140270 refere-se a um método de soldagem termoplástica para soldar duas peças em material compósito termoplástico. As inserções de metal são colocadas entre as duas superfícies das peças a serem soldadas de modo que correntes induzidas e produtoras de calor sejam geradas nesses insertos, a montagem a ser soldada sendo encerrada em uma câmara selada na qual um vácuo parcial é aplicado.

[023] No entanto, o uso de um susceptor pode resultar em uma solda não homogênea e tem a desvantagem de inserir um terceiro corpo não desejável na montagem de solda. A presença de um terceiro corpo na interface das peças que foram soldadas pode, em particular, impedir ou restringir a utilização das peças soldadas no campo da aeronáutica.

[024] O documento FR 2488828 refere-se a um método para soldar folhas de material termoplástico correspondendo a folhas flexíveis que são susceptíveis de ondular e formar vincos. Este método consiste, particularmente, em colocar as duas folhas a serem soldadas de modo a que as suas bordas adjacentes se sobreponham, movendo uma cunha quente entre as bordas sobrepostas, fornecendo uma certa quantidade de material termoplástico e pressionando as bordas sobrepostas permitindo-lhes resfriar. O documento FR 2488828 não descreve a soldagem de peças rígidas.

[025] Existe, portanto, uma necessidade real de fornecer um método rápido e eficiente tendo bom desempenho para a montagem de peças em materiais termoplásticos, em particular peças rígidas em materiais termoplásticos, e que evite as desvantagens acima mencionadas.

[026] Existe também uma necessidade verdadeira de fornecer um método de montagem, utilizando aquecimento localizado na interface das peças em materiais termoplásticos, que tenha um bom desempenho, seja eficiente, rápido e dinâmico.

[027] Existe uma verdadeira necessidade de fornecer um método que permita a montagem de peças por aquecimento. Em particular, existe uma verdadeira necessidade de fornecer um método eficiente que permita a montagem das peças por aquecimento sem material de enchimento, sem deformação, sem delaminação e sem descompactação das peças a serem soldadas.

SUMÁRIO DA INVENÇÃO

[028] A invenção diz respeito em primeiro lugar a um método para soldar pelo menos duas peças, em particular duas peças rígidas, compreendendo um material termoplástico e tendo respectivas superfícies a serem soldadas compreendendo:

- inserir um inserto entre as superfícies a serem soldadas das duas peças, o referido inserto tendo uma espessura de 5 mm ou menos;

- fornecer calor pelo referido inserto;

em que o inserto se move em relação às peças a serem soldadas através da soldagem de acordo com uma direção da soldagem.

[029] Em algumas modalidades, o calor é fornecido pelo referido inserto que é aquecido via indução, via efeito resistivo, via vibração, via fricção, via ultrassom, via uso de laser, via uma corrente de gás quente ou via condução de uma fonte de calor externa.

[030] Em algumas modalidades, o inserto compreende um material sensível à indução e o calor do inserto é fornecido por meio da geração de um campo magnético por pelo menos um indutor.

[031] Em algumas modalidades, o inserto e o indutor se movem juntos em relação às peças a serem soldadas durante a soldagem na direção de soldagem.

[032] Em algumas modalidades, o inserto compreende um material eletricamente condutor e o calor do inserto é fornecido via efeito resistivo.

[033] Em algumas modalidades, o método compreende adicionalmente o contato das superfícies de soldagem das duas peças a serem soldadas ao aplicar pressão em pelo menos uma das duas peças a montante e/ou a jusante da posição do inserto em relação à direção de soldagem.

[034] Em algumas modalidades, o método compreende adicionalmente uma etapa para resfriar as superfícies livres das peças a serem soldadas, em particular ao aplicar um bloco termorregulador em pelo menos uma das duas peças atrás da posição do inserto em relação à direção de soldagem e na frente do(s) elemento(s) de aplicação de pressão, se houver.

[035] Em algumas modalidades, o inserto está em contato com cada uma das superfícies a serem soldadas das duas peças.

[036] Em algumas modalidades, o inserto não está em contato com pelo menos uma das superfícies a serem soldadas das duas peças.

[037] Em algumas modalidades, o método compreende adicionalmente o movimento, juntamente com o movimento do inserto, de um elemento espaçador entre as superfícies a serem soldadas das duas peças, o elemento espaçador sendo posicionado à frente do inserto na direção de soldagem.

[038] Em algumas modalidades, pelo menos uma das duas peças, preferencialmente ambas as peças, são em material compósito compreendendo fibras de reforço em uma matriz do material termoplástico.

[039] Em algumas modalidades, as fibras de reforço são fibras de carbono e/ou fibras de vidro, ou qualquer outro tipo de fibra capaz de reforçar ou funcionalizar um polímero.

[040] Em algumas modalidades, pelo menos uma das duas peças, preferencialmente ambas as peças, consistem essencialmente, ou consistem, no material termoplástico.

[041] Em algumas modalidades, o material termoplástico é selecionado a partir do grupo de poliamidas, poliimidas, em particular polieterimidas, poliariletercetonas, em particular polieteretercetonas e polieteretercetonas, tereftalatos de polietileno, poliolefinas, em particular polipropileno, polissulfetos de fenileno, polissulfonas, polímeros clorados em particular cloreto de polivinila (PVC) e fluoreto de polivinilideno (PVDF), polímeros acrílicos ou metacrílicos, e é preferencialmente uma poliariletercetona, como polietercetonaacetona ou polieteretercetona.

[042] Em algumas modalidades, pelo menos uma das duas peças, preferencialmente ambas as peças, são uma estrutura de múltiplas camadas.

[043] Em algumas modalidades, a camada compreendendo a superfície a ser soldada de pelo menos uma das duas peças, preferencialmente de ambas as

peças:

- compreende um material termoplástico tendo um ponto de fusão inferior ao do material termoplástico das outras camadas das peças; e/ou
- compreende um material termoplástico tendo viscosidade menor do que a do material termoplástico das outras camadas das peças; e/ou
- compreende uma quantidade de volume de material termoplástico maior do que a das outras camadas das peças; e/ou
- compreende um material de reforço de densidade cruzada forte, preferencialmente um pano de carbono de tecido; e/ou
- compreende uma camada de fibra unidirecional orientada na direção da soldagem.

[044] Em algumas modalidades, o método não compreende uma etapa para adicionar material termoplástico adicional, em particular na interface das superfícies a serem soldadas.

[045] Em algumas modalidades do método de soldagem por indução, o inserto compreende um material de metal sensível à indução. O inserto é opcionalmente totalmente ou parcialmente revestido com um revestimento funcional, por exemplo, proporcionando propriedades anticorrosivas (material anticorrosão) ou facilitando o deslizamento do inserto entre as duas peças (material que facilita o deslizamento do inserto entre as duas peças).

[046] Em algumas modalidades do método de soldagem por indução, o inserto consiste em um material ferromagnético tendo uma temperatura de Curie T_c , o que poderia facilitar o controle sobre o método.

[047] Em algumas modalidades, o método compreende adicionalmente a formação de um cordão (ou menisco) de material termoplástico na extremidade da interface de solda.

[048] Em algumas modalidades, as peças são peças de uma fuselagem de

aeronave.

[049] A invenção diz respeito adicionalmente a uma instalação para soldar pelo menos duas peças, em particular duas peças rígidas, compreendendo um material termoplástico e tendo respectivas superfícies a serem soldadas compreendendo:

- um suporte para segurar as duas peças a serem soldadas;
- um braço tendo em sua porção de extremidade uma inserção de aquecimento configurada para ser inserida entre as superfícies a serem soldadas das duas peças;

o inserto, de espessura de 5 mm ou menos, sendo configurado para se mover em relação às peças a serem soldadas durante a soldagem em uma direção da soldagem.

[050] Em algumas modalidades, a instalação também compreende um dispositivo para gerar o calor do referido inserto via indução, via efeito resistivo, via vibração, via fricção, via ultrassom, via laser, via corrente de gás quente ou via condução de uma fonte de calor externa.

[051] Em algumas modalidades de uma instalação de soldagem por indução, o dispositivo de geração de calor é pelo menos um indutor e o referido inserto compreende um material sensível à indução.

[052] Em algumas modalidades, o inserto e o indutor são configurados para se moverem juntos em relação às peças a serem soldadas, durante a soldagem na direção de soldagem.

[053] Em algumas modalidades, o braço carregando o inserto em sua porção de extremidade é preso ao indutor.

[054] Em algumas modalidades de uma instalação de soldagem via efeito resistivo, o dispositivo de geração de calor é um dispositivo que gera uma corrente elétrica.

[055] Em algumas modalidades, a instalação compreende adicionalmente um ou mais roletes compactadores e/ou um ou mais roletes de pressão.

[056] Em algumas modalidades, a instalação também compreende pelo menos um bloco termorregulador.

[057] Em algumas modalidades da instalação de soldagem por indução, os roletes compactadores e/ou roletes de pressão são fixados ao indutor.

[058] Em algumas modalidades, o(s) rolete(s) de compactação são configurados para vibrar em uma frequência adaptada. Esta vibração é adaptada para otimizar os fenômenos de interpenetração necessários para obter uma soldagem de alto desempenho.

[059] Em algumas modalidades, a instalação compreende uma câmara de temperatura controlada, preferencialmente compreendendo uma saia flexível.

[060] Em algumas modalidades, o inserto é uma placa com espessura de 5 mm ou menos, preferencialmente de 0,3 a 5 mm, mais preferencialmente de 0,3 a 3 mm, ainda mais preferencialmente de 0,5 a 1,5 mm.

[061] Em algumas modalidades da instalação de soldagem por indução, o inserto compreende um material metálico sensível à indução e é opcionalmente totalmente ou parcialmente revestido com um revestimento funcional, por exemplo, proporcionando propriedades anticorrosão (material anticorrosão) ou facilitando o deslizamento do inserto entre as duas peças (material que facilita o deslizamento entre as duas peças).

[062] Em algumas modalidades da instalação de soldagem via efeito resistivo, o inserto compreende um material eletricamente condutor e é opcionalmente totalmente ou parcialmente revestido com um material isolante.

[063] Em algumas modalidades, a instalação compreende adicionalmente um segundo braço tendo em sua porção de extremidade um elemento espaçador opcionalmente ligado ao inserto.

[064] Em algumas modalidades, o suporte é configurado para ser aquecido.

[065] Com a presente invenção, é possível superar as desvantagens do estado da técnica. Mais particularmente, fornece um método de bom desempenho, eficiente e rápido para a montagem de peças em materiais termoplásticos e, em particular, peças rígidas em materiais termoplásticos. Em particular, o método da invenção não requer o inserto permanente de um terceiro corpo na montagem soldada, embora permitindo o aquecimento localizado, preferencialmente na interface das peças a serem soldadas. O aquecimento localizado na área da interface a ser soldada permite limitar os efeitos térmicos nas outras dobras da peça composta e, assim, evita qualquer deterioração da qualidade das peças a serem montadas por delaminação e/ou descompactação. Em geral, a qualidade das peças elementares antes da montagem foi controlada e validada; portanto, é de grande interesse ter disponível uma tecnologia de soldagem que não comprometa a qualidade das peças, conforme fornecido pela presente invenção.

[066] Isto é alcançado através da utilização de um inserto que fornece calor e que está em movimento em relação às peças a serem soldadas na direção da soldagem. O calor pode ser gerado por qualquer meio adaptado, em particular via indução, via efeito resistivo, via indução, vibração, via fricção, via ultrassom, via uso de laser, via uma corrente de gás quente ou via condução de uma fonte de calor externa; em particular via indução ou efeito resistivo. Por exemplo, o campo magnético gerado pelo indutor produz efeitos que são concentrados no inserto, induzindo aquecimento localizado neste inserto. Similarmente, a corrente elétrica gera calor dentro do inserto via efeito resistivo. O inserto se move em relação às peças a serem soldadas na direção da soldagem e, portanto, não é integrado na montagem final.

[067] Além disso, a invenção tem uma ou, preferencialmente, mais das seguintes vantagens:

- o método da invenção permite a soldagem de peças rígidas;
- o método da invenção permite a soldagem de todos os tipos de materiais termoplásticos, incluindo materiais não compreendendo elementos condutores (tais como fibras de carbono ou outras fibras, ou enchimentos condutores);
- para soldagem por indução, o método pode permitir o uso de energia de indução reduzida em comparação com métodos baseados no aquecimento do carbono contido nas peças compostas a serem soldadas;
- o método pode permitir um melhor controle da temperatura de soldagem;
- o método pode permitir a soldagem de peças de grande porte e/ou de geometria complexa, como curvas duplas;
- o método pode permitir alguma tolerância em relação à complementaridade a ser observada pelas superfícies a serem soldadas;
- para soldagem por indução, o método pode permitir a redução do consumo de energia e materiais, uma vez que o aquecimento é localizado nas superfícies a serem soldadas por um material mais sensível à indução do que os materiais das peças a serem soldadas;
- associado, por exemplo, com a escolha de material otimizado para uma das camadas de solda das peças a serem soldadas (isto é, uma das camadas na interface de solda), o método da invenção pode permitir a formação de cordões (ou meniscos) na extremidade da interface de solda, limitando assim os efeitos relacionados a danos ou rachaduras incipientes.

