



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

**(11) BR 112019005306-9 B1**



**(22) Data do Depósito:** 11/09/2017

**(45) Data de Concessão:** 20/12/2022

---

**(54) Título:** MÉTODO DE SOLDAGEM A LASER E CONJUNTO

**(51) Int.Cl.:** B23K 26/32; A24F 47/00; B23K 26/21; B23K 103/04.

**(30) Prioridade Unionista:** 22/09/2016 GB 1616135.8.

**(73) Titular(es):** NICOVENTURES TRADING LIMITED.

**(72) Inventor(es):** HOWARD ROTHWELL.

**(86) Pedido PCT:** PCT GB2017052645 de 11/09/2017

**(87) Publicação PCT:** WO 2018/055333 de 29/03/2018

**(85) Data do Início da Fase Nacional:** 18/03/2019

**(57) Resumo:** Em um método de soldagem a laser, um componente metálico sólido é colocado em contato com um componente metálico poroso em uma região de interface, um feixe de laser é dirigido para o componente metálico sólido para provocar aquecimento e fusão de uma ou mais porções do componente metálico sólido na região de interface, e as porções metálicas fundidas fluem para interstícios no componente metálico e depois solidificam por arrefecimento de tal modo que porções do componente metálico poroso adjacentes aos referidos interstícios são integradas no metal do componente metálico sólido ligando assim o componente metálico sólido e o componente metálico poroso.

## **MÉTODO DE SOLDAGEM A LASER E CONJUNTO**

### **Campo Técnico**

[0001] A presente invenção refere-se a métodos de soldagem a laser e itens fabricados utilizando métodos de soldagem a laser.

### **Antecedentes**

[0002] Sistemas de fornecimento de aerossol, tais como sistemas de fornecimento de nicotina (por exemplo, cigarros eletrônicos ou e-cigarros) contêm geralmente um reservatório de uma fonte líquida contendo uma formulação, tipicamente incluindo nicotina, a partir da qual é gerado um aerossol através de vaporização ou outros meios. Assim, uma fonte de aerossol para um sistema de fornecimento de aerossol pode compreender um elemento de aquecimento acoplado a uma porção do líquido fonte do reservatório. Quando um usuário inala no dispositivo, o elemento de aquecimento é ativado para vaporizar uma pequena quantidade do líquido de origem, que é assim convertido em um aerossol para inalação pelo usuário. Tipicamente, o elemento de aquecimento é feito de um material eletricamente condutor e está ligado a uma fonte de energia elétrica tal como uma bateria que faz com que a corrente elétrica flua através do elemento de aquecimento para que o elemento seja aquecido, por sua vez aquecendo e vaporizando o líquido fonte.

[0003] Em tal arranjo, o elemento de aquecimento é eletricamente conectado à fonte de energia através de um par de contatos elétricos, também feitos de material condutor, como metal. Enquanto o elemento de aquecimento e os contatos podem ser dispostos para tocar um ao outro, uma ligação física ou

articulação entre o elemento de aquecimento e os contatos elétricos fornece uma conexão elétrica mais segura.

[0004] A soldagem é uma técnica para fornecer uma ligação física entre componentes metálicos, como elementos condutores em um circuito elétrico. Um metal de enchimento, conhecido como solda e tendo um ponto de fusão mais baixo do que os elementos condutores a serem unidos, é fundido por aquecimento de modo que ele flui para a região de junção e forma uma ligação física que liga os componentes uma vez que tenha arrefecido e solidificado. Impurezas na região de junção podem prejudicar o sucesso da junta soldada; isso pode ser resolvido pelo uso de um material de fluxo para evitar a oxidação durante o processo de soldagem e/ou fornecer alguma limpeza química por corrosão. Contudo, no contexto dos sistemas de administração de nicotina em aerossol, os materiais de fluxo podem ser atacados pela nicotina no ambiente do elemento de aquecimento, levando à contaminação do aerossol.

[0005] Portanto, técnicas alternativas para a formação de conexões elétricas entre um elemento de aquecimento e seus contatos elétricos são de interesse.

### **Sumário**

[0006] De acordo com um primeiro aspecto de certas concretizações aqui descritas, é proporcionado um método de soldagem por laser compreendendo: colocar um componente metálico sólido em contato com um componente metálico poroso em uma região de interface; direcionar um feixe de laser para o componente metálico sólido para provocar o aquecimento e a fusão de uma ou

mais porções do componente metálico sólido na região de interface; e permitir que as porções metálicas fundidas fluam para os interstícios no componente metálico poroso e solidifiquem por arrefecimento de tal modo que porções do componente metálico poroso adjacentes aos referidos interstícios sejam integradas no metal do componente metálico sólido, desse modo ligando o componente metálico sólido e o componente metálico poroso.

[0007] O componente metálico poroso pode compreender uma malha de fibras metálicas sinterizadas em conjunto, as porções do componente metálico poroso adjacentes aos referidos interstícios que estão integradas no metal do componente metálico sólido sendo fibras metálicas. Um ou ambos o componente metálico sólido e o componente metálico poroso podem compreender aço inoxidável.

[0008] O feixe de laser pode ser operado por um primeiro período de tempo com um nível de saída de potência alto e depois por um segundo período de tempo com um nível de saída de potência inferior que é menor que o nível de saída de potência alto. Por exemplo, o primeiro período de tempo e o segundo período de tempo podem ter durações com uma razão no intervalo de 1:3 a 1:80. O nível de saída de potência inferior pode estar entre 40% e 60% do nível de saída de potência alto. Além disso, o primeiro período de tempo pode ser precedido por um período inicial durante o qual o nível de saída de potência do laser é aumentado de zero para o nível de saída de potência alto. O nível de saída de potência alto pode estar na faixa de 1 kW a menos de 1,8 kW. O feixe de laser pode fornecer uma quantidade total de energia



para os componentes metálicos na faixa de mais de 4,5 J a menos de 8,0 J.

[0009] O método pode ainda compreender a aplicação de uma força através da região de interface para comprimir o componente metálico sólido e o componente metálico poroso enquanto o feixe de laser é dirigido para o componente metálico sólido.

[0010] O componente metálico sólido pode ter uma espessura no intervalo de 0,05 mm a 0,5 mm.

[0011] O componente metálico sólido pode ser um contato elétrico e o componente metálico poroso pode ser um elemento de aquecimento para formar um aerossol a partir de um líquido em um sistema de fornecimento de aerossol.

[0012] De acordo com um segundo aspecto de certas concretizações aqui proporcionadas, é fornecido um conjunto compreendendo um componente metálico sólido e um componente metálico poroso ligado em uma soldadura por porções do componente metálico poroso adjacentes aos interstícios no componente metálico poroso que são integradas em pelo menos uma porção do componente metálico sólido que entrou nos interstícios.

[0013] De acordo com um terceiro aspecto de certas concretizações aqui proporcionadas, é proporcionado um conjunto compreendendo um componente metálico sólido e um componente metálico poroso que foram ligados em conjunto em uma soldadura feita por ou obtível por um método de soldagem a laser de acordo com um método do primeiro aspecto.

[0014] Em tais montagens, a solda pode ter uma resistência elétrica à corrente elétrica que flui de um dos componentes de metal sólido e do componente metálico poroso para o outro componente de 10 mOhms ou menos.

[0015] De acordo com um quarto aspecto de certas concretizações aqui proporcionadas, é fornecido um método de soldagem por laser compreendendo: dispor um componente metálico sólido em contato com um componente metálico poroso compreendendo uma pluralidade de tiras de metal sinterizadas; direcionar um feixe de laser para o componente metálico sólido para fornecer energia a ele; permitir que a energia aqueça e funda pelo menos uma porção do componente metálico sólido que está em contato com o componente metálico poroso, de modo que o metal fundido flua em torno das tiras de metal no componente metálico poroso; remover o raio laser; e arrefecer o metal fundido que flui em torno das tiras de metal de modo que as tiras de metal sejam incorporadas no componente metálico sólido para ligá-lo ao componente metálico poroso.

[0016] Estes e outros aspectos de certas concretizações são apresentados nas reivindicações independentes e dependentes anexas. Deverá ser notado que as características das reivindicações dependentes podem ser combinadas umas com as outras e características das reivindicações independentes em combinações diferentes das explicitamente estabelecidas nas reivindicações. Além disso, a abordagem aqui descrita não está restringida a concretizações específicas, tal como apresentado abaixo, mas inclui e contempla quaisquer combinações apropriadas de características aqui apresentadas. Por exemplo, um método de

soldagem por laser pode ser proporcionado de acordo com as abordagens aqui descritas que incluem qualquer uma ou mais das várias características descritas abaixo conforme apropriado.

### **Breve Descrição dos Desenhos**

[0017] Várias concretizações serão agora descritas em detalhes, a título de exemplo apenas, com referência aos desenhos anexos, nos quais:

[0018] As Figuras 1 e 2 mostram vistas em perspectiva de um conjunto que inclui componentes que podem ser soldados usando concretizações da invenção;

[0019] A Figura 3 mostra um fluxograma de etapas de um método de acordo com uma concretização da invenção;

[0020] As Figuras 4(A), 4(B), 4(C) e 4(D) mostram representações esquemáticas de aparelhos para executar as etapas no método de exemplo da Figura 3;

[0021] A Figura 5 mostra uma seção transversal esquemática através de um primeiro exemplo de peça de trabalho soldada utilizando uma concretização da invenção;

[0022] A Figura 6 mostra uma seção transversal esquemática através de um segundo exemplo de peça de trabalho soldada utilizando uma concretização da invenção; e

[0023] A Figura 7 mostra um gráfico de um exemplo de saída de potência de laser adequada para utilização em uma concretização da invenção.

