



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

(11) PI 1007891-6 B1



* B R P I 1 0 0 7 8 9 1 B 1 *

(22) Data do Depósito: 18/01/2010

(45) Data de Concessão: 09/03/2021

(54) Título: MÉTODOS PARA PERFURAR MATERIAL

(51) Int.Cl.: B23K 26/38; G05B 19/00; B23B 35/00; B64C 21/06.

(30) Prioridade Unionista: 22/01/2009 GB 0901006.7.

(73) Titular(es): CAV ADVANCED TECHNOLOGIES LIMITED.

(72) Inventor(es): BRYAN HUMPHREYS.

(86) Pedido PCT: PCT GB2010050068 de 18/01/2010

(87) Publicação PCT: WO 2010/084339 de 29/07/2010

(85) Data do Início da Fase Nacional: 22/07/2011

(57) Resumo: METODO PARA PERFURAR MATERIAL. Método para perfurar furos através de um material sólido de tal maneira que os dados furos em uma primeira área um primeiro perfil e uma distribuição e furos em uma segunda área um segundo perfil e distribuição compreendem as etapas de: - definir uma primeira área em que os furos tenham um primeiro perfil e distribuição; - definir uma segunda área em que os furos tenham um segundo perfil e distribuição pelo menos uma diferente daquela da primeira área; - definir a área de transição na qual os furos têm um perfil e/ou distribuição conforme o caso pode ser que sofra uma transição contínua e gradual daquela na primeira área para aquela da segunda área; - perfurar furos em toda a primeira área, zona de transição e a segunda área através de um processo contínuo.

“MÉTODO PARA PERFURAR MATERIAL”

[001] Esta invenção refere-se a um método e aparelho para a perfuração de um material sólido, e em particular um material de metal em chapa, por irradiação de feixe de laser. A invenção relata particularmente, mas não exclusivamente, a perfuração de microfuros em liga de titânio e alumínio, aço inoxidável ou outro metal ou material em chapa combinado, por exemplo, para componentes aeroespaciais.

[002] Para proporcionar uma redução efetiva resistente em relação a certos componentes aeroespaciais para aeronave, sabe-se que para perfurar grandes disposições de microfuros em uma estrutura em chapa do componente tal como uma asa de aeronave e bordas dianteiras de superfície da calda de forma a proporcionar um fluxo laminar sobre a superfície para reduzir a resistência. Tipicamente, os furos são requeridos em dezenas de microns em diâmetro em folhas de liga de titânio e alumínio que podem ser um milímetro espesso ou mais.

[003] A necessidade de maior disposição e um controle de processo consistente levou ao desenvolvimento de um aparelho e método de perfuração com base em irradiação de feixe de laser. As técnicas de perfuração a laser usando um laser exímero ou um Nd-YAG são conhecidas como exemplo. O material em chapa é montado em uma estrutura de suporte compatível e meios de perfuração de fonte de laser são indexados relativo à chapa bidimensional, por exemplo, pelo movimento da estrutura de suporte, por exemplo, sob controle de computador, para uma disposição padrão desejada. Um feixe é direcionado de maneira focada, normalmente, na superfície. A energia de feixe incidente remove o material por ablação e/ou vaporização de maneira localizada para criar a disposição desejada de microfuros.

[004] O formato característico e particularmente contínuo do perfil de um furo resultante depende em particular, da espessura da chapa, energia de feixe, qualidade de feixe e características de foco de feixe e a distribuição de energia temporal. Para produzir perfis contínuos controlados consistentemente em uma área disposta consistente o controle de foco do feixe torna-se importante. Torna-se desejável em particular manter um controle rigoroso sobre a distância entre a fonte de laser e a superfície em chapa e/ou controlar o foco da fonte de laser para acomodar as

variações na distância entre a fonte de laser e a superfície em chapa.

[005] O material desperdiçado produzido no processo de perfuração, especialmente no lado de colisão do material sólido com o laser, e a maneira em que se lida com isso, pode ser uma questão neste relatório. Tipicamente, isto pode ser dispersado por meio de fluxo de gás direto na superfície do material sob pressão na proximidade da área perfurada para limpar a ablação e/ou vaporização de material desta proximidade e/ou manter a cabeça livre de detritos. O gás também ejeta material do outro lado da folha onde o furo foi criado e previne a tensão de superfície que tende a deformar o material para fechar o furo. O fluxo de gás é tipicamente um gás inerte relativamente, tal como o argônio.