BREVE DESCRIÇÃO DAS FIGURAS

[068] A Figura 1 oferece uma vista esquemática em perspectiva de uma instalação de soldagem por indução de acordo com a presente invenção.

[069] A Figura 2 oferece uma vista esquemática em corte transversal de

uma instalação de soldagem por indução de acordo com a presente invenção.

[070] A Figura 3 oferece uma vista ampliada em corte transversal da zona A na Figura 2.

[071] A Figura 4 oferece uma vista ampliada em corte transversal da zona B na Figura 2.

[072] A Figura 5 oferece uma vista esquemática de duas peças soldadas de acordo com uma modalidade do método da invenção.

[073] A Figura 6 oferece uma vista esquemática de duas peças soldadas de acordo com uma modalidade do método da invenção.

[074] A Figura 7 oferece uma vista em corte transversal de um inserto de « efeito de mola » em um primeiro estado de compressão de acordo com uma modalidade do método da invenção.

[075] A Figura 8 oferece uma vista em corte transversal do inserto de « efeito de mola » na Figura 7 em um segundo estado de compressão de acordo com uma modalidade do método da invenção.

[076] A Figura 9 oferece uma vista em corte transversal de um inserto de « efeito de mola » em um primeiro estado de compressão de acordo com uma modalidade do método da invenção.

[077] A Figura 10 oferece uma vista em corte transversal do inserto de « efeito de mola » na Figura 9 em um segundo estado de compressão de acordo com uma modalidade do método da invenção.

[078] A Figura 11 oferece uma vista em corte transversal de um inserto e placas de solda de acordo com uma modalidade do método da invenção.

[079] A Figura 12 oferece uma vista esquemática em perspectiva de uma modalidade da instalação da invenção, compreendendo dois roletes compactadores posicionados de cada lado das peças a serem soldadas de acordo com uma modalidade do método da invenção.

[080] A Figura 13 oferece uma vista esquemática em perspectiva do movimento relativo retilíneo de dois indutores em relação à direção de soldagem.

[081] A Figura 14 oferece uma vista em perspectiva esquemática do movimento relativo senoidal de um indutor em relação à direção de soldagem.

[082] A Figura 15 oferece uma vista esquemática em perspectiva do movimento relativo retilíneo de quatro indutores em relação à direção de soldagem, permitindo a soldagem de superfície.

[083] A Figura 16 oferece uma vista em perspectiva esquemática de um inserto « em formato de U » de acordo com uma modalidade do método de soldagem da invenção via efeito resistivo.

[084] A Figura 17 oferece uma vista em perspectiva esquemática de um inserto de acordo com uma modalidade do método de soldagem da invenção via efeito resistivo.

[085] A Figura 18 oferece uma vista em perspectiva esquemática de um inserto de acordo com uma modalidade do método de soldagem da invenção via efeito resistivo.

DESCRIÇÃO DETALHADA

[086] Uma descrição mais detalhada e não limitativa da invenção é agora oferecida.

[087] Por « peça rígida » entende-se uma peça que não é deformada ou apenas deformada pelo seu próprio peso. A rigidez da peça pode ser caracterizada ao testar a deformação de uma amostra de teste da peça a ser soldada. Para este teste, uma amostra de teste é preparada cortada a partir de uma parte da peça a ser testada e tendo a espessura mais estreita (se de espessura variável), a referida amostra de teste tendo um comprimento de 12 cm e largura de 1 cm. A rigidez é avaliada ao colocar e centralizar a amostra de

teste em dois suportes espaçados em 10 cm. Sob condições padrão de temperatura e pressão, a amostra de teste exibe deflexão máxima em seu centro de 1 cm, correspondendo à deformação relativa em relação ao comprimento de no máximo 10%.

[088] Por « peça a ser soldada » entende-se uma peça constituída por um material termoplástico. A peça pode ser uma peça da estrutura de bloco único (peça de monocamada) ou uma peça da estrutura multicamadas (peça de multicamada).

[089] Por « material compósito » entende-se um material compreendendo fibras de reforço em uma matriz de material termoplástico. Por « material não compósito » entende-se um material desprovido de fibras de reforço.

[090] As expressões « material compósito » « camada de compósito », « dobra » e « produto semiacabado » são utilizadas indiferentemente. Os produtos semiacabados podem ser fitas na forma de uma teia de fibras em uma matriz de resina. Preferencialmente, a orientação das fibras de reforço é essencialmente unidirecional em produtos semiacabados. Os produtos semiacabados também podem ser panos fibrosos ou mantas de fibras de reforço unidirecionais, também conhecidas como *Non-Crimp Fabrics* (NCF) impregnados com polímeros. Os produtos semiacabados também podem ser produtos compreendendo polímeros termoplásticos não reforçados com fibras de reforço contínuas, formulados ou não com vários enchimentos.

[091] Por « peça compactada » entende-se uma peça composta por pelo menos duas camadas sobrepostas, laminadas e compactadas.

[092] Por « peça depositada » entende-se uma peça composta por pelo menos duas camadas sobrepostas laminadas entre si, sem compactação por meio de equipamento de aplicação de pressão do tipo autoclave ou prensa.

[093] Por « produto soldado » entende-se um produto compreendendo pelo menos duas peças, tal como definido acima, soldadas entre si de acordo com o método da presente invenção.

[094] Salvo indicação em contrário, todas as percentagens relativas às quantidades indicadas são percentagens de volume.

[095] A invenção não se limita à soldagem por indução, mas também se refere a métodos de soldagem compreendendo a inserção de um inserto de fornecimento de calor. O calor pode ser gerado via indução, via efeito resistivo, via vibração, via fricção, via ultrassom, via uso de laser, via uma corrente de gás quente ou via condução de uma fonte externa de calor; preferencialmente por via indução ou via efeito resistivo; mais preferencialmente via indução ou alternativamente via efeito resistivo.

[096] Com referência às Figuras 1 a 4, a instalação 1 se destina à implementação de um método de indução para soldar duas peças rígidas 2, 3, cada uma compreendendo um material termoplástico e tendo respectivas superfícies a serem soldadas 10, 11 e respectivas superfícies livres 17, 18. No entanto, a invenção não se limita à soldagem de duas peças e pode ser aplicada à soldagem de mais de duas peças, por exemplo, a soldagem de uma peça com uma primeira outra peça e uma segunda outra peça, por exemplo, justaposta.

[097] Em particular, as peças 2, 3 podem ser rígidas pelo fato de não serem deformadas ou serem apenas deformadas pelo seu próprio peso. Sua rigidez pode ser caracterizada ao testar a deformação de uma amostra de teste da peça a ser soldada. Para este teste de deformação, uma amostra de teste é preparada cortada a partir de uma porção da amostra a ser testada e tendo a espessura mais estreita (se de espessura variável), a referida amostra tendo um comprimento de 12 cm e largura de 1 cm. A rigidez é avaliada ao colocar e centralizar a amostra de teste em dois suportes espaçados em 10 cm. Sob

condições padrão de temperatura e pressão, a amostra de teste apresenta deflexão máxima em seu centro de não mais que 1 cm, correspondendo à deformação relativa em relação ao comprimento de não mais que 10%.

[098] Mais particularmente, as peças 2, 3 são igualmente rígidas sob as condições de calor da operação de soldagem, isto é, elas são rígidas antes, durante e depois da soldagem.

[099] As peças 2, 3, uma em relação à outra, podem compreender diferentes materiais termoplásticos compatíveis, ou então um mesmo material termoplástico. Por « materiais termoplásticos compatíveis » entende-se os materiais termoplásticos miscíveis, isto é, polímeros cuja mistura tem uma temperatura de transição vítrea intermediária entre as dos polímeros. Exemplos de materiais termoplásticos adequados para a invenção são poliamidas, polissulfonas, polissulfeto de fenileno (PPS), poliimidas em particular polieterimidas (PEI), poliariletercetonas (PAEK) em particular polietercetonacetonas (PEKK) e poliéteretercetonas (PEEK), tereftalato de polietileno, poliolefinas, tais como polipropileno, polímeros clorados, tais como cloreto de polivinila (PVC) e fluoreto de polivinilideno (PVDF), polímeros acrílicos ou metacrílicos. O material termoplástico pode ser um material termoplástico amorfo, cristalino ou semicristalino.

[0100] As poliamidas podem ser particularmente uma poliftalamida (PPA), PA 11, PA 12, PA 6, PA 1010, PA 66, PA 46 ou uma copoliamida.

[0101] Também pode ser uma combinação de vários dos materiais acima.

[0102] Vantajosamente, as peças 2, 3 compreendem PPS, PEI ou um PAEK como PEEK ou PEKK como material termoplástico.

[0103] As peças 2, 3 podem compreender enchimentos (incluindo fibras de reforço) e/ou aditivos funcionais. Entre os aditivos funcionais, pode ser feita menção particular a um ou mais tensoativos, estabilizadores de UV,

estabilizadores de calor, agentes biocidas, modificadores de impacto e/ou agentes de expansão.

[0104] Os enchimentos podem compreender fibras ou enchimentos não fibrosos. Os enchimentos não fibrosos são enchimentos minerais em particular, tais como alumina, sílica, carbonato de cálcio, dióxido de titânio, cordões de vidro, negro de fumo, grafite, grafeno e nanotubos de carbono.

[0105] Os enchimentos fibrosos podem ser denominados fibras cortadas ou fibras de reforço contínuas.

[0106] Em particular, as peças 2, 3 podem estar independentemente em material compósito, o referido material compósito compreendendo fibras de reforço em uma matriz do material termoplástico. As fibras de reforço permitem, particularmente, a rigidificação das peças.

[0107] As fibras de reforço podem ser particularmente fibras de vidro, fibras de quartzo, fibras de carbono, fibras de grafite, fibras de basalto, fibras de sílica, fibras de metal, como fibras de aço, fibras de alumínio ou fibras de boro, fibras cerâmicas, como carboneto de silício ou fibras de carboneto de boro, planta natural fibras, fibras orgânicas sintéticas, como fibras de aramida ou fibras de poli(p-fenileno benzobisoxazol), mais conhecidas como PBO, ou fibras PARK, ou misturas dessas fibras. Preferencialmente, são fibras de carbono ou fibras de vidro e, mais particularmente, fibras de carbono.

[0108] Exemplos de materiais de compósitos são: fibras de carbono em uma matriz de PEKK, fibras de vidro em uma matriz de PEKK, fibras de carbono em uma matriz de poliamida, por exemplo, PA11, PA12, PA6 ou PA1010, fibras de vidro em uma matriz de poliamida, por exemplo, PA11, P12, PA6 ou PA1010, fibras de carbono em uma matriz de polipropileno, fibras de vidro em uma matriz de polipropileno, fibras de carbono em uma matriz de tereftalato de polietileno, fibras de vidro em uma matriz de tereftalato de polietileno, fibras de carbono

em uma matriz de PEEK, fibras de vidro em uma matriz de PEEK, fibras de carbono em uma matriz de PEI , fibras de vidro em uma matriz de PEI, fibras de carbono em uma matriz de PPS, fibras de vidro em uma matriz de PPS.

[0109] As peças 2, 3 podem compreender independentemente de 25 a 80% em volume, preferencialmente 45 a 70% em volume de fibras de reforço, por exemplo, fibras de carbono e/ou fibras de vidro em relação ao volume total da peça. Em particular, as peças 2, 3 podem compreender independentemente fibras de reforço em uma quantidade de 25 a 30% em volume, ou 30 a 35% em volume, ou 35 a 40% em volume, ou 40 a 45% em volume, ou 45 a 50% em volume, ou 50 a 55% em volume, ou 55 a 60% em volume, ou 60 a 65% em volume, ou 65 a 70% em volume, ou 70 a 75% em volume, ou 75 a 80% em volume em relação ao volume total da peça. A dispersão das fibras de reforço em porcentagem de volume suficiente permite o enrijecimento das peças a serem soldadas, ou das camadas que as constituem.

[0110] As peças 2, 3 podem compreender uma quantidade de matriz em material termoplástico variando de 20 a 75% em volume, preferencialmente 30 a 55% em volume em relação ao volume total da peça. Em algumas modalidades, as peças 2, 3 compreendem uma quantidade de matriz em material termoplástico de 20 a 25% em volume, ou 25 a 30% em volume, ou 30 a 35% em volume, ou 35 a 40% em volume, ou 40 a 45% em volume, ou 45 a 50% em volume, ou 50 a 55% em volume, ou 55 a 60% em volume, ou 60 a 65% em volume, ou 65 a 70% em volume, ou 70 a 75% em volume, em relação ao volume total da peça.

[0111] Em algumas modalidades, as peças 2, 3 podem ser independentemente compostas essencialmente, ou compostas, do material termoplástico. As peças 2, 3 podem ser compostas independentemente a partir de um material desprovido de qualquer elemento de reforço, por exemplo,

fibras de reforço (em particular fibras de carbono e fibras de vidro).

[0112] Por « essencialmente composto de material termoplástico », entende-se que a peça contém apenas o material termoplástico e, opcionalmente, um ou mais aditivos funcionais; em particular, a peça pode compreender pelo menos 90% em volume do material termoplástico, preferencialmente pelo menos 95%, ou pelo menos 98%, ou pelo menos 99%, por exemplo, aproximadamente 100%.