### **Descrição Detalhada**

[0024] Aspectos e características de certos exemplos e concretizações são discutidos/descritos aqui. Alguns aspectos e características de certos exemplos e concretizações podem ser implementados convencionalmente e estes não são discutidos/descritos em detalhes por questões de brevidade. Será assim entendido que aspectos e características de aparelhos e métodos aqui discutidos que não são descritos em detalhes podem ser implementados de acordo com quaisquer técnicas convencionais para implementar tais aspectos e características.

[0025] A presente divulgação refere-se a um método de soldagem por laser que pode ser utilizado na fabricação de um sistema de fornecimento de aerossol, como um e-cigarro (no entanto, o modo não é tão limitado, e também é aplicável em outros contextos). Ao longo da descrição a seguir, o termo "e-cigarro" pode às vezes ser usado; no entanto, deverá ser notado que este termo pode ser usado de forma intercambiável com o sistema de fornecimento de aerossol (vapor).

[0026] A Figura 1 é uma representação esquemática de alguns componentes de um módulo transportador de elemento de aquecimento que pode ser usado em um conjunto de cartucho de um sistema de fornecimento de aerossol, onde o conjunto de cartucho é uma parte do sistema destinado a armazenar o líquido fonte e produzir o aerossol. Concretizações da invenção podem ser utilizadas na fabricação de um tal conjunto.

[0027] O componente 10 na Figura 1 é uma parte inferior de um elemento do módulo transportador configurado para suportar o elemento de aquecimento 12. Este elemento de suporte pode ser referido como um berço, com a parte 10 designada como um berço

inferior. Um berço superior (não mostrado) encaixa sobre o berço inferior 10 para prensar e suportar o elemento de aquecimento entre eles. O conjunto compreende ainda o elemento de aquecimento 12, um primeiro elemento de contato elétrico 14 para conectar a uma primeira extremidade do elemento de aquecimento 12 e um segundo elemento de contato elétrico 16 para conectar a uma segunda extremidade do elemento de aquecimento 12.

[0028] O berço inferior 10 neste exemplo é moldado a partir de um material plástico com um elevado teor de fibra de vidro. Cada um dos berços superior e inferior é proporcionado com um recesso 18 (só é visível para o berço inferior 10 na Figura 1) que corre ao longo do seu comprimento de modo que quando os dois componentes de berço são unidos para prensar o elemento de aquecimento 12, eles formam um berço tendo uma configuração geralmente tubular com um percurso de fluxo de ar definido pelos respectivos recessos 18 que correm pelo interior do tubo e no qual o elemento de aquecimento 12 está disposto.

[0029] Os primeiro e segundo elementos de contato elétricos 14, 16 podem ser formados de um material de folha de metal, por exemplo, compreendendo tiras de cobre formadas em uma forma apropriada tendo em conta a forma e configuração dos outros elementos do aparelho de acordo com técnicas de fabricação convencionais. Em outros casos, os primeiro e segundo elementos de contato elétrico 14, 16 podem compreender fiação flexível convencional. Em alguns exemplos, o primeiro e/ou o segundo elemento de contato elétrico pode ser provido de chapeamento, por exemplo, chapeamento de ouro ou prata, para ajudar a reduzir a resistência de contato e/ou reduzir o risco de corrosão.

[0030] Neste exemplo de um conjunto de cartucho, o elemento de aquecimento 12 é formado de um material de fibra de metal sinterizado e está geralmente na forma de uma folha. A natureza e estrutura do elemento de aquecimento são discutidas mais abaixo. Neste exemplo particular, o elemento de aquecimento 12 compreende uma porção principal 12A com extensões de contato elétrico 12B em cada extremidade para a conexão com os respectivos elementos de contato elétrico 14, 16. Neste exemplo, a porção principal 12A do elemento de aquecimento é geralmente retangular com um comprimento (isto é, em uma direção que corre entre as extensões de contato elétrico 12B) de cerca de 20 mm e uma largura de cerca de 8 mm. A espessura da folha compreendendo o elemento de aquecimento 12 neste exemplo é de cerca de 0,15 mm. Como pode ser visto na Figura 2, a porção principal geralmente retangular 12A do elemento de aquecimento 12 tem ranhuras que se prolongam para dentro de cada um dos lados mais compridos; este formato força o fluxo de corrente ao longo do elemento de aquecimento 12 de uma extensão de contato elétrico 12B para a outra para seguir um trajeto sinuoso que resulta em uma concentração de corrente e, portanto, de energia elétrica, em torno das extremidades das ranhuras. A distribuição de aquecimento resultante e os gradientes de temperatura correspondentes podem ser desejáveis no contexto de sistemas de fornecimento de aerossóis. Note que esta forma, tamanho e configuração do elemento de aquecimento é meramente um exemplo; concretizações da invenção são aplicáveis a outras configurações do elemento de aquecimento e, de fato, a outros componentes metálicos de composição semelhante.

[0031] Como mostrado na Figura 1, os primeiro e segundo elementos de contato elétrico 14, 16 foram montados no berço inferior 10 e o elemento de aquecimento 12 é representado acima do berço inferior 10 pronto para ser colocado no lugar. O segundo elemento de contato elétrico 16 é montado em uma segunda extremidade do berço inferior 10 (a extremidade mais esquerda para a orientação na Figura 1). O berço inferior 10 é perfilado para receber e combinar com o formato de uma primeira porção do segundo elemento de contato elétrico 16, de acordo com técnicas de fabricação convencionais para a montagem de condutores elétricos em partes do corpo de plástico. Uma extremidade do segundo elemento de contato elétrico 16 proporciona uma segunda porção de aba do elemento de contato elétrico 16 A para ligação a uma das extensões de contato elétrico 12B do elemento de aquecimento 12, enquanto a outra extremidade do segundo elemento de contato elétrico 16 se estende para longe do berço inferior 10, conforme representado esquematicamente na figura. O primeiro elemento de contato elétrico 14 está montado de modo a correr ao longo do comprimento do berço inferior 10 adjacente a uma parede do recesso 18. Tal como com o segundo elemento de contato elétrico 16, uma extremidade do primeiro elemento de contato elétrico 14 prolonga-se para longe da segunda extremidade do berço inferior 10, conforme representado esquematicamente na figura. A outra extremidade do primeiro elemento de contato elétrico 14 proporciona uma primeira porção de aba do elemento de contato elétrico 14A disposta em uma primeira extremidade do berço inferior 10 (extremidade mais direita da Figura 1) para receber a outra das extensões de contato elétrico 12B do elemento de aquecimento 12.

[0032] Uma superfície superior do berço inferior 10 compreende uma pluralidade de pinos de localização 20 que se alinham com as ranhuras no elemento de aquecimento 12 e também com os correspondentes orifícios de localização no berço superior (não mostrados nas figuras). Estes pinos de localização servem para ajudar a alinhar o berço superior 10 com o berço inferior, e para ajudar a alinhar o elemento de aquecimento 12 em relação aos berços 10 superiores e inferiores quando montado.

[0033] A Figura 2 mostra esquematicamente o elemento de aquecimento 12 montado no berço inferior 10 contendo os primeiro e segundo elementos de contato elétricos 14, 16. O elemento de aquecimento 12 é montado no berço inferior 10 simplesmente por ser colocado na superfície superior do berço inferior 10 com os pinos de localização 20 alinhados com as ranhuras do elemento de aquecimento 12. As primeiras e segundas porções de aba do elemento de contato elétrico 14A, 16A são dobradas de modo a estender-se sobre e/ou ao redor das respectivas extensões de contato elétrico 12B em cada extremidade do elemento de aquecimento 12. Para proporcionar uma boa conexão mecânica e elétrica, as porções de aba do elemento de contato elétrico 14A e 16A estão ligadas fisicamente às extensões de contato elétrico 12B do elemento de aquecimento 12 por um método de soldagem a laser de acordo com concretizações da invenção.

[0034] Note que o elemento de aquecimento e os contatos elétricos descritos em relação às figuras 1 e 2 são meramente um exemplo de componentes que podem ser unidos por soldagem a laser de acordo com concretizações da invenção. Outras configurações destes componentes em diferentes tipos de sistemas de



fornecimento de aerossóis também podem ser unidas por métodos de concretizações, e concretizações do método também são aplicáveis para unir componentes de outros produtos, sistemas e aparelhos. Além disso, enquanto o exemplo das Figuras 1 e 2 mostra os contatos elétricos montados no berço inferior antes da conexão ao elemento de aquecimento, as concretizações do método não são tão limitadas, e a conexão ou junção pela soldagem a laser pode ser realizada antes da montagem das partes soldadas a outros componentes.