[006] O fluxo de gás impacta a superfície em chapa. Isto pode causar um deslocamento e/ou flexionamento. Isto pode tornar mais difícil manter a precisão do foco que é desejável para a produção de furos consistentes, já que a distância entre o laser e a superfície em chapa em movimento pode ser difícil de se manter a precisão. Para a aplicação de fluxo de ar em particular, o tamanho, a distribuição e as propriedades de fluxo de ar dos furos são perigosos para o desempenho. A consistência do foco é, entretanto de significância. O requerimento de manter o controle de foco significa que a vazão de gás pode ser uma taxa limitando parte do processo.

[007] Além disso, o desejo de usar um gás inerte relativamente, como o argônio, pode tornar o processo dispendioso.

[008] Além disso, há um desejo geral de proporcionar um método e aparelho para perfurar uma perfuração em um material sólido por irradiação de feixe de laser que pelo menos reduz um ou mais dos problemas acima e que permite a perfuração de largas disposições de furos em um tempo curto com controle prático de consistência de diâmetro de furo, através de perfil e distribuição e a um custo prático para um aplicativo industrial.

[009] De acordo com a invenção em um primeiro aspecto, um aparelho para criar um furo em um material em chapa sólido por irradiação de feixe de laser compreende:

[0010] - uma fonte de radiação a laser;

[0011] - um aparelho de foco para colidir o feixe de

radiação a laser da fonte para a superfície do material em chapa sólido no qual furos serão formados em uso;

[0012] - segurar um dispositivo para segurar tal material em chapa sólido;

[0013] - no local onde o dispositivo de segurança é estruturado para segurar o material em chapa em uma configuração arqueada.

[0014] Em conhecimentos prévios de aparelhos de perfuração a laser, a chapa é mantida na posição horizontal e o movimento relativo entre a chapa na posição horizontal e um feixe de laser direcionado normalmente colidindo com a superfície da chapa é usado para criar um padrão de furos perfurados por ablação e/ou vaporização a laser do material. Os mesmos princípios gerais para formar furos são explorados pelo aparelho da presente invenção em uso. Entretanto, a chapa é segurada de tal forma que para ter uma arqueadura, em vez de uma estrutura plana horizontal, quando montada no dispositivo de segurança para a formação de furos.

[0015] Para um dado material em chapa e espessura de chapa, a disposição arqueada tende a dar maior rigidez à chapa do que uma disposição plana simples. Esta rigidez extra pode reduzir a tendência do material em chapa em flexionar durante a operação de formação de furo. Esta é uma vantagem particular onde o material desperdiçado, geralmente pelo processo é dispersado e/ou coletado por meios de fluxo de gás direcionados na superfície do material sob pressão. A rigidez extra conferida pela configuração de chapa em arqueadura pode reduzir a tendência da chapa se mover ou flexionar sob influência deste fluxo de gás. Reduzindo a tendência do material de se mover ou flexionar montando-o em uma configuração mais rígida faz-se mais fácil manter um controle mais preciso da distância entre a superfície em folha e a fonte de laser, e em seguida um foco mais preciso e consistente do feixe. A configuração arqueada também previne deformação e “ondulação” devido ao acúmulo de tensão de tração no plano da chapa que pode ser causado por contração de material fundido durante o resfriamento geralmente em torno da superfície criada para os furos. Potencialmente, são produzidos furos perfurados mais consistentes. Potencialmente, taxas mais rápidas de rendimento podem ser possíveis sem muita perda de consistência de foco e ainda de consistência

de tamanho, formato e propriedades.

[0016] Uma disposição onde o material em chapa é carregado em uma configuração arqueada em vez de totalmente plana também é potencializadamente mais compacta para um dado tamanho de chapa, que pode, por exemplo, reduzir a pegada de uma dada parte do aparelho, conferindo vantagens adicionais.