[0113] As peças 2, 3 podem ser independentemente isentas de qualquer material eletricamente condutor.

[0114] As peças 2, 3 também podem compreender independentemente de 0 a 30% em volume de cargas e/ou aditivos funcionais, conforme descrito acima.

[0115] As peças 2, 3 podem ser estruturas de bloco único ou, alternativamente, estruturas de múltiplas camadas.

[0116] Quando pelo menos uma das peças 2, 3 é uma estrutura de múltiplas camadas, as camadas podem ser iguais ou diferentes umas das outras.

[0117] As características acima mencionadas em relação às peças também se aplicam às camadas individualmente.

[0118] Preferencialmente, a peça 2, 3 compreende (ou consiste em) várias camadas de compósito (ou « produtos semiacabados »), conforme descrito acima. A peça 2, 3 pode ser uma peça compactada ou uma peça depositada.

[0119] O número de camadas de compósito na peça 2, 3 pode, portanto, variar de 2 a 150, preferencialmente de 4 a 40, mais preferencialmente de 6 a 30, idealmente de 7 a 25.

[0120] Além das peças 2,3, nenhum outro material termoplástico é adicionado durante o método de soldagem. Em particular, nenhum outro material termoplástico é adicionado na interface das superfícies a serem soldadas 10,11, seja a montante ou a jusante do inserto 4. A união soldada entre

as duas peças soldadas 2,3 é, portanto, formada pelas matrizes de material termoplástico das próprias peças, em particular por meio de interpenetração.

[0121] O produto de solda apresenta desempenho mecânico satisfatório na montagem. Este desempenho mecânico na montagem pode ser avaliado, por exemplo, ao medir a tensão de cisalhamento final. A tensão de cisalhamento final é a tensão mecânica aplicada paralelamente à superfície do produto de solda, causando a destruição do material na interface de solda. Por exemplo, em uma técnica conhecida de acordo com as normas prEN 6060 ou ISO4587, ranhuras perpendiculares à direção da soldagem podem ser feitas em cada uma das duas superfícies do produto de solda, localizando assim a força de cisalhamento gerada na interface de solda. A resistência ao cisalhamento corresponde à força necessária para romper o produto de solda dividida pela área que resiste ao cisalhamento.

[0122] Preferencialmente, a orientação das fibras de reforço é essencialmente unidirecional em cada camada de compósito. Mais preferencialmente, a orientação unidirecional das fibras de reforço difere de uma camada para outra. Ainda mais preferencialmente, duas camadas adjacentes têm orientações unidirecionais das fibras de reforço que têm essencialmente um ângulo de cerca de 90° entre si; ou que têm essencialmente um ângulo de cerca de 45° entre si. Alternativamente, as fibras de reforço em pelo menos uma das camadas de compósito, e em particular em cada uma das camadas de compósito, podem ter várias direções.

[0123] O material termoplástico pode ser o mesmo ou diferir de uma camada para outra de uma peça de múltiplas camadas 2, 3. Preferencialmente, o material termoplástico é do mesmo tipo (por exemplo, PEKK ou PEEK ou PPS) em todas as camadas da peça 2, 3. Pode opcionalmente compreender um grau diferente de uma camada para outra, por exemplo, viscosidade diferente, peso

molecular diferente ou ponto de fusão diferente. Alternativamente, o grau do material termoplástico é o mesmo em todas as camadas.

[0124] Em algumas modalidades, quando pelo menos uma das peças 2, 3 é uma estrutura multicamadas, a camada que compreende a superfície a ser soldada 10, 11 (na presente descrição também chamada de « primeiracamada ») compreende um material termoplástico tendo um ponto de fusão inferior ponto do que o ponto de fusão do(s) material(is) termoplástico(s) das outras camadas da peça 2, 3. O ponto de fusão do material termoplástico da primeira camada pode ser 10 a 100 °C inferior, preferencialmente de 20 a 60 °C inferior, mais preferencialmente 35 a 50 °C inferior ao ponto de fusão do(s) material(is) termoplástico(s) das outras camadas da peça 2, 3.

[0125] A camada compreendendo a superfície a ser soldada 10, 11 também pode compreender um material termoplástico com viscosidade menor do que a do(s) material(is) termoplástico(s) das outras camadas da peça 2, 3.

[0126] A título de exemplo, para materiais termoplásticos selecionados entre polietercetonacetonas (PEKK), a viscosidade do material termoplástico da primeira camada pode ser de 3 a 30 cm³/10mn inferior, preferencialmente 5 a 20 cm³/10mn inferior, mais preferencialmente de 7 a 15 cm³/10mn inferior à viscosidade do(s) material(is) termoplástico(s) das outras camadas da peça 2, 3. As viscosidades indicadas são os valores de Índice de Volume de Fusão (MVI) ou valores de Taxa de Volume de Fusão (MVR) medidos de acordo com as normas ISO/FDIS/1133_1 e ISO/FDIS/1133_2. A medição é realizada a 380 °C sob um peso de 1 kg. Os produtos são secos antes da medição de MVI.

[0127] A camada compreendendo a superfície a ser soldada 10, 11 também pode compreender um volume maior de material termoplástico do que as outras camadas da peça 2, 3 ou um volume menor de fibras de reforço do que as outras camadas da peça 2, 3. O volume de material termoplástico na primeira camada

pode variar de 30 a 100%, Preferencialmente 45 a 80%, mais preferencialmente 55 a 70%, em relação ao volume total da referida camada da peça 2, 3. A camada compreendendo a superfície a soldar, enriquecida com resina em comparação com as outras camadas da peça 2,3, está preferencialmente orientada a 0° em relação à direção da soldagem.

[0128] Por exemplo, as peças 2, 3 nas suas peças externas podem ter um reforço de fibra forte, embora mantendo nas superfícies a serem soldadas a quantidade de material termoplástico necessário para uma boa soldagem.

[0129] A presença de uma camada compreendendo a superfície a ser soldada 10, 11 tendo menor viscosidade e/ou uma quantidade de volume maior de material termoplástico proporciona soldagem facilitada e/ou melhor desempenho do mesmo e, em particular, pode permitir a formação de um cordão (ou menisco) de plástico termoplástico na interface de soldagem.

[0130] A camada compreendendo a superfície a ser soldada 10, 11 também pode compreender um material de reforço com forte densidade cruzada, como um pano de carbono de tecido.

[0131] A camada compreendendo a superfície a ser soldada 10, 11 como material termoplástico, pode também compreender uma mistura de duas ou mais espécies termoplásticas (por exemplo, uma mistura de uma polieterimida e um PAEK), as outras camadas da peça 2, 3 como material termoplástico compreendendo apenas uma única espécie termoplástica.

[0132] As peças 2, 3 podem ser independentemente de espessura constante ou de espessura variável, por exemplo, variando na direção de soldagem D.

[0133] Uma vantagem do método de soldagem por indução da invenção é que ele é relativamente pouco sensível à distância entre o indutor e as superfícies a serem soldadas 10, 11 das peças 2, 3.

[0134] A instalação 1 compreende um suporte para segurar as peças 2, 3 a serem soldadas (não mostrado na Figura 1). O suporte também pode segurar as peças 2, 3 durante as operações de soldagem, por exemplo por aperto. Este suporte compreende, preferencialmente, uma superfície plana destinada a segurar as peças 2, 3, mas também pode ter qualquer forma possível.

[0135] Vantajosamente, particularmente no caso de materiais condutores de calor, como um compósito reforçado com carbono, pode ser útil pré-aquecer a área a ser soldada a uma temperatura que deve sempre permanecer inferior ao ponto de fusão de todos os materiais constituintes da estrutura a serem soldados, usando qualquer meio adequado. Também é possível aquecer o suporte. Por exemplo, e em particular para PAEK, a temperatura pode ser 40 a 150 °C mais baixa, preferencialmente 50 a 120 °C mais baixa, mais preferencialmente 70 a 90 °C mais baixa do que o ponto de fusão. O pré-aquecimento permite limitar a diferença de temperatura entre a interface soldada e o restante das peças 2,3, limitando assim o fluxo de calor a partir da interface em direção às peças 2,3. O aquecimento também fornece melhor controle sobre a cristalização dos materiais, em particular na área de solda. O aquecimento pode ser local, nas proximidades ou perpendicular às áreas a serem soldadas.

[0136] Vantajosamente, particularmente no caso de materiais condutores de calor, como um compósito reforçado com carbono, também pode ser útil manter o aquecimento da área soldada a uma temperatura que deve permanecer inferior ao ponto de fusão de todos os materiais constituintes das estruturas para ser soldado, usando qualquer meio adequado, por exemplo, lâmpadas infravermelhas ou fluxo de ar quente. O aquecimento mantido também permite um melhor controle sobre a temperatura da interface a ser soldada. O aquecimento também fornece melhor controle sobre a cristalização

dos materiais, em particular na área soldada. O aquecimento pode ser local, próximo ou perpendicular à área soldada.

[0137] A instalação 1 compreende um inserto 4. O inserto 4 é um inserto de aquecimento na medida em que é capaz de fornecer calor. O calor pode ser fornecido por qualquer meio adequado, em particular via indução, via efeito resistivo, via vibração, via fricção, via ultrassom, via uso de laser, via uma corrente de gás quente ou via condução de uma fonte de calor externa.

[0138] Para soldagem por indução, o inserto compreende um material compreendendo um material sensível à indução, e o calor do inserto é gerado através da geração de um campo magnético por pelo menos um indutor 5.

[0139] Por « material sensível à indução », entende-se um material capaz de ser aquecido quando sujeito a um campo magnético, pelo menos sob certas condições. Em particular, pode ser um material susceptor ou absorvedor de campo magnético. Preferencialmente, o inserto 4 compreende um material que é mais sensível à indução do que os materiais constituintes das peças 2, 3 (fibras de carbono em particular quando aplicável).

[0140] Preferencialmente, o material sensível à indução é um material sensível à indução de metal. O material metálico pode ser selecionado, por exemplo, a partir do grupo formado por ferro, aço (por exemplo, aço inoxidável), alumínio, níquel-cromo, titânio ou uma combinação dos mesmos.

[0141] O inserto 4, como material sensível à indução, pode compreender ou pode consistir em um material ferromagnético com uma temperatura de Curie T_c . Isso permite um melhor controle sobre a temperatura à qual o inserto 4 é aquecido durante a implementação do método de soldagem. Se a temperatura do material ferromagnético for inferior a T_c , este material terá comportamento ferromagnético e será sensível à indução. Quando a temperatura do material atinge a temperatura de Curie T_c , o material se tornará

paramagnético e a sensibilidade de indução do mesmo será modificada; a temperatura do referido material pode ser mantida à temperatura T_c .

[0142] O inserto 4, particularmente se compreender um material ferromagnético como material sensível à indução, pode ser total ou parcialmente revestido com um revestimento funcional proporcionando propriedades anticorrosão, por exemplo (material anticorrosão) ou facilitando o deslizamento do inserto entre as duas peças (material que facilita o deslizamento do inserto 4 entre as peças 2, 3).

[0143] Para soldagem por efeito resistivo, o inserto 4 compreende um material eletricamente condutor, e o calor do inserto é gerado via efeito resistivo (ou efeito Joule). O efeito resistivo é gerado ao aplicar uma corrente elétrica. O inserto pode ser opcionalmente totalmente ou parcialmente revestido com um material isolante.

[0144] O formato do inserto 4 pode ser adaptado ao aquecimento via efeito resistivo. Um inserto 47 « em formato de U » posicionado na porção de extremidade dos dois braços 81 e 82 é ilustrado na Figura 16. Um inserto 48 posicionado na porção de extremidade dos dois braços 83 e 84 é ilustrado na Figura 17.

[0145] Preferencialmente, o material condutor resistivo pode ser selecionado dentre ligas de níquel, ligas de chumbo, ligas de titânio, ligas de manganês, ligas de níquel-cromo, ligas de ferro-cromo-alumínio e ligas de níquel-cobre.

[0146] O inserto 4 pode compreender diferentes zonas compreendendo diferentes materiais, para localizar a zona de aquecimento nas superfícies a serem soldadas. Esses materiais podem ser montados via brasagem, por exemplo. Da mesma forma, conforme ilustrado na Figura 18, o inserto pode compreender uma série de zonas resistivas 49, por exemplo, montadas em

paralelo para homogeneizar a temperatura ao longo do inserto.

[0147] Para soldagem usando laser, o inserto 4 pode ser aquecido diretamente por pelo menos um laser. Alternativamente, o inserto 4 pode compreender uma rede de fibras ópticas permitindo que a energia de aquecimento a laser seja direcionada para as superfícies a serem soldadas.

[0148] Para soldagem usando uma corrente de gás quente, o inserto 4 pode ser aquecido diretamente pela corrente de gás quente, por exemplo, via contato. Alternativamente, o inserto 4 pode compreender pelo menos um duto permitindo a circulação da corrente de gás quente dentro do inserto.

[0149] Para soldagem usando condução, o inserto 4 pode ser aquecido por qualquer fonte de calor externa adequada.