[0035] Como discutido acima, o elemento de aquecimento do exemplo é formado a partir de um material de fibra de metal sinterizado e está geralmente na forma de uma folha. Material deste tipo pode ser pensado a partir de uma malha ou grelha irregular, e é criado por sinterização em conjunto de um arranjo alinhado aleatoriamente ou conjunto de fibras ou tiras de metal espaçadas. Uma única camada de fibras pode ser usada, ou várias camadas, por exemplo, até cinco camadas. Como um exemplo, as fibras de metal podem ter um diâmetro de 8 micrômetros, dispostas de modo a dar uma folha de espessura de 0,16 milímetros, e espaçadas para produzir uma densidade de material de 200 a 250 g/m<sup>2</sup> e uma porosidade de 84%. O objetivo desta estrutura de material, compreendendo fibras metálicas dispostas aleatoriamente com interstícios entre, é fornecer um material metálico poroso no qual fluido (líquido e gás) é capaz de penetrar e fluir ao longo e através dos interstícios. No contexto de um elemento de aquecimento do sistema de fornecimento de aerossol, a estrutura porosa é capaz de absorver o fluido fonte por ação capilar e trazê-lo diretamente em contato com o metal aquecido quando a corrente elétrica é passada através do elemento

de aquecimento. Outros materiais condutores porosos podem ser utilizados para esta aplicação particular, no entanto. Métodos de soldagem da invenção são aplicáveis a outras estruturas metálicas porosas, não apenas a uma malha sinterizada. Por exemplo, uma folha tecida ou tricotada a partir de fibras de metal é similarmente porosa. Uma folha de metal amassada ou dobrada, ou um bloco de metal sólido com orifícios criados no mesmo por moldagem, perfuração mecânica, ou perfuração, ou perfuração a laser, podem ser apropriadamente porosos para alguns usos. No contexto desta aplicação, um material ou estrutura metálica porosa significa um item, componente ou elemento feito de um ou mais metais e tendo uma rede ou conjunto regular, irregular ou aleatório de orifícios, canais ou interstícios em um milímetro, micrômetro ou escala menor, através do qual o fluido pode fluir. Por exemplo, o material ou estrutura metálica porosa pode ter uma porosidade de 66% ou maior, ou 70% ou maior, ou 75% ou maior, ou 80% ou maior ou 85% ou maior, ou 86% ou maior. Nos exemplos, a porosidade é substancialmente de 84%. O material pode ou não ser feito de fibras ou tiras de metal. Além disso, qualquer metal pode ser usado, dependendo da natureza do uso pretendido. Para um material poroso feito de fibras ou tiras de metal, o material pode compreender fibras de apenas um metal, ou fibras de dois ou mais metais em qualquer proporção. Como exemplo, em um elemento de aquecimento para um sistema de fornecimento de aerossol, o metal pode ser aço inoxidável, por exemplo, aço inoxidável 301. Outros metais incluem outros aços inoxidáveis, aços não-inoxidáveis, ferro, cobre, tungstênio, alumínio, latão e outras ligas, ou qualquer outro metal (elemento, composto ou liga).

[0036] Inversamente, os contatos elétricos a serem soldados ao elemento de aquecimento no exemplo das Figuras 1 e 2 são feitos de metal sólido, sem a estrutura intersticial de um material metálico poroso e, portanto, sem porosidade significativa. Por exemplo, um metal sólido pode ter uma porosidade de 10% ou menos, ou 7,5% ou menos, ou 5% ou menos, ou 2,5% ou menos, ou 1% ou menos, ou 0,5% ou menos, ou 0,25% ou menos. Além disso, o componente metálico sólido é provavelmente mais denso do que o componente metálico poroso, ou seja, tem uma densidade mais alta. Concretizações da invenção propõem que a soldagem a laser seja usada para fundir ou ligar um componente metálico sólido a um componente metálico poroso, proporcionando assim uma conexão elétrica e/ou uma junção mecânica entre tais componentes sem a necessidade de soldagem e uso associado de fluxo. O componente sólido também pode ser de qualquer metal, de acordo com o uso pretendido. Como exemplo, em um sistema de fornecimento de aerossol, os contatos elétricos para conexão a um elemento de aquecimento podem ser feitos de aço inoxidável, tal como o aço inoxidável 316L. Outros metais incluem outros aços inoxidáveis, aços não-inoxidáveis, ferro, cobre, tungstênio, alumínio, latão e outras ligas, ou aço inoxidável revestido com alumínio, ou qualquer outro metal ou combinação de metais (elemento, composto, liga ou construção chapeada ou laminada).

[0037] Para os componentes metálicos sólidos e porosos, o termo "componente" destina-se a cobrir qualquer item ou elemento feito dos metais sólidos e porosos especificados, estando ou não em uma forma final para parte de um item ou produto maior e sendo ou não usado dentro de um item ou produto maior. O sistema de

fornecimento de aerossol das Figuras 1 e 2 é apenas um exemplo de um produto no qual uma concretização da invenção pode ser empregada; a invenção não está limitada a isso.

[0038] A Figura 3 mostra um fluxograma de etapas em um método de acordo com uma concretização do método.

[0039] Numa primeira etapa S1, um componente metálico sólido e um componente metálico poroso são selecionados, onde é desejado que os dois componentes sejam fixos em conjunto, por exemplo, para fins de conexão elétrica, ligação mecânica ou ambas. Os componentes podem ter uma estrutura e material como descrito acima, por exemplo.

[0040] Numa segunda etapa S2, o componente metálico sólido e o componente metálico poroso são colocados nas respectivas posições desejadas, em contato um com o outro. A área onde o contato é feito pode ser considerada como uma região de interface, a interface estando entre as superfícies dos dois componentes. Dependendo do tamanho dos componentes e sua disposição dentro de qualquer dispositivo final, a região de interface pode ser o tamanho total ou menor que a área de superfície das superfícies de contato de um ou ambos os componentes. Por exemplo, na configuração da Figura 1 e Figura 2, a região de interface é a maior parte ou toda a área do contato elétrico, mas apenas uma pequena parte da área do elemento de aquecimento. Em outros exemplos, os dois componentes podem ser posicionados em um arranjo de sobreposição de modo que a região de interface seja menor que as duas áreas de superfície, ou os componentes podem ter superfícies de contato de tamanho

similar, de modo que a interface compreenda a maioria ou todas as áreas de superfície.

[0041] Os componentes podem ser mantidos na posição de contato com um meio temporário de fixação ou retenção a partir do qual eles são liberados após a soldagem. Alternativamente, os dois componentes podem ser montados em suas posições finais desejadas dentro de um dispositivo ou produto maior e então soldados em conjunto, como no exemplo das Figuras 1 e 2. Os componentes corretamente posicionados, mantidos em posição pronta para soldagem, podem ser considerados como uma peça de trabalho.

[0042] Em uma terceira etapa S3, um feixe de luz de um laser é direcionado para o exterior (perto) da superfície do componente metálico sólido, oposta a e substancialmente ortogonal à região de interface. Em outras palavras, o feixe de laser é direcionado para o componente de maior densidade dos dois componentes metálicos. O feixe de laser pode ser focalizado, com o ponto focal substancialmente na superfície próxima do componente metálico sólido, isto é, a superfície oposta à superfície de contato na região de interface. Dependendo da espessura do componente metálico sólido, da quantidade de energia a ser entregue, e do tamanho da área a ser soldada, o ponto focal pode, em vez disso, ser disposto acima ou abaixo do plano da superfície próxima. O feixe de laser pode ser fornecido através de uma fibra óptica, ou através de uma ou mais lentes, ou uma combinação de ambas. A fibra e/ou lentes podem ser montadas em um cabeçote de fornecimento de feixe dedicado, configurado para posicionamento preciso na localização requerida acima ou de outra forma adjacente à peça de trabalho (os componentes apropriadamente

dispostos). Exemplos de lasers adequados para uso em soldagem a laser incluem lasers de estado sólido tais como lasers de rubi e lasers de Nd:YAG, e lasers de gás tais como lasers de hélio, nitrogênio e dióxido de carbono.

[0043] Em uma quarta etapa S4, a energia do feixe de laser é entregue ao local da solda na região de interface. Isto é conseguido por absorção de energia e transferência de calor. O feixe de laser direcionado para o componente metálico sólido próximo à superfície fornece energia ao metal. A energia é absorvida pelo metal; isso causa o aquecimento do metal. A potência e o comprimento de onda do feixe de laser e o tipo de metal determinarão até que ponto o feixe pode penetrar no metal, e uma combinação de absorção direta de energia e transferência de calor de áreas adjacentes que absorveram energia produzirá aquecimento em uma ou mais partes do componente metálico sólido na região da interface e vai fazer com que o metal derreta. A espessura do componente metálico sólido em relação à profundidade de penetração do laser também desempenha um papel na forma como o aquecimento na região de interface é alcançado. O versado na técnica entenderá ajustar a potência do laser e o comprimento de onda e espessura do componente para alcançar a fusão requerida, levando em conta as propriedades térmicas do metal e sua capacidade de dissipar o calor. Algum aquecimento e fusão também podem ocorrer na estrutura metálica porosa.

[0044] Numa quinta etapa S5, o metal fundido ou derretido do componente sólido é capaz de fluir para fora da superfície do componente sólido na região de interface. Isto será melhorado se o feixe de laser e a peça de trabalho estiverem dispostos ao

longo de um eixo substancialmente vertical, com o feixe de laser sendo direcionado substancialmente para baixo sobre o componente metálico sólido, os componentes estando dispostos como duas camadas horizontais. O fluxo do metal fundido para fora da superfície é assim assistido pela gravidade. Esta configuração não é essencial, no entanto. O metal fundido é capaz de fluir para o componente metálico poroso adjacente, entrando nos interstícios na estrutura porosa e, desse modo, englobando, envolvendo ou de outro modo circundando fibras, tiras ou outras partes próximas da estrutura porosa.