[0017] Os furos perfurados são formados no material em chapa através da espessura, ou seja, a dimensão mínima do material em chapa. Isto pode ser realizado de muitas formas. Por exemplo, a fonte de radiação a laser deve ser colocada em uso para transmitir um feixe de radiação a laser em uma direção de eixo perpendicular a um longitudinal do material em chapa ou pode ser colocado em uso para transmitir um feixe de radiação a laser a um ângulo entre 10 e 90 graus a um tangente de um ápice do material em chapa.

[0018] Alternativamente, o dispositivo de segurança pode ser estruturado para segurar o material em chapa relativo à fonte de radiação a laser em uso de tal forma que um feixe de radiação a laser transmitido pela fonte em uma direção substancialmente paralela a espessura do material em chapa ou pode ser estruturada para segurar o material em chapa em uso em uma configuração arqueada por meio de uma força de flexão aplicada em uma direção substancialmente paralela ao feixe de radiação a laser transmitido pela fonte.

[0019] O dispositivo de segurança é estruturado para segurar o material em chapa em uma configuração arqueada, na qual o material em chapa não é mais apresentado de forma plana, mas é ainda presente durante o uso com uma superfície curvada que é continuamente curvada em pelo menos uma direção. O dispositivo de segurança define pelo menos um número de pontos de segurança onde a chapa é engajada o suficiente para manter o formato durante o uso. Por exemplo, uma superfície em chapa em uso é configurada para ter uma superfície cilíndrica ou parte dela. Por exemplo e/ou os pontos de segurança ali podem definir um tambor cilíndrico ou uma parte dele. Em uma configuração particular conveniente, a superfície cilíndrica ou parte dela é uma superfície de um cilindro circular, mas qualquer curva contínua que dê maior rigidez do que uma simples configuração plana pode ser considerada sem partir dos princípios da invenção. Em uma configuração

alternativa, os furos de segurança estão em forma de guia através do qual o material em chapa é mantido.

[0020] Usualmente, uma superfície convexa é apresentada a uma cabeça de trabalho a laser (que é, quando montada para a formação de furo o lado de colisão do material sólido é convexo). Entretanto, também é possível perfurar uma superfície côncava (exemplo, internamente de um cilindro). Isto será geralmente desejado para o dispositivo de segurança e a fonte a laser para ser tão justaposto que o aparelho de focagem cause um feixe de radiação a laser da fonte a colisão na superfície de material em chapa sólido no qual furos estão para serem formados em uso em uma direção substancialmente normal à superfície, mas isso pode, nem sempre, ser o caso e alguns outros ângulos podem ser preferidos.

[0021] O dispositivo de segurança é preferencialmente rotacional sobre um eixo longitudinal e assim habilitar diferentes partes da superfície em chapa a serem apresentadas seletivamente a radiação a laser. Adicionalmente ou alternativamente o dispositivo de segurança é preferencialmente montado em cooperação com a fonte de laser para habilitar o movimento relativo e especialmente indexar o movimento entre a superfície da chapa e a fonte de laser e assim permitir ao feixe de laser colidir seletivamente em diferentes áreas da superfície em chapa. Por exemplo, o dispositivo de segurança é preferencialmente montado em cooperação com a fonte de laser para habilitar o movimento relativo entre os mesmos em pelo menos uma direção em um plano perpendicular para uma direção de feixe. Mais preferencialmente, o movimento relativo é habilitado através do plano perpendicular para a direção do feixe, por exemplo, em duas direções ortogonais. Além disso, no caso preferido, o movimento relativo em um plano perpendicular x , y para um dispositivo de direcionamento e rotação de feixe juntos permitem que diferentes partes da superfície em chapa sejam apresentadas seletivamente a radiação a laser para criar uma disposição compatível de furos.

[0022] Adicionalmente, o dispositivo de segurança e a fonte de laser são preferencialmente relativamente montados de forma a permitir a variação da distância relativa entre eles em uma direção paralela z a uma direção de feixe. Por exemplo, este movimento pode ser usado para focar o feixe na superfície de trabalho. Tipicamente, o tamanho do próprio foco não muda. O foco é alcançado pelo

movimento posicional das lentes de focagem (o feixe de laser é colimado) ou mudando totalmente o laser para distância da peça de trabalho se as lentes forem fixadas relativas ao laser.