[0150] O inserto 4 é vantajosamente uma placa. O inserto 4 tem uma espessura de 5 mm ou menos, preferencialmente de 0,3 a 5 mm, mais preferencialmente de 0,3 a 3 mm, ainda mais preferencialmente de 0,5 a 1,5 mm, ainda mais preferencialmente de 0,5 a 1 mm. Em algumas modalidades, o inserto 4 tem uma espessura de 0,1 ou menos, ou de 0,1 a 0,2 mm, ou de 0,2 a 0,3 mm, ou de 0,3 a 0,5 mm, ou de 0,5 a 1 mm, ou de 1 a 1,5 mm, ou de 1,5 a 2 mm, ou de 2 a 2,5 mm, ou de 2,5 a 3 mm, ou de 3 a 3,5 mm, ou de 3,5 a 4 mm, ou de 4 a 4,5 mm, ou de 4,5 a 5 mm. Por « espessura » entende-se a dimensão entre as superfícies do inserto 4 em contato com as superfícies a serem soldadas. Se as superfícies do inserto 4 não forem planas e paralelas entre si, a espessura corresponde à dimensão máxima entre essas duas superfícies. Tais espessuras asseguram a rigidez do inserto, boa transferência de calor e escassa deformação mecânica das peças 2, 3 rígidas no momento da inserção do inserto 4 e torna possível a soldagem de peças rígidas. Para soldagem eficaz entre as duas peças a serem soldadas, a temperatura das superfícies a serem soldadas formando a interface de solda deve ser superior ao ponto de fusão do polímero

termoplástico quando a pressão é aplicada à área a ser soldada pelo(s) rolete(s) de compactação 6. Conforme ilustrado na Figura 11, é preferível limitar a distância « d » entre a extremidade do inserto 4 e o ponto de contato das superfícies a serem soldadas das peças 2, 3. Isto implica limitar a espessura do inserto 4 para evitar tensionamento das peças 2,3 a serem soldadas, ou de uma das mesmas, para além do seu limite elástico. Portanto, a espessura do inserto 4 deve ser miniaturizada, adaptada e otimizada de acordo, levando em consideração a rigidez das peças 2,3 a serem soldadas, e deve ter tipicamente uma espessura de 5 mm ou menos.

[0151] O inserto 4 pode ter dimensões (por exemplo, comprimento, largura, espessura), formato e/ou propriedades (por exemplo, efeito de mola) adaptadas às peças a serem soldadas e ao método de soldagem (por exemplo, taxa de velocidade).

[0152] O inserto 4 pode ter uma largura (perpendicular à direção de soldagem) pelo menos igual à largura da área de sobreposição das peças 2, 3 a serem soldadas.

[0153] Alternativamente, o inserto 4 pode ter uma largura menor do que a largura da área de sobreposição das peças 2, 3 a serem soldadas, formando assim uma solda unicamente em parte da largura da área de sobreposição. O inserto 4 pode ser de formato plano, isto é, cada uma das suas duas superfícies é plana. As superfícies planas podem ser paralelas entre si (ângulo zero). Para otimizar o aquecimento das superfícies a serem soldadas em contato com o inserto 4, as superfícies do inserto 4 podem formar um ângulo diferente de zero em formato de chanfro, por exemplo, um inserto tendo um chanfro plano ou um inserto tendo um chanfro não plano. As superfícies do inserto podem ter geometrias específicas adaptadas ao perfil das peças 2, 3 a serem soldadas. A inserção pode ser de formato otimizado para promover a transferência de calor

via contato com os substratos conforme ilustrado na Figura 11. Por exemplo, a geometria do susceptor pode ser projetada de modo que seja capaz de se adaptar a distâncias variáveis entre substratos.

[0154] Em outras modalidades, o inserto 4 pode ter qualquer outro formato adaptado, em particular um formato não plano. O uso de tal inserto de geometria particular permite a soldagem de peças tendo superfícies não planas a serem soldadas 10, 11. Um exemplo é ilustrado na Figura 6. O inserto 4 é posicionado na porção de extremidade de um braço 8, e é preferencialmente anexado ao braço 8.

[0155] Um inserto 41 « com efeito de mola » é ilustrado nas Figuras 7 e 8 em dois estados diferentes de compressão. Outro inserto 42 « com efeito de mola » é ilustrado nas Figuras 9 e 10 em dois estados diferentes de compressão. Pode acontecer que as superfícies a serem soldadas tenham espaçamentos variáveis antes da soldagem em função das tolerâncias de fabricação das peças 2, 3.

[0156] O método de soldagem por indução da invenção compreende a inserção do inserto 4 entre as superfícies a serem soldadas 10, 11 das duas peças 2, 3. No momento da soldagem, o inserto 4 move-se em relação às peças 2, 3 a serem soldadas, na direção de soldagem D.

[0157] Este movimento relativo pode ser obtido movimentando as peças 2, 3 a serem soldadas, o inserto 4 permanecendo fixo em relação ao suporte. Alternativamente, e preferencialmente, pode ser obtido movendo o inserto 4 em relação ao suporte, as peças 2,3 a serem soldadas permanecendo fixas em relação ao suporte.

[0158] Por exemplo, o inserto 4 pode se mover em relação às peças 2, 3 a serem soldadas, na direção de soldagem D, a uma taxa de 50 a 1000 mm/min, preferencialmente 100 a 500 mm/min.

[0159] No momento do movimento relativo do inserto 4 em relação às peças 2, 3 a serem soldadas, na direção de soldagem D, o percurso de deslocamento do inserto (e das peças a serem soldadas) pode ser retilíneo. Alternativamente, em particular quando a largura do inserto é menor do que a largura da área de sobreposição das peças 2, 3 a serem soldadas, o percurso de deslocamento do inserto pode não ser retilíneo. Por exemplo, o inserto também pode se mover transversalmente, sinusoidalmente ou incrementalmente, ou de outra forma.

[0160] Para soldagem por indução, a instalação 1 também compreende pelo menos um indutor 5. Ao implementar o método de soldagem por indução da invenção, o indutor 5 gera um campo magnético. O indutor possui geometria otimizada em relação ao campo magnético a ser aplicado: pode ou não ser composto por enrolamentos. Se a geometria do mesmo compreender enrolamentos, pode ser um indutor tendo um único enrolamento ou vários enrolamentos, esses enrolamentos podendo possivelmente estar descentrados e/ou orientados em função dos materiais a serem soldados.

[0161] Em uma modalidade, conforme ilustrado nas Figuras 1, 2, 3, 13 e 15, a instalação pode compreender um único indutor 5, 53. Em outra modalidade, conforme ilustrado na Figura 13, a instalação pode compreender pelo menos dois indutores 51 e 52, formando áreas de soldagem separadas. Em outra modalidade, conforme ilustrado na Figura 15, a instalação pode compreender uma série de pelo menos dois indutores, por exemplo, uma série de quatro indutores 54, permitindo soldagem de superfície das duas peças 2,3 a serem soldadas.

[0162] O indutor 5 pode ser fixo em relação às peças 2, 3. O indutor 5 pode, portanto, ser de tamanho grande para permitir o aquecimento do inserto 4 à medida que ele se move; também pode ser feita provisão para uma pluralidade

de indutores fixos 5 ao longo da direção de soldagem D. Mas, preferencialmente, o indutor é móvel em relação às peças 2, 3.

[0163] Durante o movimento relativo do inserto 4 em relação às peças 2, 3 a serem soldadas, na direção de soldagem D, o percurso de deslocamento do indutor pode ser retilíneo ou pode ser não retilíneo. Conforme ilustrado na Figura 13, os indutores 51 e 52 podem ter um percurso de deslocamento retilíneo. Conforme ilustrado na Figura 15, a série de indutores 54 também pode ter um percurso de deslocamento retilíneo. Conforme ilustrado na Figura 14, os indutores 53 podem ter um percurso de deslocamento sinusoidal.

[0164] Vantajosamente, ao implementar o método de soldagem da invenção, o inserto 4 e o indutor 5 movem-se juntos em relação às peças 2, 3 a serem soldadas no momento da soldagem na direção de soldagem D.

[0165] Pela expressão « movem-se juntos », entende-se que se movem ao mesmo tempo na mesma direção (aqui a direção de soldagem D) e com a mesma velocidade.

[0166] Preferencialmente, o braço 8 tendo o inserto 4 em sua porção de extremidade é anexado ao indutor 5.

[0167] O método de soldagem da invenção pode compreender uma etapa para contatar as superfícies a serem soldadas 10, 11 das duas peças 2, 3 a serem soldadas aplicando pressão sobre pelo menos uma das duas peças 2, 3 a montante (isto é, na frente da) e/ou a jusante (isto é, atrás) da posição do inserto 4 em relação à direção de soldagem D.

[0168] Portanto, a instalação 1 também pode compreender um ou mais elementos de aplicação de pressão. Esses elementos aplicadores de pressão podem ser posicionados atrás e/ou na frente do inserto em relação à direção de soldagem D. Os elementos aplicadores de pressão permitem a aplicação de pressão nas peças 2, 3 de modo que sejam pressionadas uma contra a outra.

Preferencialmente, quando a instalação 1 compreende vários elementos de aplicação de pressão, as pressões aplicadas por cada um desses elementos de aplicação de pressão são independentes umas das outras.

[0169] Por exemplo, eles podem ser um ou mais roletes de compactação 6, posicionados atrás do inserto em relação à direção de soldagem D. O(s) rolete(s) de compactação 6 promovem a interpenetração dos materiais amolecidos pela temperatura do inserto 4. Eles também podem ser vários roletes de compactação 6 opcionalmente rodeados por uma esteira lagarta 16 para garantir um certo tempo de pressão de compactação mantida. Nessas modalidades, cada um dos roletes de compactação 6 pode aplicar pressão e/ou ter cinemáticas que são acopladas entre os roletes ou então são independentes umas das outras. Os elementos de aplicação de pressão podem compreender meios de resfriamento. Eles também podem ser independentemente submetidos a vibração em uma frequência adaptada, por exemplo, ultrassônica, para facilitar a soldagem, promovendo a interpenetração e difusão macromolecular dos materiais amolecidos pela temperatura do inserto 4. As vibrações podem ser induzidas por um vibrador 12. Se o dispositivo compreender pelo menos dois roletes de compactação, estes podem ter diâmetros iguais ou diferentes. Esses roletes também podem ser fornecidos com esteira lagarta. Conforme ilustrado na Figura 12 (indutor não ilustrado), dois roletes de compactação 61 e 62 fixos podem ser posicionados de cada lado das peças 2,3 móveis, colocados opostos um ao outro.

[0170] Os elementos de aplicação de pressão também podem consistir em um ou mais roletes de pressão posicionados na frente do inserto em relação à direção de soldagem D. Este ou estes roletes asseguram pressão suficiente juntos das peças 2, 3. O posicionamento dos elementos de aplicação de pressão na frente do inserto é particularmente útil, uma vez que o movimento do inserto

entre as peças 2,3 faz com que as duas peças se afastem uma da outra e pode reduzir as superfícies de contato com o inserto e reduzir a eficácia da soldagem.

[0171] Preferencialmente, os elementos de aplicação de pressão, por exemplo, o(s) rolete(s) de compactação 6, os roletes de compactação rodeados por esteira lagarta 16 e/ou o(s) rolete(s) de pressão podem mover-se independentemente juntamente com o deslocamento do inserto 4, em relação às peças 2, 3 a serem soldadas, no momento da soldagem e na direção de soldagem D. Na soldagem por indução, eles podem ser anexados independentemente ao indutor 5. Eles podem ser anexados independentemente ao braço 8 que compreende o inserto 4.

[0172] O método de soldagem da invenção pode compreender uma etapa para resfriar as peças soldadas aplicando um bloco termorregulador (não ilustrado) em pelo menos uma das duas peças 2, 3 atrás da posição do inserto 4 em relação à direção de soldagem D, ou na frente dos elementos de aplicação de pressão, se houver.

[0173] O bloco termorregulador reduz a temperatura das superfícies livres da peça soldada em relação à temperatura de soldagem, enquanto mantém as superfícies a serem soldadas e, portanto, a interface de solda a uma temperatura superior ao ponto de fusão do polímero termoplástico.

[0174] Esta etapa de resfriamento fornece controle sobre o gradiente de temperatura dentro da peça soldada e limita e até mesmo impede a descompactação.

[0175] O bloco termorregulador é composto de um material tendo condutividade térmica adequada e pode ser regulado em temperatura, por exemplo, via a circulação de um fluido. Se o inserto for aquecido por indução, o material constituinte do bloco termorregulador pode ser vantajosamente condutor de calor e eletricamente isolante.

[0176] A instalação 1 pode também compreender uma câmara de temperatura controlada 14. Esta câmara 14 está preferencialmente posicionada atrás do inserto em relação à direção de soldagem D. Uma câmara pode também, ou alternativamente, ser posicionada na frente do inserto em relação à direção de soldagem D. Vantajosamente, no momento da soldagem ela pode se mover juntamente com o deslocamento do inserto 4, em relação às peças 2, 3 a serem soldadas, na direção de soldagem D. Em algumas modalidades, a câmara 14 é anexada ao braço 8 compreendendo o inserto 4. Na soldagem por indução, a câmara 14 é também ou alternativamente anexada ao braço 8 compreendendo o indutor 5. Esta câmara de temperatura controlada 14 permite que uma zona das peças 2, 3 seja mantida a uma temperatura específica, por exemplo, para manter uma zona das peças 2, 3 que foi amolecida por aquecimento - por exemplo, por indução - a uma temperatura de recristalização para permitir recristalização sob condições ideais e para evitar a pós-cura das peças após soldagem. Também pode permitir o resfriamento externo das peças fora da área de soldagem (e em particular fora da câmara). Além disso, quando o aquecimento das superfícies a serem soldadas 10, 11 é desempenhado via convecção, a presença da referida câmara 14 pode limitar a perturbação dos fluxos de convecção.