[0045] Em uma sexta etapa S6, o feixe de laser é desligado (ou bloqueado ou desviado da peça de trabalho) uma vez que uma quantidade necessária de energia tenha sido entregue. Isso é discutido mais abaixo.

[0046] Em uma etapa final S7, uma vez que a fonte de energia (feixe de laser) é removida da peça de trabalho, o metal fundido é capaz de arrefecer e solidificar. Como ele fluiu para os interstícios do componente metálico poroso, ele permanece ali enquanto esfria, de modo que, uma vez retornado ao estado sólido, as tiras do componente metálico poroso são incorporadas e integradas ao metal sólido. Isso fornece uma junção ou união mecânica entre os dois componentes, e a solda está completa.

[0047] Embora não seja desejado estar ligado à teoria, acredita-se que o metal derretido tende a fluir em porções individuais ou regiões "nodais" dentro da região aquecida, e cada nó se forma como um ponto de soldadura ("*nugget*") ou nódulo em torno de um grupo de fibras de metal na estrutura porosa (as tiras também podem sofrer um grau de fusão ou amolecimento). As

estruturas de solda resultantes podem ser consideradas como pinos (as tiras ou fibras) em uma almofada de alfinetes (um nó ou *nugget*). Em outras palavras, o metal fundido flui para os interstícios entre as tiras ou outras estruturas metálicas do metal poroso que são adjacentes aos interstícios em questão, e envolve ou engloba aqueles porções do componente metálico poroso. Normalmente, uma série de nós será criada. A quantidade de nós por solda e a proporção de tiras por nó podem ser modificadas ajustando-se a potência do laser e o tempo de entrega do feixe de laser; isso é discutido mais abaixo. Tanto a resistência mecânica da solda quanto sua resistência elétrica dependem da configuração e proporção de nós e tiras, de modo que uma solda pode ser adaptada para um bom desempenho dependendo de sua finalidade (ligação física, conexão elétrica ou ambas).

[0048] A Figura 4 mostra representações esquemáticas do aparelho para realizar o método da Figura 3. As representações não estão em escala. Na Figura 4(A), um componente metálico sólido 30 é disposto em contato com um componente metálico poroso 32 compreendendo múltiplas tiras de metal, por exemplo, sinterizadas em conjunto. O componente metálico sólido 30 tem uma superfície superior ou próxima 30a (na orientação ilustrada) e uma superfície inferior oposta 30b que é colocada em contato com uma superfície 32a do componente metálico poroso. As duas superfícies de contato compreendem uma região de interface 34, que neste exemplo corresponde a toda a área superficial da superfície inferior 30b do componente metálico sólido 30 e parte da área de superfície da superfície superior 32a do componente metálico poroso 32. Uma solda deve ser criada na região de interface 34 para unir os dois componentes.



[0049] Na Figura 4(B), um laser 38 gera um feixe de laser 36 que é moldado para um ponto focal 40 por uma lente (ou várias lentes) 42. O foco 40 está disposto sobre a superfície próxima 30a do componente metálico sólido.

[0050] Na Figura 4(C), energia suficiente foi fornecida ao componente metálico sólido 30 pelo feixe de laser 36 para causar aquecimento através do componente metálico sólido (indicado pela área sombreada) e, assim, fundir o metal sólido na região de interface. O metal fundido fluuiu em torno de algumas tiras 44 do componente metálico poroso 32 e formou um nódulo 46.

[0051] Na Figura 4 (D), o feixe de laser 36 foi removido e a parte fundida do componente metálico sólido 30 arrefeceu e solidificou. O nódulo 46 é, portanto, agora metal sólido e embutiu dentro dele partes de múltiplas tiras 44 do componente metálico poroso 32. Os dois componentes 30, 32 são assim fixados ou fundidos por esta ligação, o que proporciona uma junção física, mecânica e também uma conexão elétrica onde os componentes são metálicos e eletricamente condutores.

[0052] A configuração dos nódulos e das tiras ou fibras embutidas neles pode ser modificada pelo uso de diferentes regimes ou protocolos de fornecimento de energia do laser.

[0053] A Figura 5 mostra uma representação da seção transversal (fora de escala) de um primeiro exemplo de peça de trabalho soldada de acordo com uma concretização da invenção. O componente metálico sólido 30 foi fundido durante o processo de soldagem e escoou para formar dois nós ou nódulos 46. Cada nódulo é penetrado por uma pluralidade de fibras de metal 44

compreendidas no componente metálico poroso 32, e essas fibras de metal 44 são assim integradas no material do componente metálico sólido 30. Para efeitos de ilustração, a pluralidade é representada por 7-8 tiras 44 neste exemplo. Pelo menos algumas fibras 44 estendem-se através do lado de um nódulo 46, tendo parte do seu comprimento dentro do nódulo (e fixado pelo metal solidificado circundado) e parte do seu comprimento fora do nódulo e formando a estrutura porosa do componente metálico poroso. Algumas fibras 44 podem estar totalmente dentro de um nódulo 46. Em um exemplo real, mais nódulos podem ser formados, com mais ou menos tiras por nódulo. Note, no entanto, que os múltiplos nódulos podem ser formados a partir de uma única ação de solda usando um único feixe de laser; não há apenas um nódulo por ação de solda ou exposição ao feixe. A resistência mecânica da solda (avaliada, por exemplo, por um teste de descolamento no qual a força necessária para descascar os componentes soldados é medida) irá variar com o número de nódulos e o número de tiras por nódulo. Além disso, a resistência elétrica irá variar com esses fatores estruturais. Em algumas aplicações, a resistência elétrica será de particular interesse, e pode ser descoberto, por exemplo, que uma solda muito segura proporcionando alta resistência também terá uma resistência que é muito alta para uma aplicação particular (especialmente tendo em mente que duas soldas podem ser incluídas em um circuito elétrico, tal como o elemento de aquecimento elétrico nas Figuras 1 e 2). A modificação do protocolo de soldagem pode alterar a estrutura para reduzir a resistência elétrica, para ser balanceada contra uma resistência mecânica adequada.

[0054] A Figura 6 mostra uma representação da seção transversal (fora de escala) de um segundo exemplo de peça de trabalho soldada de acordo com uma segunda concretização da invenção. Neste exemplo, uma potência de laser menor foi usada em comparação com o exemplo da Figura 5; os outros parâmetros são os mesmos. Este regime produz um aumento do número de nódulos 46 (quatro mostrados neste exemplo), mas com um número reduzido de tiras 44 por nódulo (2-3 como ilustrado), ou, inversamente, um aumento do número de nódulos por tira. Esses números são apenas ilustrativos e não necessariamente representativos de um exemplo da vida real; no entanto, a potência reduzida do laser pode ser usada para modificar a estrutura da solda dessa maneira. Esta estrutura diferente tende a ter uma resistência elétrica reduzida em comparação com o exemplo da Figura 5, e também pode ter uma resistência mecânica similar ou aumentada uma vez que mais nódulos são formados, embora o número total de tiras envolvidas sobre a solda possa ser menor.

### **Resultados experimentais**

[0055] Em testes, uma quantidade de soldas foi realizada. Nestes experimentos, o componente metálico sólido era um contato elétrico (como mostrado nas Figuras 1 e 2) e foi feito de aço inoxidável 301 e tinha uma espessura de 0,2 mm. O componente metálico poroso foi um elemento de aquecimento (como mostrado nas Figuras 1 e 2) com uma espessura de 0,16 mm, e era feito de aço inoxidável 316L, compreendendo fibras de metal de 8  $\mu\text{m}$  de diâmetro sinterizadas em um alinhamento aleatório para dar uma densidade do material de 200-250 g/m<sup>2</sup> e uma porosidade de 84%.

[0056] O laser utilizado foi um laser ML-2450A fabricado por Amada Miyachi; este é um laser Nd:YAG e, conseqüentemente, opera em um comprimento de onda de 1064 nm. O feixe foi focado em um tamanho de ponto focal de 400  $\mu\text{m}$ , com este ponto posicionado na superfície próxima do componente metálico sólido. Outros tamanhos de pontos focais podem ser usados, por exemplo, com referência ao tamanho pretendido da área soldada, como entre 400  $\mu\text{m}$  e 600  $\mu\text{m}$ . Para efetuar a solda, o laser foi operado seguindo um regime de potência de saída variável durante o tempo de soldagem.

[0057] A Figura 7 mostra um gráfico ilustrando a potência de saída do laser durante o processo de soldagem. Durante um período de inicialização inicial (tempo de ativação) começando no tempo  $t_0$  e se estendendo ao longo de um período  $\Delta t_1$  até um tempo  $t_1$ , a potência de saída subiu do zero para 100%. O valor da potência total de saída de 100% (configuração de potência do laser) foi variado entre os experimentos. Uma rampa linear é assumida. Então, ao longo de um período de tempo  $\Delta t_2$  estendendo-se de  $t_1$  a  $t_2$ , o laser foi operado com 100% de potência. Finalmente, começando no tempo  $t_2$ , a potência de saída foi reduzida para 50% e o laser operado por um período de tempo adicional  $\Delta t_3$ , finalizado no tempo  $t_3$ . As durações de  $\Delta t_1$ ,  $\Delta t_2$  e  $\Delta t_3$  e também o tempo total de soldagem  $\Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3$  foram variados entre os experimentos.

[0058] A Tabela 1 mostra os regimes de potência seguidos para 30 experimentos, incluindo a quantidade total de energia fornecida a cada peça de trabalho. O cálculo da quantidade de energia pressupõe a operação do laser em ondas contínuas.