[0177] A câmara de temperatura controlada 14 pode ser trazida à temperatura desejada soprando um fluido dentro da câmara 14, preferencialmente ar quente, por meio de pelo menos um tubo de sopro 15.

[0178] A área localizada fora da câmara de temperatura controlada 14 pode ser trazida a outra temperatura e, por exemplo, pode ser resfriada, em particular soprando um ar fluido preferencialmente frio por meio de pelo menos um tubo de sopro.

[0179] A câmara de temperatura controlada 14 pode ser delimitada por

meio de uma saia flexível, por exemplo, em material de elastômero. A saia flexível pode ser segurada, por exemplo, à periferia de uma placa superior. Com esta configuração é possível manter uma câmara essencialmente fechada apesar de quaisquer variações de altura da placa superior em relação às peças 2, 3 e, em particular, pode adaptar-se às peças 2, 3 de qualquer formato.

[0180] A instalação 1 pode também compreender um segundo braço 9 tendo em sua porção de extremidade um elemento espaçador 7, opcionalmente anexado ao inserto 4. O elemento espaçador 7 é inserido entre as superfícies 10, 11 a serem soldadas das peças 2, 3. Em particular, fornece limitação de atrito entre o inserto 4 e as peças 2, 3.

[0181] O elemento espaçador 7 está preferencialmente posicionado na frente do inserto 4 em relação à direção de soldagem D. No momento da soldagem, ele pode vantajosamente se mover junto com o deslocamento do inserto 4, em relação às peças a serem soldadas 2, 3, entre as superfícies 10, 11 a serem soldadas na direção de soldagem D. O braço 9 compreendendo o elemento espaçador 7 pode ser anexado ao braço 8 que compreende o inserto 4. Na soldagem por indução, o braço 9 compreendendo o elemento espaçador 7 pode também ou alternativamente ser anexado ao braço 8 que compreende o indutor 5.

[0182] O elemento espaçador pode ser de formato convexo duplo (visível na Figura 3), em que cada uma de suas superfícies é convexa.

[0183] O elemento espaçador também pode ter um formato misto, em que uma superfície é convexa e a outra plana.

[0184] Quando o método de soldagem da invenção é implementado, o inserto 4 pode estar em contato com cada uma das superfícies 10, 11 a serem soldadas das duas peças 2, 3. Alternativamente, é possível que o inserto não esteja em contato com pelo menos uma das superfícies 10, 11 a serem soldadas

das duas peças 2, 3, em particular, pode não estar em contato com nenhuma das superfícies 10, 11 a serem soldadas das duas peças 2, 3.

[0185] O aquecimento das superfícies 10, 11 a serem soldadas pode, portanto, ser obtido via condução e/ou via convecção e/ou via radiação do inserto 4.

[0186] A instalação 1 também pode compreender pelo menos um pirômetro (não ilustrado). Ao implementar o método de soldagem da invenção, o pirômetro continuamente ou em momentos pontuais mede a temperatura das peças a serem soldadas na área de solda. O pirômetro é preferencialmente posicionado no inserto 4 em relação à direção de soldagem D.

[0187] O pirômetro é preferencialmente posicionado em uma das bordas das peças 2, 3 a serem soldadas ou, alternativamente, um pirômetro é posicionado em cada uma das bordas das peças 2, 3 a serem soldadas, em particular quando a largura do inserto é pelo menos igual à largura da área de sobreposição das peças 2, 3 a serem soldadas. O método da invenção permite um aquecimento homogêneo e controlado das peças 2, 3 a serem soldadas na área de solda. A medição da temperatura em uma das bordas, ou em ambas as bordas, é suficiente e permite extrapolar a temperatura em toda a área de solda.

[0188] Alternativamente, ou adicionalmente, um pirômetro pode ser posicionado na superfície livre de uma das duas peças, em qualquer ponto da área de solda, em particular se a largura do inserto representar apenas uma porção da largura da área de sobreposição das peças 2, 3 a serem soldadas.

[0189] O pirômetro também pode medir a temperatura do inserto 4 na borda das peças a serem soldadas.

[0190] Preferencialmente, o inserto 4 e o pirômetro, no momento da soldagem, movem-se juntos em relação às peças 2, 3 a serem soldadas, na direção de soldagem D. Ele pode ser anexado ao braço 8 compreendendo o

inserto 4.

[0191] A instalação pode compreender um dispositivo de solda múltipla.

[0192] Em uma modalidade, o dispositivo de solda múltipla pode permitir a soldagem simultânea de pelo menos três peças a serem soldadas. O referido dispositivo, em particular, pode compreender pelo menos dois insertos, posicionados no mesmo nível ou desviados da direção de soldagem. Estas múltiplas inserções permitem, respectivamente, a soldagem da primeira peça e da segunda peça, a soldagem da segunda peça e da terceira peça etc., e justaposição das mesmas. Em outra modalidade, o dispositivo de solda múltipla pode permitir a soldagem de duas peças em dois pontos separados da área de sobreposição. O referido dispositivo pode compreender particularmente pelo menos dois insertos posicionados no mesmo nível em relação à direção de soldagem e com certo espaçamento entre eles. Cada inserto permite a soldagem de uma porção de uma primeira peça e de uma segunda peça. Após a soldagem, apenas algumas porções da área de sobreposição das duas peças serão soldadas juntas, as outras porções não serão soldadas. Na soldagem por indução, o mesmo resultado pode ser obtido posicionando um inserto largo sobre toda a superfície das peças a serem soldadas e aplicando calor via vários indutores fornecendo aquecimento localizado e que se desloca acima da peça a ser soldada.

[0193] O método de soldagem da invenção pode compreender a formação de um cordão (menisco) 13 de material termoplástico na extremidade da interface de solda (visível na Figura 5). A formação deste cordão (menisco) é possível uma vez que o método da invenção permite o aquecimento das superfícies a serem soldadas 10, 11 e, portanto, o amolecimento do material termoplástico das peças 2, 3 até a porção de extremidade dessas superfícies a serem soldadas 10, 11 (em particular, adaptando as dimensões do inserto 4 às

superfícies a serem soldadas 10, 11, o inserto 4, portanto, sendo capaz de se estender até uma ou mais extremidades das superfícies a serem soldadas 10, 11, e mesmo de se estender além de uma ou mais extremidades das superfícies a serem soldadas 10, 11). A presença de um cordão (menisco) 13 na extremidade da interface de solda permite limitar o risco de formação de fissuras incipientes. Em um método de soldagem por indução com base no aquecimento das fibras de carbono das peças de compósito a serem soldadas, a criação de circuitos de corrente perto das porções de extremidade da interface de solda não é possível, geralmente resultando em soldas de menor resistência mecânica nesses pontos.

[0194] Em algumas modalidades, a peça 3 mais distante do indutor 5 é uma estrutura multicamadas tendo um elemento condutor como camada externa ou como parte da camada externa (isto é, a camada mais distante da superfície 11 a ser soldada). O elemento condutor pode ser particularmente uma malha de metal, por exemplo, em cobre ou bronze. A presença deste elemento condutor é particularmente vantajosa para a fabricação de fuselagens no setor aeronáutico, este elemento fornecendo às aeronaves proteção contra raios. O método da invenção tem a vantagem de ser capaz de usar aquecimento localizado na interface entre as duas peças a serem soldadas. Por exemplo, para aquecimento por indução, é possível soldar as peças 2, 3 sem que o campo magnético atinja o elemento condutor sendo suficiente para induzir grande aquecimento deste elemento, evitando a degradação local da peça por superaquecimento deste elemento condutor. Além disso, o método da invenção evita que o elemento condutor capture uma grande parte do efeito do campo magnético, o que, de outra forma, resultaria em aquecimento insuficiente das superfícies a serem soldadas.

[0195] O movimento do inserto 4 e/ou indutor 5 (para soldagem por indução) e/ou dos elementos de aplicação de pressão e/ou câmara de

temperatura controlada 14 e/ou o elemento espaçador 7 pode ser obtido de forma automatizada via um ou mais robôs, ou então manualmente por um operador. Em particular, para soldagem por indução, o inserto 4 e o indutor 5 podem ser movidos juntos pelo mesmo robô.

[0196] A temperatura de solda é uma função da temperatura do inserto 4.

[0197] Para indução, a temperatura do inserto 4 é a mesma dependente da potência e frequência do campo magnético distribuída pelo indutor 5, da velocidade de deslocamento do inserto 4 (por exemplo, junto com o indutor 5) e da distância entre o indutor 5 e o inserto 4.

[0198] Em algumas modalidades, o indutor 5 gera um campo magnético com uma frequência de 10 Hz a 2 MHz, preferencialmente 80 Hz a 300 kHz, mais preferencialmente 100 Hz a 200 kHz.

[0199] Em algumas modalidades de soldagem por indução, a distância entre o indutor 5 e o inserto 4 permanece constante durante a soldagem. Em outras modalidades, esta distância pode variar, em particular se pelo menos uma das peças 2, 3 a serem soldadas for de espessura variável.

[0200] Em algumas modalidades, o método da invenção compreende uma etapa para controlar a temperatura do inserto 4 (por meio de um termopar ou qualquer outro sensor de temperatura adequado) e uma etapa para a regulação instantânea desta temperatura, em particular ajustando a velocidade de deslocamento do inserto 4 e/ou a potência do campo magnético distribuída pelo indutor 5, ou a potência elétrica no caso de aquecimento resistivo e/ou qualquer outro parâmetro relevante, por exemplo, via um circuito de retroalimentação convencional.

[0201] A regulação térmica do inserto tem a vantagem de permitir que as superfícies a serem soldadas sejam levadas a uma temperatura exigida, adaptada para a montagem por soldagem. Vários modos de regulação podem

ser aplicados.

[0202] Por exemplo, um modo de regulação pode obter regulação térmica medindo a temperatura do inserto 4 com um dispositivo do tipo pirômetro a laser. Após quantificar previamente a diferença de temperatura entre a área de controle acessível durante a soldagem (borda do inserto 4, na proximidade das peças 2,3) e as superfícies do inserto 4 em contato com as superfícies a serem soldadas (inacessível durante a fase de soldagem), a potência do dispositivo de aquecimento, tal como o gerador de indução para aquecimento via um campo magnético ou o gerador de corrente para aquecimento resistivo, pode ser servo-controlado pela temperatura do inserto 4 que é acessível durante a fase de soldagem convencional.

[0203] Outro modo de regulação para o método de soldagem por indução pode ser o uso de material tendo uma temperatura de Curie para fabricar o inserto 4. O ponto de Curie de um material modifica significativamente a sensibilidade do mesmo a um campo magnético e a fenômenos de indução. Neste modo, duas configurações em particular podem ser usadas. Uma configuração é a capacidade do material de não ser aquecido por indução além deste ponto particular (hesitação de fenômenos de corrente induzida e dipolos magnéticos). Neste caso, a regulação térmica do inserto é fisicamente assegurada assim que o ponto de Curie é cruzado. No entanto, se o aquecimento por indução ainda ocorrer além deste ponto (por exemplo, corrente induzida persistente), a mudança significativa na sensibilidade ao campo magnético do material no ponto de Curie (por exemplo, permeabilidade magnética) pode ser detectada por um sensor adaptado e colocada no ambiente do dispositivo de soldagem; este sensor fornece indicação de que o ponto de Curie foi atingido, permitindo que a regulação eletrônica de aquecimento seja iniciada, assegurando o servo-controle da potência do gerador. O parâmetro detectado

no ambiente do dispositivo de soldagem pode ser a intensidade do campo magnético circundante (por exemplo, sensor de efeito Hall) afetado por mudanças repentinas nas características do material do inserto 4 para fenômenos magnéticos. A detecção de um parâmetro do ambiente também pode acarretar variação na impedância do inserto 4 acoplado ao indutor.

[0204] As referidas modalidades são particularmente vantajosas para a montagem de peças de fuselagem no setor aeronáutico, uma vez que o controle da temperatura de soldagem é necessário para a qualificação de um processo aeronáutico.

[0205] Outro modo de regulação do método de soldagem via efeito resistivo pode envolver a medição da resistividade do inserto. A medição da resistividade, dependente da temperatura, permitirá o servo controle sobre o valor da corrente que passa pelo inserto 4.

[0206] O método da invenção também pode compreender uma etapa para registrar os valores de temperatura do inserto 4 e/ou velocidades de deslocamento do inserto 4 e/ou a potência magnética distribuída pelo indutor 5 e/ou a pressão aplicada às peças 2, 3 a serem soldadas e/ou qualquer outro parâmetro. Isso é particularmente vantajoso para a produção de fuselagens no setor aeronáutico, para o qual o registro desses dados é necessário para a qualificação de um processo aeronáutico.

[0207] As peças 2, 3 soldadas da invenção podem ser particularmente peças da fuselagem de aeronaves, tais como peças do revestimento da fuselagem, armações ou longarinas.

[0208] Alternativamente, essas peças podem ser peças aeroespaciais ou automotivas, ou peças para equipamentos esportivos.

[0209] O método da invenção também pode ser aplicado à soldagem de lonas, sejam elas estruturais ou não, em particular no campo da engenharia civil

e dos esportes náuticos (lonas de amarração, velas de barco...).

EXEMPLOS

[0210] Os exemplos seguintes ilustram a invenção, mas não são limitantes.

[0211] Nos Exemplos 1 a 4, ao produzir pelo menos uma das peças a serem soldadas usando a tecnologia ATL (*Automated Tape Lay-up*), a primeira camada depositada é uma camada de tira UD, a composição da qual difere daquela das outras camadas constituintes da peça de compósito.

Exemplo 1

[0212] A composição da primeira camada é de 50% em peso de PEKK Kepstan® 7002 e 50% em peso de fibras de carbono. A composição das outras camadas é de 34% em peso de PEKK Kepstan® 7002 (comercializado pela Arkema) e 66% em peso de fibras de carbono.

[0213] Neste exemplo, a maior porcentagem de material termoplástico na primeira camada facilita a soldagem sem alterar o método para produzir as peças e confere deformação a essa primeira camada sob pressão de compactação, permitindo que um menisco seja obtido na porção de extremidade da interface de solda. Além disso, a referida primeira camada pode compensar alguns defeitos nas superfícies a serem soldadas.

Exemplo 2

[0214] A composição da primeira camada é de 34% em peso de PEKK Kepstan® 6002 (tendo um ponto de fusão de 303 °C) e 66% em peso de fibras de carbono. A composição das outras camadas é de 34% em peso de PEKK Kepstan® 7002 (comercializado pela Arkema) (tendo um ponto de fusão de 333 °C) e 66% em peso de fibras de carbono.

[0215] Os parâmetros do método podem ser adaptados de modo que a temperatura do inserto permita a fusão do material termoplástico da primeira camada sem fundir o das outras camadas.

[0216] Alternativamente, o material constituinte do inserto compreende material ferromagnético tendo um ponto de Curie tal que a temperatura « teto » do inserto (e de seu ambiente no método) garante a fusão apenas da primeira camada.

Exemplo 3

[0217] A composição da primeira camada da peça é de 50% em peso de poliamida e 50% em peso de fibras de vidro. A composição das outras camadas é de 34% em peso de poliamida e 66% em peso de fibras de vidro.

Exemplo 4

[0218] A composição da primeira camada é de 34% em peso de uma primeira poliamida tendo um ponto de fusão particular e 66% em peso de fibras de vidro. A composição das outras camadas é de 34% em peso de uma segunda poliamida tendo um ponto de fusão maior do que o da primeira poliamida e 66% em peso de fibras de vidro.

Exemplo 5

[0219] Nestes primeiros testes de validação de exequibilidade, uma folha de espessura de 0,8 mm foi usada como inserto. Os substratos a serem soldados eram compostos por uma matriz de PPS compreendendo um tecido de carbono tecido e a espessura do substrato era de 1,5 mm. Uma dobra de tecido de vidro tecido em uma matriz de PPS foi colocada na interface de solda para fornecer um material não condutor na interface.

[0220] A soldagem foi desempenhada de acordo com o método da invenção. A soldagem foi eficaz e observou-se que a montagem obtida é coesa.

[0221] Este exemplo permitiu verificar que a soldagem da invenção é de fato obtida por meios de aquecimento do inserto, e não unicamente devido à presença de fibras condutoras nas peças a serem soldadas.

[0222] As interfaces de solda estavam completamente interpenetradas e,

após análise da junta de solda, observou-se ruptura coesiva da matriz termoplástica.

Exemplo 6 - Soldabilidade via indução de substratos não eletricamente condutores.

[0223] As peças a serem soldadas eram produtos semiacabados comercializados sob o nome comercial Polystrand™ IE 7034B da PolyOne, correspondendo a uma tira termoplástica unidirecional de polipropileno. Esses produtos semiacabados compreendem 70% em peso de fibras de vidro, têm uma espessura de 0,25 mm/produto semiacabado e grama de peso de 354 g/m². A espessura das peças a serem soldadas era de 3 mm.

[0224] Duas peças foram soldadas usando um robô industrial comercializado por Kuka e um gerador de corrente para indutor comercializado por CEIA.

[0225] Os parâmetros de soldagem aplicados foram os seguintes:

Frequência: 200 kHz;

Material do inserto 4: Aço;

P_{max} limitado a 20% de 12,5 kW;

Distância entre o indutor e o substrato: 5 mm;

Temperatura de soldagem: cerca de 200 °C;

Velocidade de deslocamento do inserto em relação às peças a serem soldadas: 3,3 mm.s⁻¹.

[0226] A tensão de cisalhamento (τ) do produto soldado foi de 11,8 MPa, a saber, 97% da tensão de cisalhamento de referência (peça sem solda) de acordo com a norma prEN 6060, a referência (100%) sendo desempenhada de acordo com a mesma norma em 5 amostras de teste.

Exemplo 7 - Soldabilidade por indução de PEKK e substrato de fibra de carbono.

[0227] As peças a serem soldadas eram produtos semiacabados compreendendo PEKK tendo um ponto de fusão de 333 °C e fibras de carbono. Esses materiais passaram por uma etapa de consolidação em uma autoclave e estocagem da seguinte forma:

Sequência de orientação (orientação em cada camada de fibra) +45°, 0°, -45°, 90°, repetida 6 vezes com um plano de simetria na terceira repetição;

Porcentagem de volume de fibras (VPF) em substratos a serem soldados: 60% +/- 2%;

Porcentagem de volume de fibras (VPF) no material de interface adicionado: 35%; 150 µm.

[0228] O material de interface adicionado foi uma teia unidirecional posicionada na superfície a ser soldada de forma que as fibras fiquem orientadas a 0° em relação à direção de soldagem. A espessura das peças a serem soldadas era de 4,4 mm.

[0229] Duas peças foram soldadas usando um robô industrial comercializado por Kuka e um gerador de corrente para indutor comercializado por CEIA.

[0230] Os parâmetros de soldagem aplicados foram os seguintes:

Frequência: 200 kHz;

Material do inserto 4: Aço;

$P_{\max}$ limitado a 30% de 12,5 kW;

Distância entre o indutor e o substrato: 5 mm;

Temperatura de soldagem: 465 °C;

Velocidade de deslocamento do inserto em relação às peças a serem soldadas: 3,3 mm.s⁻¹.

[0231] A tensão de cisalhamento (τ) do produto soldado era de 35 MPa, correspondendo a uma tensão de cisalhamento próxima à do material das

peças 2, 3.

Exemplo 8 - Guia de temperatura (ou modo de regulação térmica) na área de solda via medição e regulação (diferindo da prevista com o material de ponto de Curie do inserto 4).

[0232] A temperatura na área de solda foi testada usando um pirômetro de referência SH15/SLE da CEIA.

[0233] Em um primeiro teste, foi feita uma ranhura retilínea no meio da superfície livre de uma das duas peças a serem soldadas, na direção de soldagem. Um primeiro pirômetro foi colocado nesta ranhura e um segundo pirômetro lateral foi colocado na borda das peças a serem soldadas, na continuação do inserto. Os pirômetros foram movidos junto com o inserto. Este teste mostrou que as temperaturas de soldagem medidas respectivamente pelo primeiro pirômetro colocado na ranhura e pelo segundo pirômetro são coerentes (diferença constante).

[0234] Em um segundo teste, o pirômetro foi colocado unicamente na borda das peças a serem soldadas, na continuação do inserto. O pirômetro foi movido junto com o inserto.

[0235] Esses testes mostram que o uso de um único pirômetro colocado na borda das peças a serem soldadas e no inserto é suficiente para controlar e guiar a temperatura da área de solda. Eles também mostraram a necessidade de um modo de regulação térmica do susceptor estático (antes de colocar o robô em operação) que seja dinâmico, independente e adaptado.

Exemplo 9 - Medição da temperatura do inserto.

[0236] Os materiais e condições foram os mesmos que no Exemplo 7.

[0237] No teste de ranhura, foi observada uma temperatura na borda do inserto de 490 °C para uma temperatura no centro da ranhura de 465 °C.

[0238] As operações de soldagem foram então desempenhadas (sem

ranhuras) com uma temperatura na borda do inserto 4 de 490 °C.

Exemplo 10 - Distância indiferente entre o substrato e o indutor.

[0239] As peças a serem soldadas eram produtos semiacabados comercializados sob o nome comercial Polystrand™ IE 7034B da PolyOne, correspondendo a uma tira termoplástica à base de polipropileno unidirecional. Esses produtos semiacabados compreendem 70% em peso de fibras de vidro, têm uma espessura de 0,25 mm/produto semiacabado e grama de peso de 354 g/m². A espessura das peças a serem soldadas era de 2 mm.

[0240] Duas peças foram soldadas (cf. os dispositivos no Exemplo 6).

[0241] Os parâmetros de soldagem e controle aplicados foram os seguintes:

Frequência: 200 kHz;

Material do inserto 4: Aço;

P_{max} limitado a 25% de 12,5 kW;

Distância entre o indutor e o substrato: 5 mm, 10 mm e 15 mm;

Temperatura de soldagem: cerca de 180 °C.

[0242] Esses testes mostram que é possível manter uma temperatura regulada constante do suscepto, independentemente da distância indutor/substrato. A potência eficaz do gerador se adapta e aumenta com a distância considerada.

[0243] Esses testes mostram adicionalmente que, para o material testado, a temperatura da superfície externa (superfície superior livre) é de 110 a 120 °C sob condições estáveis, portanto, bem abaixo do ponto de fusão da matriz de polipropileno, independentemente da distância entre o indutor e o substrato.

[0244] Esses testes foram duplicados em compósitos de PPS/carbono tecido de espessura de 1,8 mm (referência CETEX TC1100 da Tencate): as conclusões foram as mesmas com distâncias indutor/substrato de 10, 12 e

15 mm. A temperatura regulada era 300 °C; temperatura da superfície estabilizada em 245 °C.

REIVINDICAÇÕES

1. Método para soldar pelo menos duas peças (2, 3) rígidas compreendendo um material termoplástico e tendo respectivas superfícies a serem soldadas (10, 11), compreendendo:

inserir um inserto (4) entre as superfícies a serem soldadas (10, 11) das duas peças (2, 3), o referido inserto (4) tendo uma espessura de 5 mm ou menos;

fornecer calor via o referido inserto (4);

em que o inserto se move em relação às peças (2, 3) a serem soldadas no momento da soldagem, na direção de soldagem; e

caracterizado pelo fato de que o inserto compreende um material sensível à indução, e o calor do inserto é fornecido pela geração de um campo magnético por pelo menos um indutor (5).

2. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que compreende adicionalmente o contato das superfícies a serem soldadas (10, 11) das duas peças (2, 3) a serem soldadas aplicando pressão sobre pelo menos uma das duas peças (2, 3) a montante e/ou a jusante da posição do inserto (4) em relação à direção de soldagem.

3. Método, de acordo com a reivindicação 1 ou 2, **caracterizado** pelo fato de que o inserto (4) está em contato com cada uma das superfícies a serem soldadas (10, 11) das duas peças (2, 3).

4. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, **caracterizado** pelo fato de que pelo menos uma das duas peças (2, 3), preferencialmente ambas as peças (2, 3), estão em material compósito compreendendo fibras de reforço em uma matriz de material termoplástico; preferencialmente em material compósito compreendendo fibras de reforço selecionadas dentre fibras de carbono e/ou fibras de vidro em uma matriz do material termoplástico.

5. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 4, **caracterizado** pelo fato de que o material termoplástico é selecionado a partir do grupo de poliamidas, poliimidas, em particular, polieterimidas, poliariletercetonas, em particular, polietercetonaacetonas e polieteretercetonas, tereftalato de polietileno, poliolefinas, em particular, polipropileno, polissulfeto de fenileno, polissulfonas, polímeros clorados, em particular, cloreto de polivinila (PVC) e fluoreto de polivinilideno (PVDF), polímeros acrílicos ou metacrílicos, e é preferencialmente uma poliariletercetona tal como polietercetonaacetona ou polieteretercetona.

6. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 5, **caracterizado** pelo fato de que pelo menos uma das duas peças (2, 3), preferencialmente ambas as peças (2, 3), são uma estrutura multicamadas (2, 3).

7. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 6, **caracterizado** pelo fato de que as peças (2, 3) são peças de fuselagem de aeronaves.

8. Instalação para soldar pelo menos duas peças (2, 3) rígidas compreendendo um material termoplástico e tendo respectivas superfícies a serem soldadas (10, 11) compreendendo:

um suporte para segurar as duas peças (2, 3) a serem soldadas;

um braço (8) compreendendo em sua porção de extremidade um inserto (4) de aquecimento tendo uma espessura de 5 mm ou menos, configurado para ser inserido entre as superfícies a serem soldadas (10, 11) das duas peças (2, 3);

o inserto (4) sendo configurado para se mover em relação às peças (2, 3) a serem soldadas no momento da soldagem, em uma direção de soldagem;

caracterizada pelo fato de que a instalação compreende um dispositivo de geração de calor do referido inserto via indução, o dispositivo de geração de calor sendo pelo menos um indutor, e o referido inserto compreende um

material sensível à indução.