Tabela 1

Experimento	Ajuste de potência (kW)	$\Delta t1$ (ms)	$\Delta t2$ (ms)	$\Delta t3$ (ms)	Energia (J)
1	1,4	1	1	1	2,8
2	1,6	1	1	1	3,2
3	1,8	1	1	1	3,6
4	1,6	1	1	2	4,0
5	1,6	1	1	2	4,0
6	1,4	1	1	3	4,2
7	1,3	1	1	4	4,55
8	1,8	1	1	2	4,5
9	1,2	1	1	5	4,8
10	1,4	1	1	4	4,9
11	1,4	1	1	4	4,9
12	1,2	1	1	6	5,4
13	1,2	1	1	6	5,4
14	1,5	1	1	4	5,25
15	1,4	1	1	5	5,6
16	1,5	1	1	5	6,0
17	1,4	1	1	6	6,3
18	1,4	1	1	6	6,3
19	1,4	1	1	6	6,3
20	1,2	1	1	8	6,6
21	1,2	1	1	8	6,6
22	1,6	1	1	6	7,2
23	1,6	1	1	6	7,2
24	1,4	1	1	8	7,7
25	1,6	1	2	5	8,0
26	1,6	2	2	4	8,0
27	1,8	1	2	5	9,0
28	1,8	2	2	4	9,0
29	2	1	2	5	10,0
30	2	2	2	4	10,0

[0059] As peças de trabalho soldadas resultantes foram testadas e caracterizadas de acordo com a resistência mecânica da solda, ou resistência ao descolamento, e a resistência elétrica da solda. A resistência ao descolamento foi caracterizada como ruim (indicando nenhuma ligação), boa ou muito boa (ou não aplicável, N/A, se não testada). A resistência elétrica foi caracterizada como alta (acima de 20 mOhms), média (med, 10-20 mOhms) ou baixa (menor que 10 mOhms). Os resultados são mostrados na Tabela 2, incluindo a energia também mostrada na Tabela 1.

**Tabela 2**

<b>Experimento</b>	<b>Resistência ao descolamento</b>	<b>Resistência (mOhms)</b>	<b>Energia (J)</b>
1	N/A	alta	2,8
2	N/A	med	3,2
3	N/A	med	3,6
4	ruim	alta	4
5	ruim	alta	4
6	ruim	alta	4,2
7	ruim	alta	4,55
8	boa	alta	4,5
9	boa	med	4,8
10	boa	med	4,9
11	muito boa	baixa	4,9
12	ruim	alta	5,4
13	ruim	alta	5,4
14	boa	med	5,25
15	muito boa	baixa	5,6
16	ruim	med	6,0

<b>Experimento</b>	<b>Resistência ao descolamento</b>	<b>Resistência (mOhms)</b>	<b>Energia (J)</b>
17	boa	med	6,3
18	boa	baixa	6,3
19	boa	baixa	6,3
20	muito boa	baixa	6,6
21	muito boa	baixa	6,6
22	boa	med	7,2
23	boa	med	7,2
24	muito boa	med	7,7
25	N/A	alta	8,0
26	N/A	alta	8,0
27	N/A	alta	9,0
28	N/A	alta	9,0
29	N/A	alta	10,0
30	N/A	alta	10,0

[0060] A partir desses resultados, pode-se observar que há um regime em que uma quantidade menor de energia é fornecida (experimentos com números mais baixos) e o resultado é geralmente ruim, pois a resistência mecânica da solda é baixa e tem uma resistência alta. Por outro lado, um regime para os experimentos de números mais altos, nos quais uma quantidade muito maior de energia foi entregue, também tem um resultado ruim para algumas aplicações. A força da ligação mecânica pode ser melhorada, mas a resistência ainda é alta. Um regime intermediário que fornece uma quantidade mais moderada de energia dá um resultado que é particularmente útil, em que a resistência mecânica é boa ou muito boa, e a resistência elétrica é baixa ou média.

[0061] Considerando as figuras em relação a este exemplo de peça de trabalho em particular, é possível notar que uma quantidade total de energia superior a 4,5 J, mas não superior a 8,0 J fornece resultados úteis quando entregue usando um regime como o mostrado na Figura 7. Mais especificamente, uma entrega de energia entre cerca de 6,0 J e 7,0 J dá resultados particularmente bons em termos de boa resistência ao descolamento e baixa resistência.

[0062] Observando os resultados em mais detalhes, observe que os resultados mais úteis produzidos a partir da entrega de energia moderada correspondem a um protocolo de operação a laser no qual a duração de  $\Delta t_3$  excede significativamente a duração de  $\Delta t_2$ . Em outras palavras, o tempo pelo qual um nível de potência reduzido é usado é vários múltiplos do tempo para o qual o nível de potência total ou superior é usado (a potência superior pode ou não ser a potência operacional total da qual o laser é capaz). Os resultados experimentais no topo e na parte inferior das Tabelas 1 e 2, em que  $\Delta t_3$  é o mesmo que ou apenas 2 ou 2,5 vezes mais longo do que  $\Delta t_2$ , deram resultados mais pobres em termos de baixa resistência ao descolamento e/ou alta resistência. Por outro lado, os resultados da parte do meio das Tabelas 1 e 2 correspondem aos melhores resultados. Uma quantidade inicial de energia na potência máxima é entregue durante  $\Delta t_2$  para dar início ao aquecimento e fusão, e, em seguida, uma quantidade reduzida de energia é entregue ao longo de uma escala de tempo mais longa  $\Delta t_3$  para sustentar a propagação de calor e a condição de fundido e dar tempo para os nódulos se formarem, sem fornecer uma quantidade excessiva de energia que possa danificar qualquer componente ou causar muito derretimento. A partir dos



resultados, um regime em que a razão  $\Delta t_2$  para  $\Delta t_3$  é maior que ou igual a 1:3 ou maior que ou igual a 1:4 pode ser considerado útil. Além disso, a entrega demasiada de energia, mesmo a uma baixa potência, pode ser prejudicial, assim, um limite superior também pode ser considerado, por exemplo, uma razão de entre 1:4 e 1:8, ou entre 1:3 e 1:8 (a última razão nesses intervalos são os mais altos dos dados experimentais). Dentro deste intervalo, razões mais elevadas correspondem aos melhores resultados na Tabela 2, assim, em algumas concretizações, a razão pode ser ajustada para estar no intervalo entre 1:6 e 1:8.

[0063] Em outros experimentos, razões muito maiores foram descobertas para produzir bons resultados. Em alguns experimentos, o alto nível de potência estava na faixa de 1,2 kW e 1,4 kW. Um nível de potência elevado como este pode ser fornecido entre 0,1 ms e 0,2 ms, e um nível de potência mais baixo, por exemplo, 50% do nível de potência alto, pode então ser fornecido por mais 4 ms a 8 ms. A potência mais baixa é fornecida por 20 ou 40 ou 80 vezes mais que a potência maior. Assim, a razão de  $\Delta t_2$  para  $\Delta t_3$  pode, em alguns casos, ser 1:20 ou acima, ou 1:40 ou acima, ou 1:80 ou acima, ou na faixa de 1:20 a 1:80, ou 1:20 a 1:40, ou 1:40 a 1:80. Razões entre estes valores e as razões menores discutidas acima também podem ser usadas, por exemplo, no intervalo de 1:10 a 1:15.

[0064] No geral, portanto, um método de soldagem pode ser implementado com uma razão de  $\Delta t_2$  para  $\Delta t_3$  na faixa de 1:3 a 1:80, embora isso não seja limitante.

[0065] Os experimentos usaram uma potência reduzida durante  $\Delta t_3$  de 50% da potência total em  $\Delta t_2$ . Entretanto, resultados úteis

também podem ser obtidos para outros níveis reduzidos de energia, por exemplo, em uma faixa com um limite inferior de 30% ou 35% ou 40% ou 45% e um limite superior de 55% ou 60% ou 65% ou 70%. Além disso, o estágio de potência reduzida pode ser omitido, de modo que durante  $\Delta t_3$ , a potência total é aplicada, ou, pelo menos, a mesma potência que durante  $\Delta t_2$ . Uma solda ainda será alcançada. Note que "potência total" e 100% de energia não significa necessariamente a potência total que o laser é capaz de produzir, mas sim o nível de potência utilizado durante o período  $\Delta t_2$ , e para o qual a potência de funcionamento é aumentada durante o período  $\Delta t_1$ . Dependendo do tipo de laser utilizado, qualquer período de rampa pode ser mais ou menos significativo, ou um sistema de fechamento pode ser empregado para proteger a peça de trabalho durante o estágio de ligação e, portanto, eliminar a rampa do protocolo de fornecimento de energia. Para os exemplos experimentais correspondentes aos resultados preferidos, a duração do período de rampa  $\Delta t_1$  é o mesmo que o período de rampa  $\Delta t_2$ ; isso não é essencial, no entanto.

[0066] Também a partir dos resultados experimentais pode-se observar que os níveis de potência durante o período do nível de potência total que não excedeu 1,8 kW deram bons resultados. Verificou-se que os níveis de potência de 1,8 kW e acima tendem a dar uma solda pior, em particular em termos de alta resistividade elétrica. Além disso, os níveis de potência muito baixos requerem um longo tempo de soldagem, e abaixo de um limiar não vai produzir aquecimento suficiente para causar o grau necessário de fusão. Níveis de energia de cem por cento na faixa de 1 kW a menos de 1,8 kW são considerados particularmente úteis.