9. Instalação, de acordo com a reivindicação 8, **caracterizada** pelo fato de que compreende adicionalmente um ou mais roletes de compactação (6), preferencialmente configurados para serem sujeitos a vibração em uma frequência adaptada, e/ou um ou mais roletes de pressão.

10. Instalação, de acordo com a reivindicação 8 ou 9, **caracterizada** pelo fato de que compreende uma câmara de temperatura controlada (14), que preferencialmente compreende uma saia flexível.

11. Instalação, de acordo com qualquer uma das reivindicações 8 a 10, **caracterizada** pelo fato de que o suporte é configurado para ser aquecido.

Fig. 3

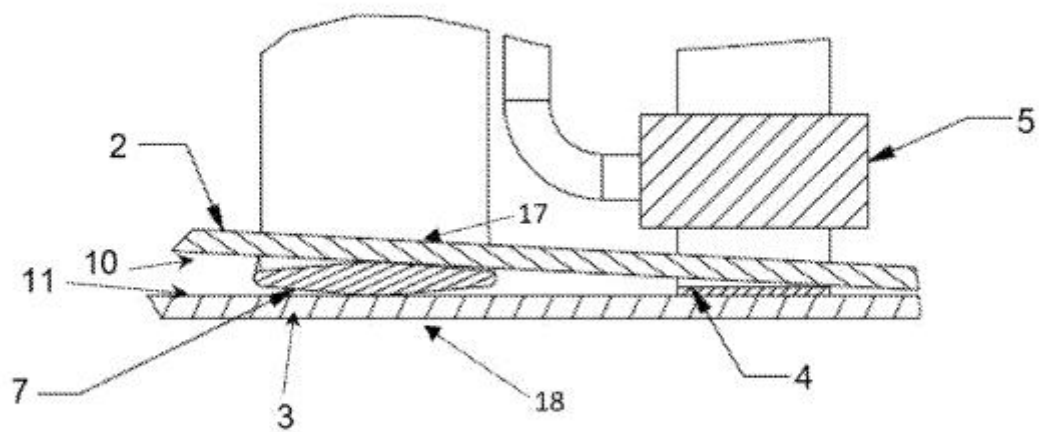


Fig. 4

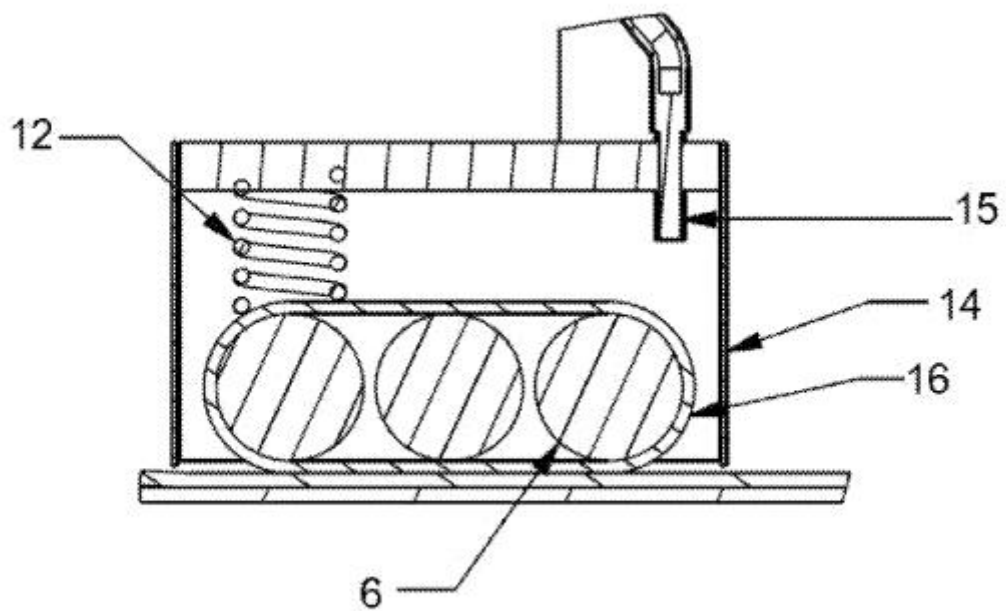


Fig. 5

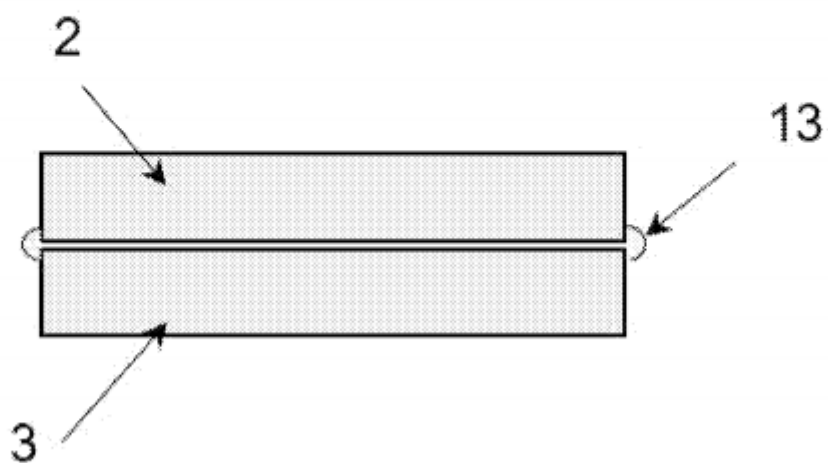


Fig. 6

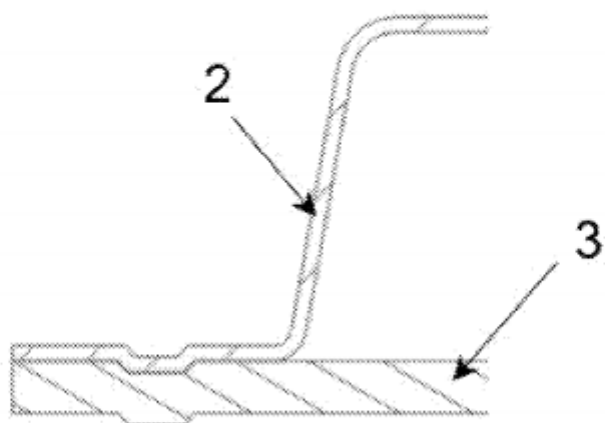


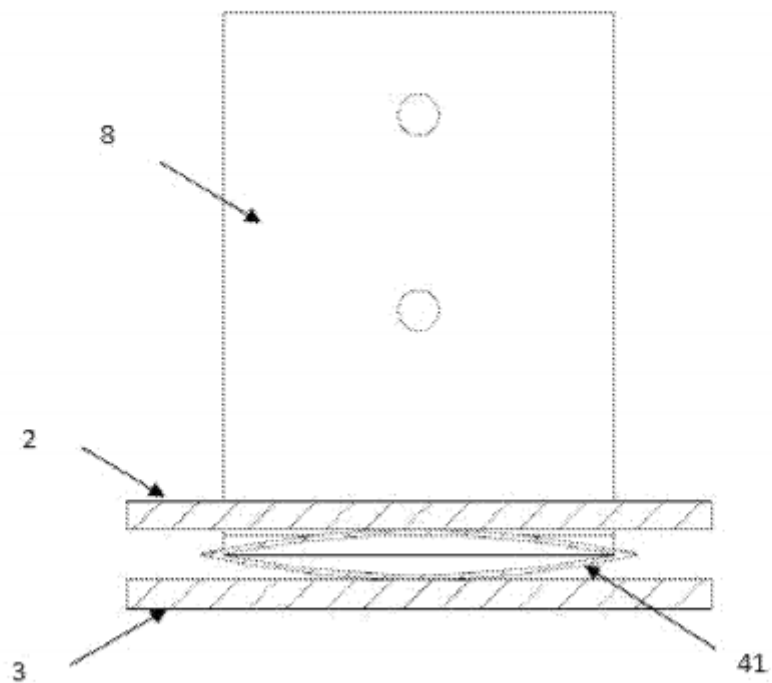
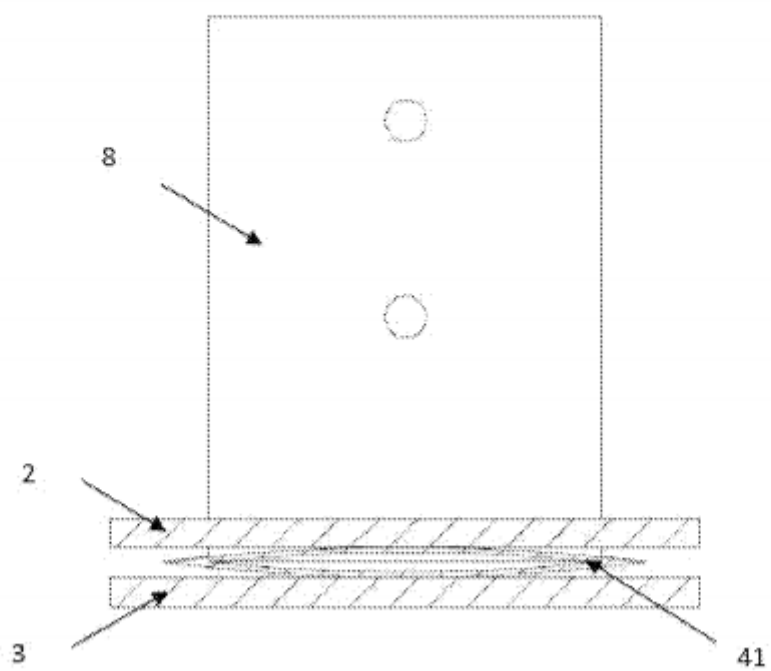
Fig. 7**Fig. 8**

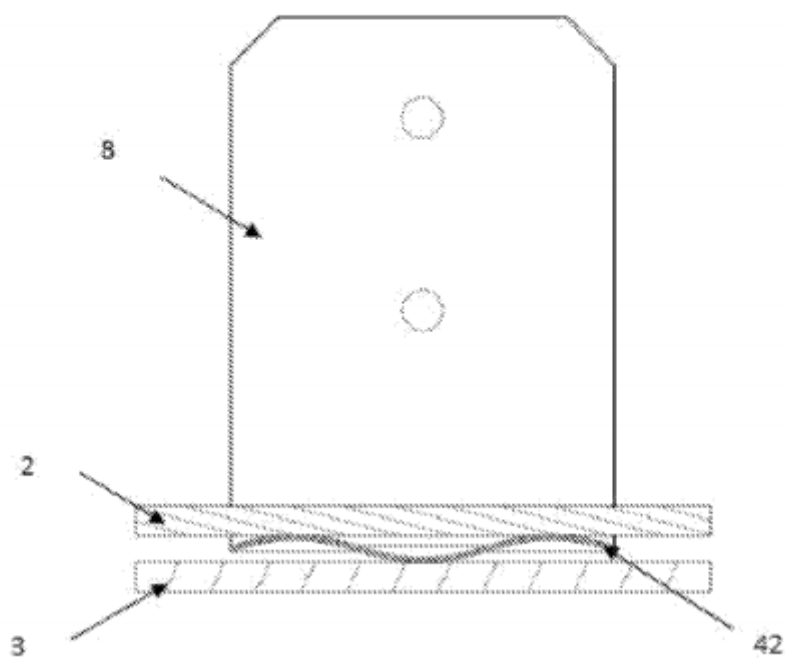
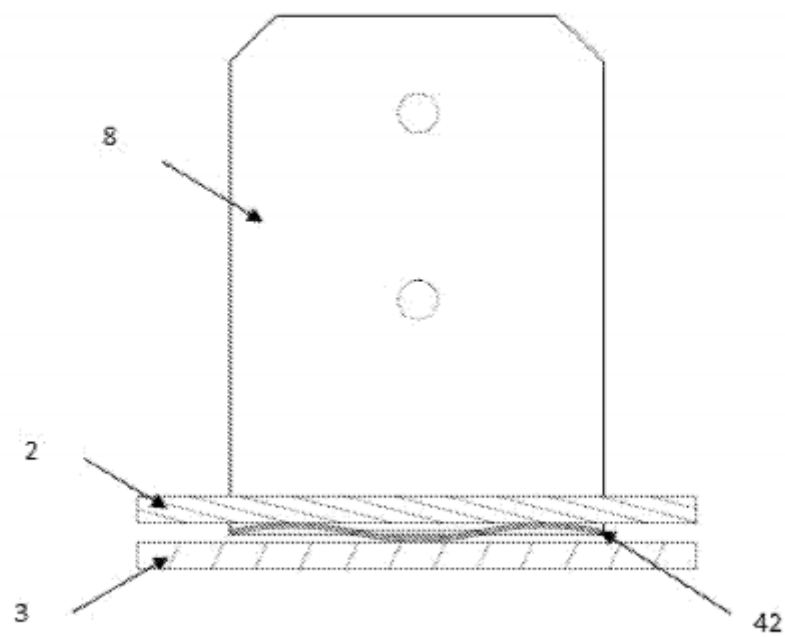
Fig. 9**Fig. 10**