Um nível de potência total na faixa de 1,2 kW a 1,6 kW também pode ser usado, ou na faixa de 1,2 kW a 1,4 kW. Lembrando a estrutura mostrada no exemplo da Figura 6, na qual a redução de energia produz mais nódulos com menos fibras por nódulo, isso pode ser alcançado com níveis de potência total de 1,5 kW e abaixo, por exemplo, entre 1,0 kW e 1,5 kW. O nível de potência deve ser modificado de acordo com o tipo de metal, o comprimento de onda do laser e a espessura do componente metálico sólido, como o versado na técnica notará. Assim, as concretizações da invenção não estão limitadas aos níveis de potência citados acima; estes são apenas exemplos.

[0067] Lembre-se que para estes experimentos o componente metálico sólido tinha uma espessura de 0,2 mm e o componente metálico poroso tinha uma espessura de 0,16 mm. Claramente, um componente metálico sólido com uma espessura muitas vezes maior que 0,2 mm inibirá a soldagem bem-sucedida nos regimes de potência e energia discutidos acima, porque o raio laser será absorvido longe da região de interface e a propagação térmica pode não ser adequada para fundir o metal na região da interface. No entanto, espera-se que um componente metálico sólido com uma espessura na faixa de 0,05 mm a 0,5 mm, por exemplo, 0,05 mm a 0,5 mm, 0,05 mm a 0,45 mm, 0,05 mm a 0,4 mm, 0,05 mm a 0,35 mm, 0,05 mm a 0,3 mm, 0,05 mm a 0,25 mm, 0,1 mm a 0,5 mm, 0,1 mm a 0,45 mm, 0,1 mm a 0,4 mm, 0,1 mm a 0,35 mm, 0,1 mm a 0,3 mm, 0,1 mm a 0,25 mm, 0,15 mm a 0,5 mm, 0,15 mm a 0,45 mm, 0,15 mm a 0,4 mm, 0,15 mm a 0,35 mm, 0,15 mm a 0,3 mm, ou 0,15 mm a 0,25 mm será soldado com sucesso utilizando os protocolos discutidos. A espessura do componente metálico poroso é considerada menos significativa, uma vez que o laser e a energia de calor não têm

que passar por essa camada para formar a solda. Em vez disso, pode haver circunstâncias em que a espessura do componente metálico poroso possui maior interesse, pois se for muito fina, a solda também pode causar pelo menos uma ligação parcial da peça de trabalho a qualquer componente adicional por baixo do componente metálico poroso, isto é, oposta ao feixe de raio laser incidente. Isto pode surgir do metal fundido no nódulo passando através de toda a espessura do componente poroso, ou da fusão ou amolecimento das tiras metálicas no componente metálico poroso, ou da fusão ou amolecimento do material do componente adicional, por exemplo. Qualquer tal ligação pode ou não ser de interesse, e em alguns casos pode ser benéfica. Isso pode ser resolvido segurando-se a peça de trabalho separadamente durante a soldagem, em vez de montar o componente metálico poroso com outros componentes que estão por baixo dele antes da soldagem. Nos presentes exemplos de interesse, no entanto, o componente metálico poroso pode ter uma espessura na faixa de 0,15 mm a 0,17 mm, 0,14 mm a 0,18 mm, 0,13 mm a 0,19 mm ou 0,12 mm a 0,2 mm, 0,1 mm a 0,22 mm ou 0,08 a 0,24 mm, por exemplo.

[0068] Para aplicações em que a solda é necessária para fornecer uma conexão elétrica, uma baixa resistividade elétrica é de interesse. Concretizações da presente invenção são capazes de alcançar uma resistência de 10 mOhms ou menos. Valores de resistência entre 10 mOhms e 20 mOhms podem ser interessantes em alguns dispositivos.

[0069] É desejável durante qualquer processo de soldagem, incluir soldagem a laser, para evitar a formação de bolsas de ar na junta de solda. Isso pode ser resolvido na soldagem a laser,

aplicando compressão durante a soldagem. No presente caso, a compressão deve ser usada com cautela devido à presença do componente metálico poroso. Uma compressão em excesso pode permanentemente esmagar e, portanto, danificar a estrutura do material poroso, reduzindo sua porosidade, aumentando a densidade e, possivelmente, tornando-o impróprio para o propósito a que se destina. Portanto, se for verificado que, quando se utilizam concretizações da invenção, é necessário eliminar a formação de bolsas de ar, pode ser aplicada a compressão a uma força entre 0,1 N e 5,0 N. Pode ser verificado que nenhuma compressão é necessária, isto é, uma força de 0 N. Em geral, então, uma força de compressão entre 0 N e 5 N inclusive pode ser aplicada através da região de interface durante a aplicação do feixe de laser para formar a solda. Forças desta magnitude são adequadas para o tipo de componente metálico poroso utilizado nos experimentos aqui descritos. Forças mais elevadas podem ser usadas se o componente metálico poroso puder resistir a elas, ou se um possível dano estrutural for menos importante.

[0070] Para aumentar a absorção da energia do laser pelo metal durante o processo de soldagem, todas as superfícies altamente refletivas podem ser eliminadas. Por exemplo, quaisquer revestimentos ou camadas refletoras podem ser removidos da superfície dos componentes na região de interface, e qualquer polimento de superfície pode não ser empregado nas áreas da região de interface. O tratamento de superfície especificamente para reduzir a refletividade também pode ser usado.

[0071] As várias concretizações aqui descritas são apresentadas apenas para ajudar a compreender e ensinar as

características reivindicadas. Estas concretizações são fornecidas apenas como amostra representativa de concretizações e não são exaustivas e/ou exclusivas. Deve ser entendido que as vantagens, concretizações, exemplos, funções, características, estruturas e/ou outros aspectos aqui descritos, não devem ser considerados limitações no escopo da invenção como definidas pelas reivindicações ou limitações em equivalentes das reivindicações, e que outras concretizações podem ser utilizadas e modificações podem ser feitas sem sair do escopo da invenção reivindicada. Várias concretizações da invenção podem adequadamente compreender, consistir em, ou consistir essencialmente em combinações apropriadas dos elementos, componentes, características, partes, etapas, meios, etc., divulgados, além dos especificamente aqui descritos. Além disso, esta divulgação pode incluir outras invenções não reivindicadas no momento, mas que podem ser reivindicadas no futuro.

## REIVINDICAÇÕES

1. Método de soldagem a laser **caracterizado pelo fato de que** compreende:

colocar um componente metálico sólido (30) em contato com um componente metálico poroso em uma região de interface (34);

direcionar um feixe de laser (36) para o componente metálico sólido (30) para provocar o aquecimento e a fusão de uma ou mais porções (46) do componente metálico sólido (30) na região de interface (34); e

permitir que as porções metálicas fundidas (46) fluam para os interstícios no componente metálico poroso (32) e circundem porções (44) do componente metálico poroso (32) adjacentes aos referidos interstícios e então solidifiquem por arrefecimento de tal modo que as porções do componente metálico poroso (32) adjacente aos referidos interstícios sejam incorporadas no componente metálico sólido (30) e assim integradas no metal do componente metálico sólido (30), desse modo ligando o componente metálico sólido (30) e o componente metálico poroso (32);

em que o componente metálico poroso (32) compreende uma malha de fibras metálicas (44) sinterizadas em conjunto, e as porções do componente metálico poroso (32) adjacentes aos referidos interstícios, as quais são incorporadas e integradas no metal do componente metálico sólido (30), são fibras metálicas (44).

2. Método de acordo com a reivindicação 1 **caracterizado pelo fato de que** um ou ambos o componente metálico sólido (30) e o componente metálico poroso (32) compreendem aço inoxidável.

3. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 ou reivindicação 2 **caracterizado pelo fato de que** o feixe de laser (36) é operado por um primeiro período de tempo ( $\Delta t_2$ ) a uma alta saída de nível de potência e, em seguida, por um segundo período de tempo ( $\Delta t_3$ ) inferior a um nível de saída de potência menor do que o nível de saída de potência alto.

4. Método de acordo com a reivindicação 3 **caracterizado pelo fato de que** o primeiro período de tempo e o segundo período de tempo têm durações com uma razão no intervalo de 1:3 a 1:80.

5. Método de acordo com a reivindicação 3 ou reivindicação 4 **caracterizado pelo fato de que** o nível de potência saída inferior está entre 40% e 60% do nível de saída de potência alto.

6. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações 3 a 5 **caracterizado pelo fato de que** o primeiro período de tempo é precedido por um período inicial ( $\Delta t_1$ ) durante o qual o nível de saída de potência do laser é aumentado de zero para o nível de saída de potência alto.

7. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações 3 a 6 **caracterizado pelo fato de que** o nível de saída de potência elevada está no intervalo de 1 kW a menos de 1,8 kW.

8. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 7 **caracterizado pelo fato de que** o feixe de laser (36) fornece uma quantidade total de energia aos componentes metálicos na gama de mais de 4,5 J a menos de 8,0 J.



9. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 8 **caracterizado pelo fato de que** o método compreende ainda a aplicação de uma força através da região de interface (34) para comprimir o componente metálico sólido (30) e o componente metálico poroso (32) enquanto o feixe de laser (36) é direcionado para o componente metálico sólido (30).

10. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 8 **caracterizado pelo fato de que** o componente metálico sólido (30) tem uma espessura na gama de 0,05 mm a 0,5 mm.

11. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 8 **caracterizado pelo fato de que** o componente metálico sólido (30) é um contato elétrico (14, 16) e o componente metálico poroso (32) é um elemento de aquecimento (12) para a formação de um aerossol a partir de um líquido em um sistema de fornecimento de aerossol.

12. Conjunto **caracterizado pelo fato de que** compreende um componente metálico sólido (30) e um componente metálico poroso (32) ligados em conjunto em uma solda a laser por porções (44) do componente metálico poroso (32) adjacente a interstícios no componente metálico poroso (32) que são incorporadas e integradas em pelo menos uma porção (46) do componente metálico sólido (30) que entrou nos interstícios e circundou as porções do componente metálico poroso (32) adjacentes aos referidos interstícios, em que o componente metálico poroso (32) compreende uma malha de fibras metálicas (44) sinterizadas em conjunto e as porções do componente metálico poroso (32)

adjacentes aos referidos interstícios, as quais são incorporadas e integradas, ao menos, na porção do componente de metal sólido (30), são fibras metálicas (44).

13. Conjunto **caracterizado pelo fato de que** compreende um componente metálico sólido (30) e um componente metálico poroso (32) que inclui uma malha de fibras metálicas (44) sinterizadas em conjunto, que foram ligados em conjunto em uma solda por um método de soldagem a laser conforme definido em qualquer uma das reivindicações 1 a 11.

14. Conjunto de acordo com a reivindicação 12 ou reivindicação 13 **caracterizado pelo fato de que** a solda tem uma resistência elétrica à corrente elétrica que flui de um dentre o componente metálico sólido (30) e o componente metálico poroso (32) em comparação ao outro componente de 10 mOhms ou menos.

15. Método de soldagem a laser **caracterizado pelo fato de que** compreende:

dispor um componente metálico sólido (30) em contato com um componente metálico poroso compreendendo uma pluralidade de tiras de metal (44) sinterizadas;

direcionar um feixe de laser (36) para o componente metálico sólido (30) para fornecer energia a ele;

permitir que a energia aqueça e funda pelo menos uma porção do componente metálico sólido (30) que está em contato com o componente metálico poroso (32), de modo que o metal fundido flua em torno das tiras de metal (44) no componente metálico poroso (32);

remover o raio laser (36); e

resfriar o metal derretido que fluiu em torno das tiras de metal (44) de modo que as tiras de metal (44) sejam incorporadas no componente metálico sólido (30) para ligá-lo ao componente metálico poroso (32).