Fig. 11

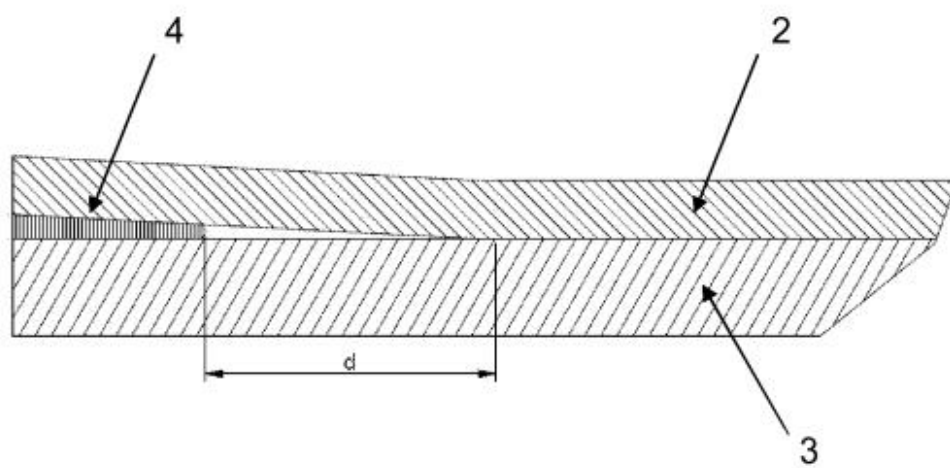


Fig. 12

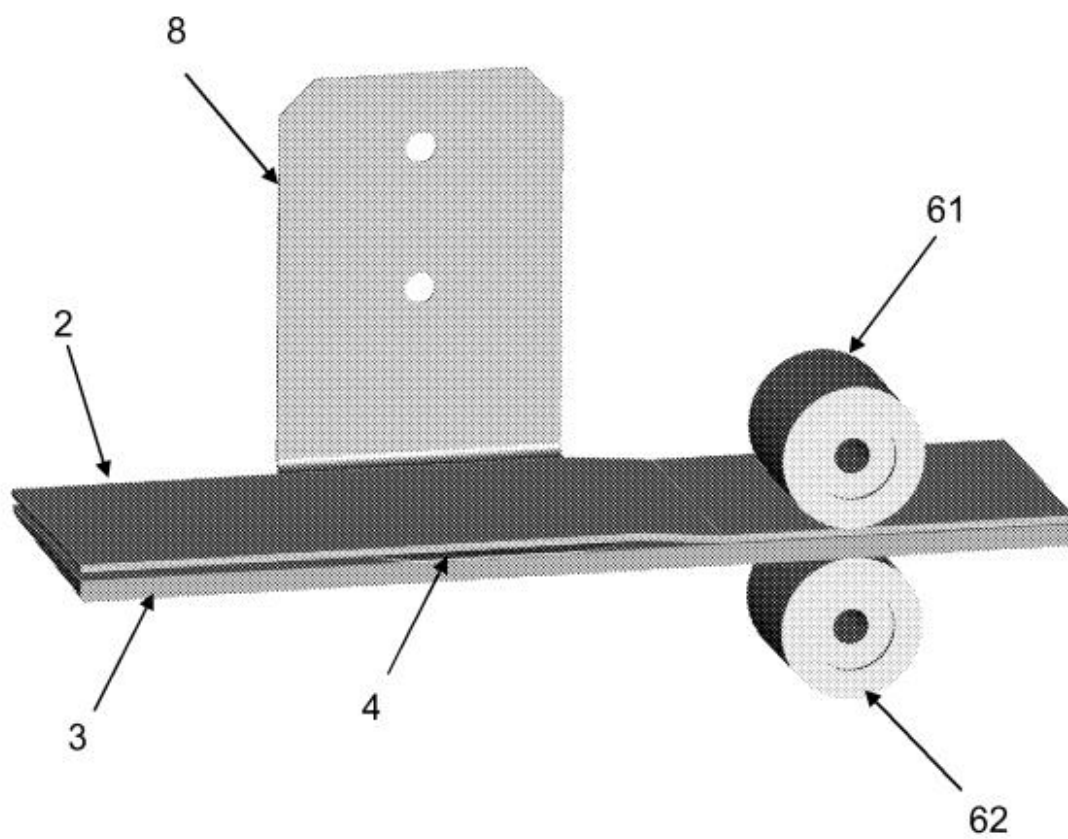


Fig. 13

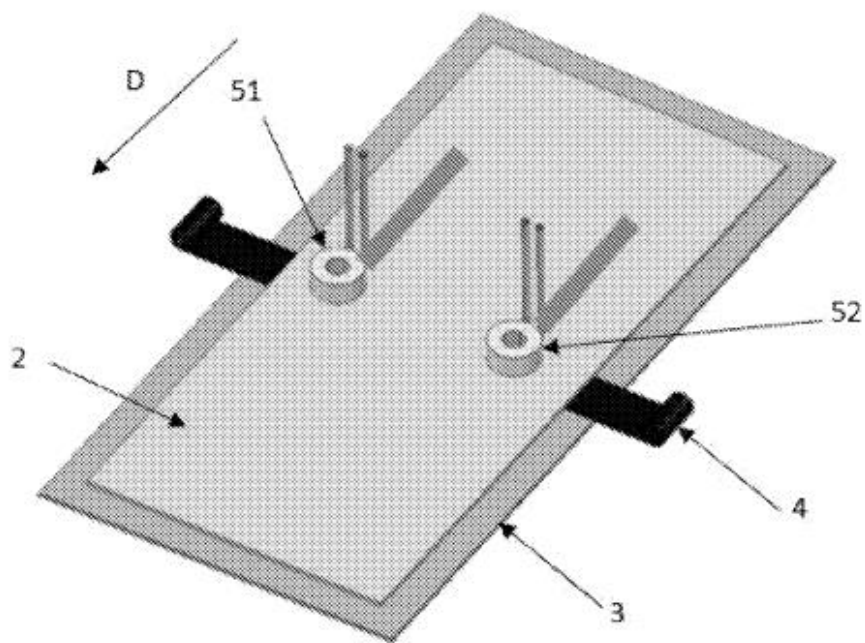


Fig. 14

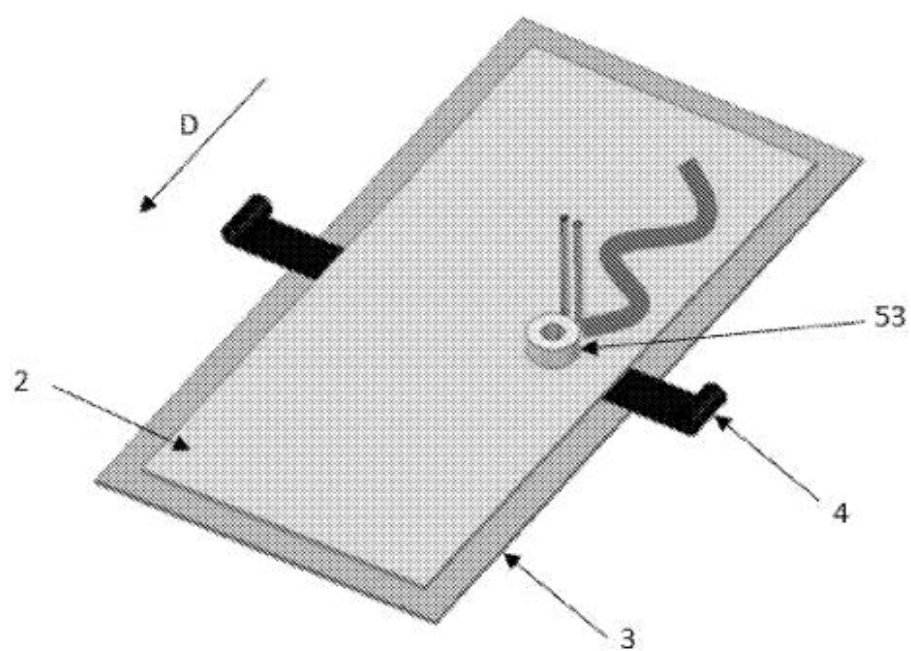


Fig. 15

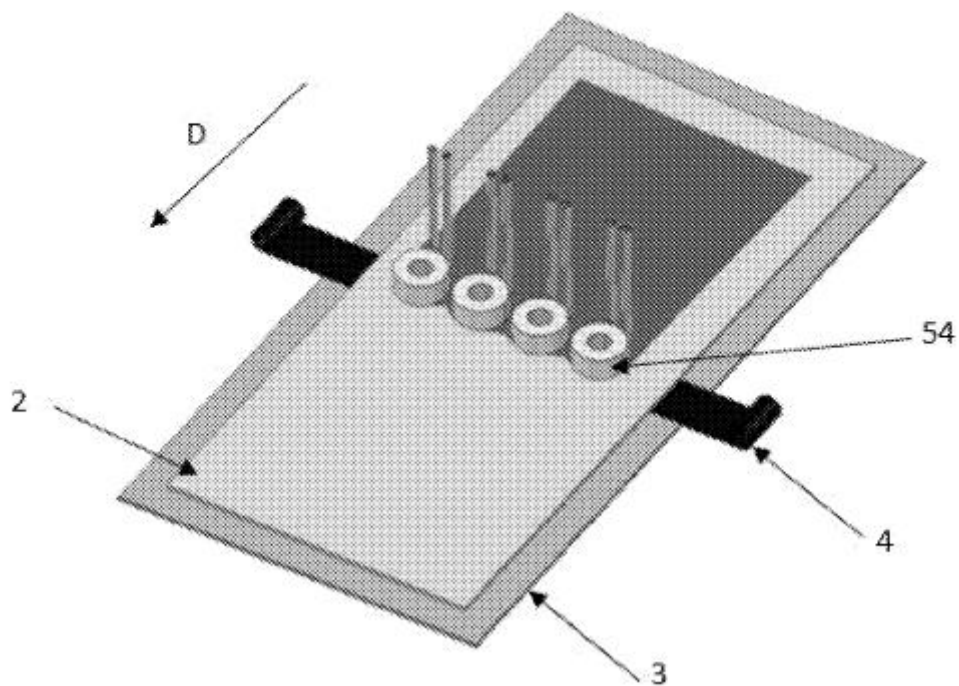


Fig. 16

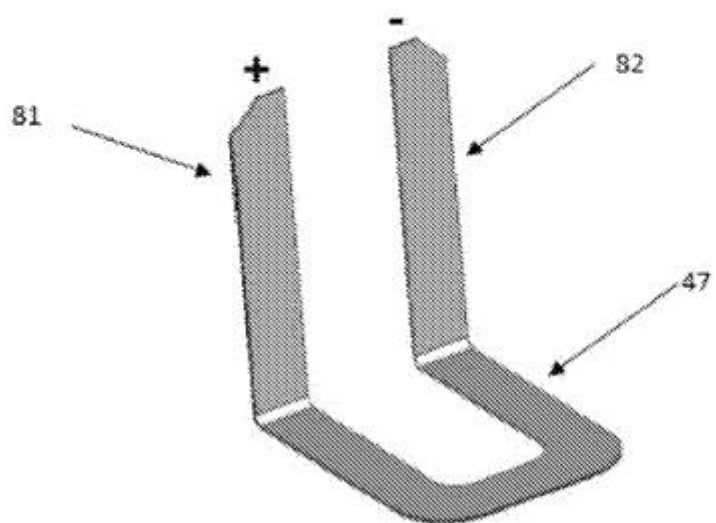


Fig. 17

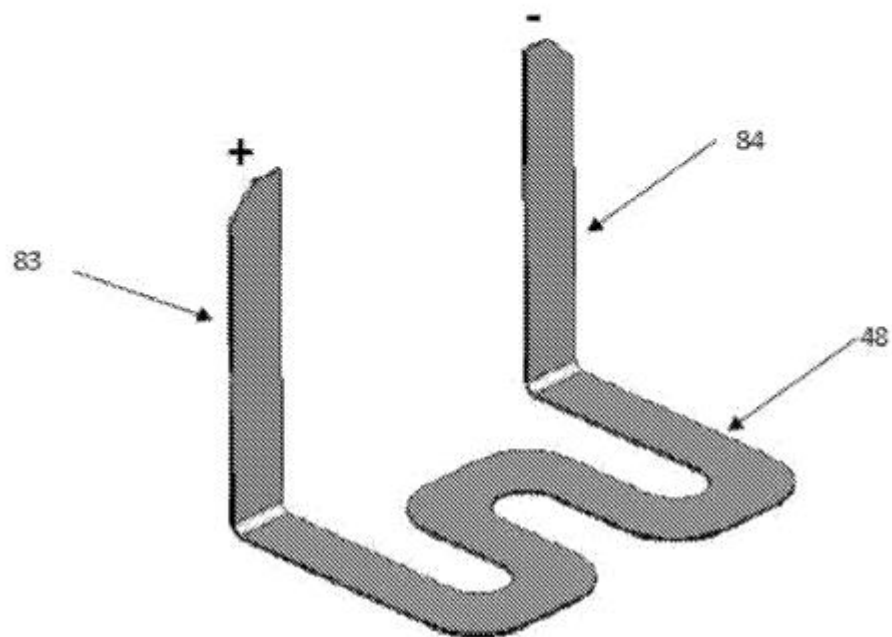


Fig. 18