FIGURA 1

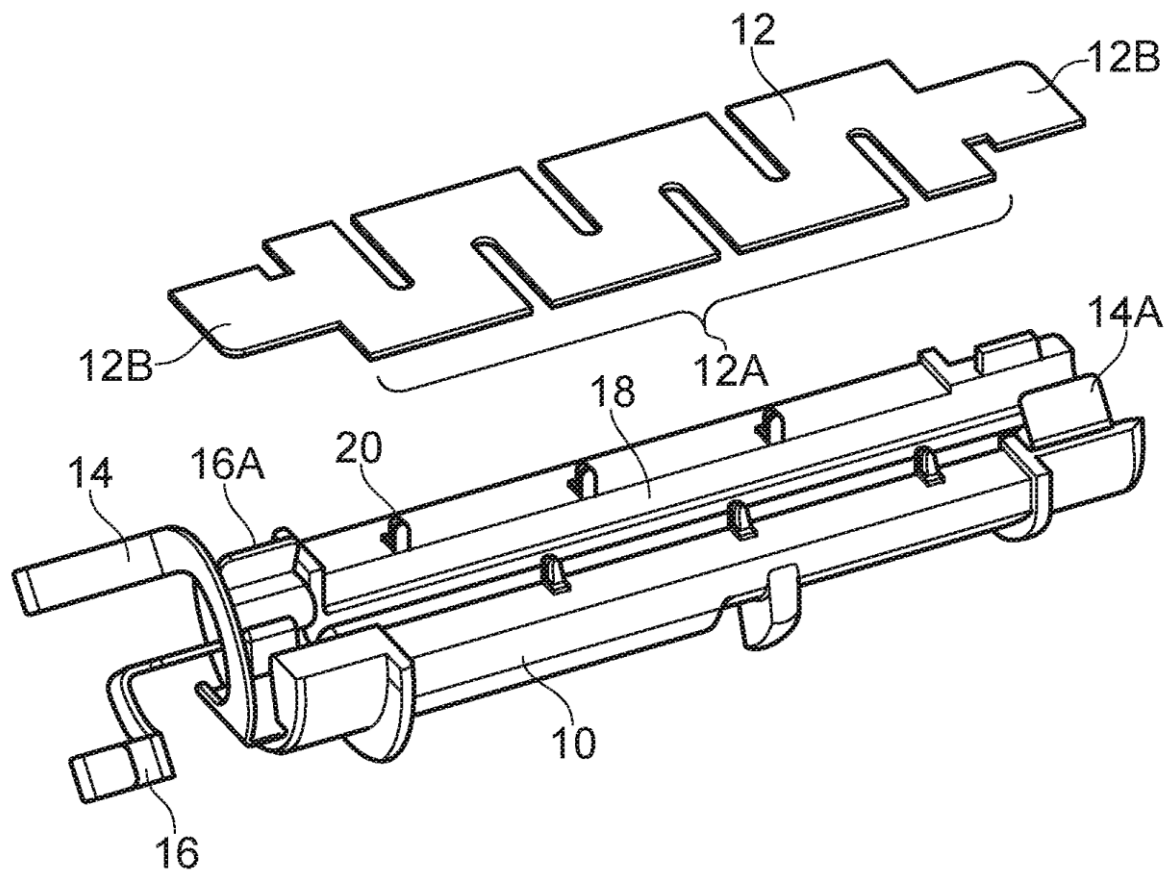


FIGURA 2

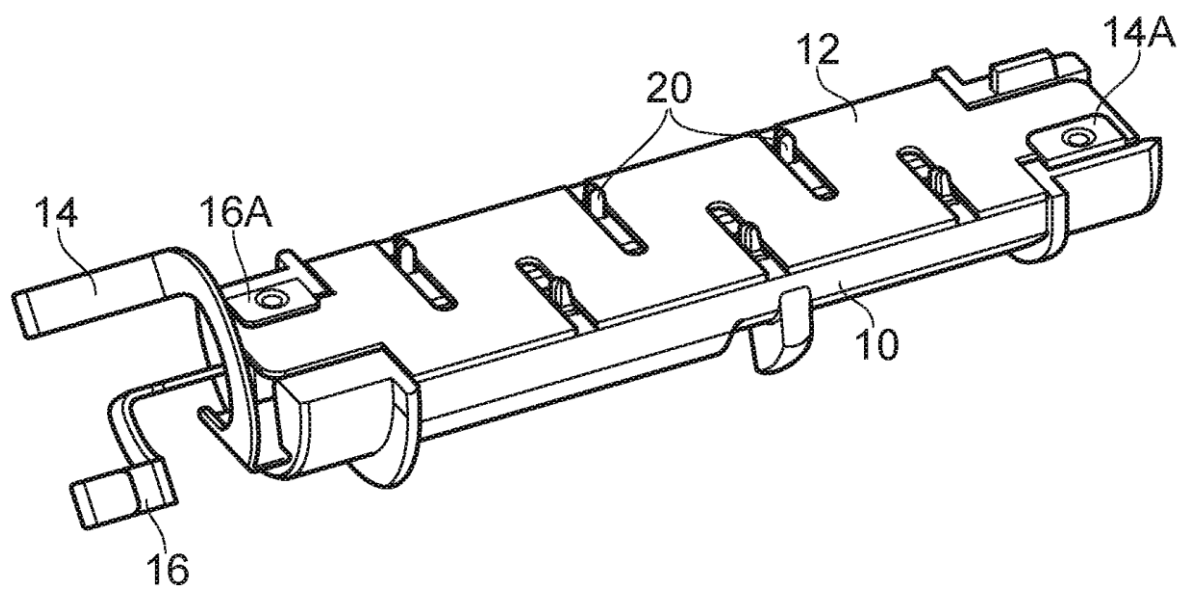


FIGURA 3

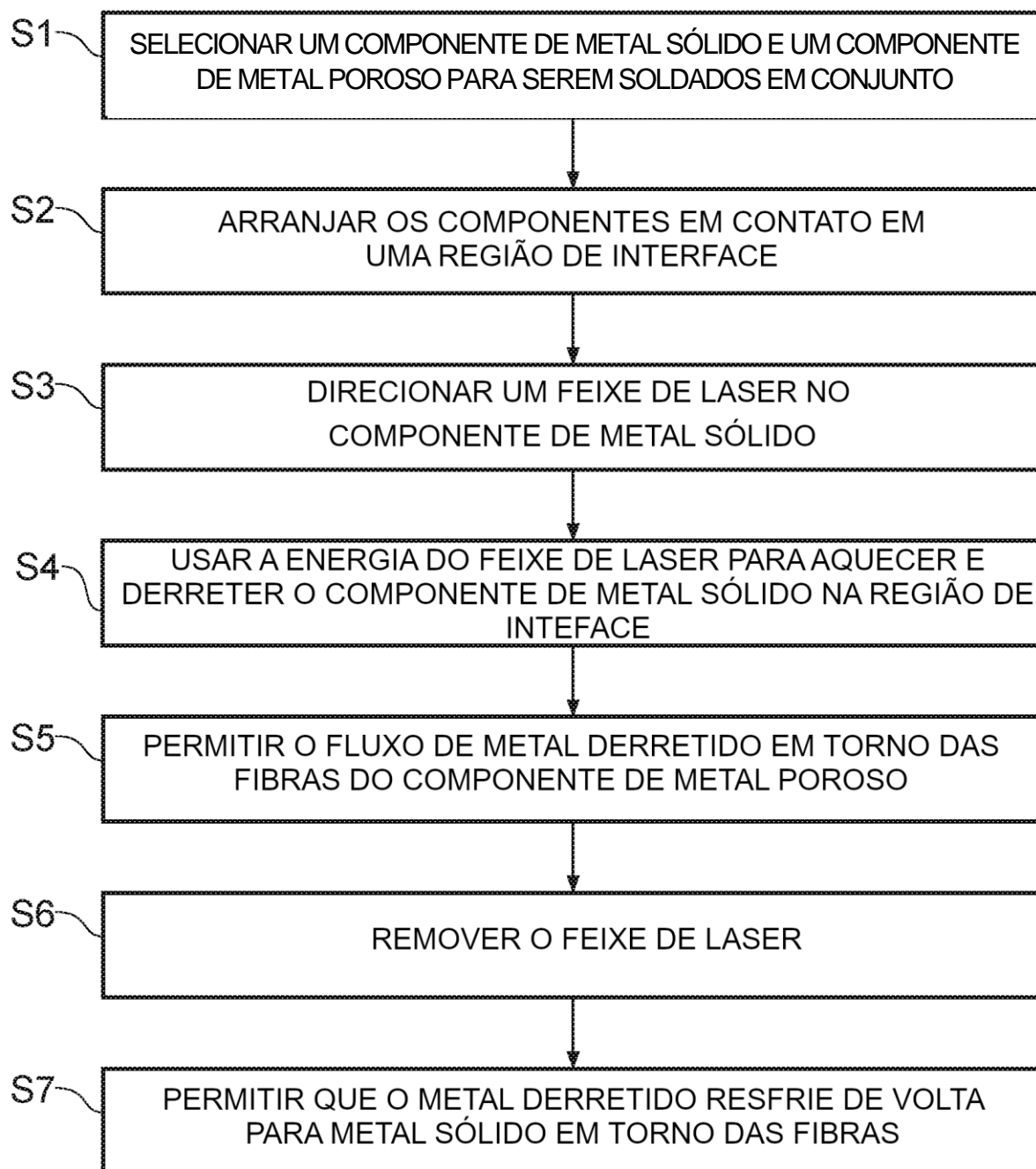


FIGURA 4

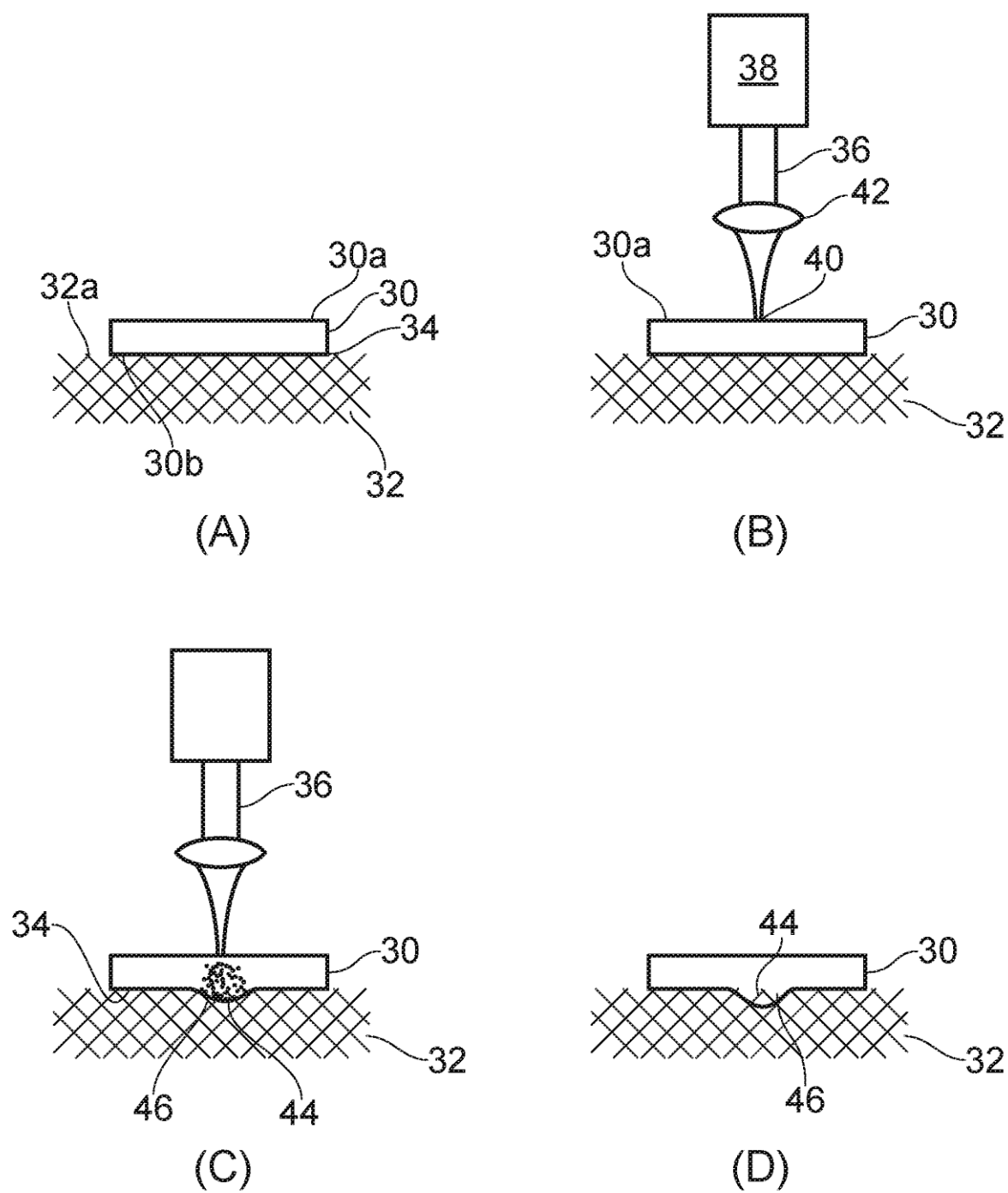


FIGURA 5

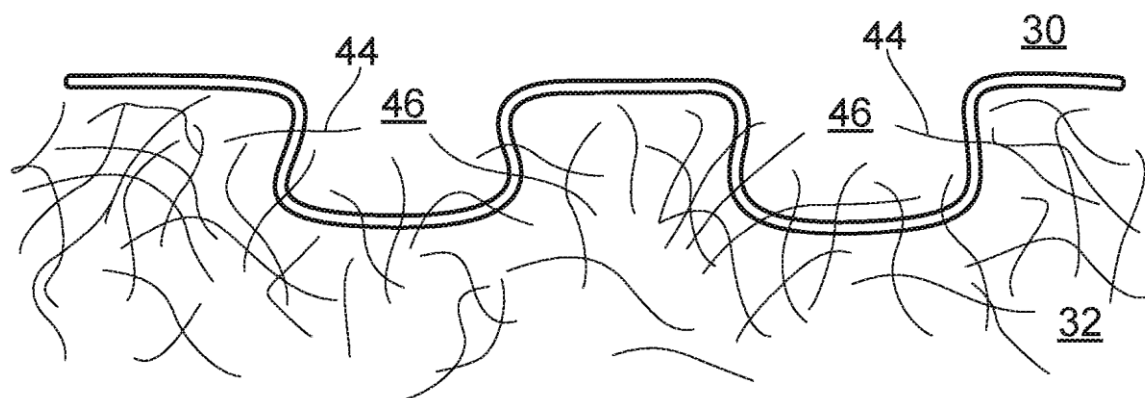


FIGURA 6

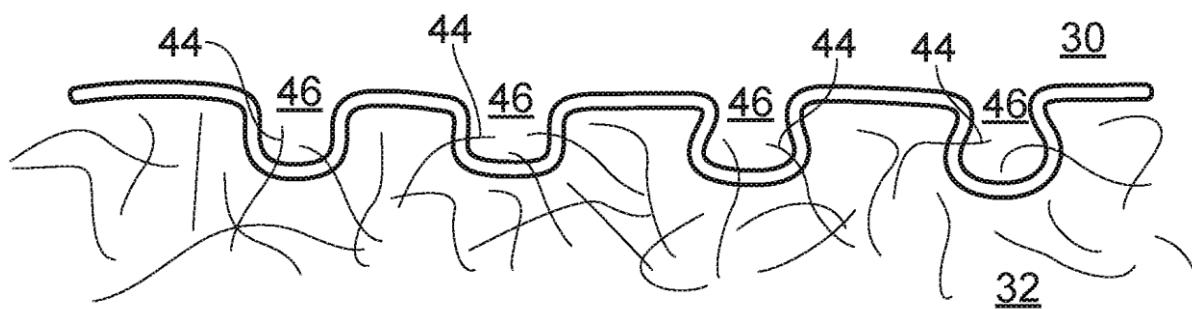


FIGURA 7