[0023] O aparelho facilita compreender meios de direção para a eficácia do movimento relativo do dispositivo de segurança (e além disso a superfície em chapa) e a fonte de laser, por exemplo em um par de direções ortogonais perpendiculares a uma direção de feixe e/ou através de rotação do dispositivo de segurança para assim apresentar diferentes áreas da superfície da chapa seletivamente e sucessivamente para o processamento e/ou em uma direção paralela a uma direção de feixe para variar a distância da superfície/fonte.

[0024] Meios de controle compatíveis podem ser proporcionados para controlar os meios de direção para a eficácia do movimento relativo do dispositivo de segurança e fonte de laser e, além disso, perfurar um padrão desejado de múltiplos microfuros de forma familiar.

[0025] Em uma personificação preferida, o dispositivo de segurança é desmontado do aparelho para o carregamento e o descarregamento do material em chapa. Isto pode, por exemplo, habilitar uma chapa a permanecer carregada no tambor para facilitar outros processos de fabricação antes de ou subsequente para a perfuração dos furos.

[0026] Convenientemente, a fonte de laser é adaptada para transmitir radiação pulsada na superfície de um material em chapa sólido a ser perfurado.

[0027] Uma fonte de laser compatível inclui um laser Nd-YAG.

[0028] Uma fonte única pode ser adaptada em conjunção com aparelhos de focagem associados para transmitir um único feixe de focagem colidindo com a superfície de material em chapa sólido ou pode, por exemplo, pelo fornecimento de um feixe dividido, ser adaptado para fornecer muitos feixes, para perfurar muitos furos em uma única operação.

[0029] Convenientemente, o material em chapa sólido a ser perfurado é metálico, e é por exemplo, uma liga de alumínio ou titânio, ou aço inoxidável.

[0030] O aparelho convenientemente facilita compreender os meios para dispersar e/ou coletar o material desperdiçado produzido pelo processo de perfuração. Convenientemente, tais meios incluem uma fonte de jato de gás para soprar um jato de gás sob pressão através da superfície de material sólido na proximidade do volume em que um furo está sendo formado. A fonte de gás pode inicialmente limpar a superfície do material e/ou limpar o dispositivo a laser de detritos e finalmente também soprar através e limpar os detritos de um furo perfurado.

[0031] Um sistema coletor de gás pode ser proporcionado para coletar o gás depois da colisão na superfície do e/ou passagem através do material em chapa, por exemplo, para proporcionar um meio de coletar e extrair o material de perfuração desperdiçado dentro do gás mencionado. Em uma personificação conveniente, o sistema coletor de gás é adaptado para recircular o gás para reuso.

[0032] Em uma personificação preferida particularmente, o aparelho compreende um invólucro ambiental que define um ambiente substancialmente isolado fluidamente. Isto pode facilitar o processo de reciclagem acima, e/ou tornar o processo mais limpo por efetuar a contenção dos detritos produzidos pela ablação e/ou vaporização a laser de material durante a perfuração. É uma vantagem particular da disposição arqueada em que a chapa é segurada pelo aparelho da presente invenção que para uma dada área da chapa a estrutura é inerente com probabilidade de ser mais compacta e, portanto, mais facilmente contida nesta forma.

[0033] Será apreciado que tal contenção substancial de fluido não necessita ser absoluta. O processo de perfuração a laser ao qual a invenção se refere não é geralmente realizada sob uma atmosfera controlada e isolada especificamente, na forma de processos requerendo uma atmosfera totalmente inerte, ou requerendo um vácuo. Um grau de invólucro que isola o volume de trabalho a um grau significativo ainda conferirá vantagens.

[0034] De acordo com a invenção em outro aspecto, um método de criar furos em um material em chapa sólido por irradiação de feixe a laser compreende as etapas de:

[0035] - montar o material em chapa em um aparelho de

segurança no qual é segurado em uma configuração arqueada;

[0036] - irradiar a superfície do material sólido com a radiação de feixe a laser para perfurar um furo ali por ablação e/ou vaporização do material.

[0037] Na prática, as etapas acima são repetidas em uma grande quantidade de vezes para perfurar uma pluralidade de disposições de furos.

[0038] Os furos perfurados através do material sólido são através da mínima dimensão do material em chapa, ou seja, através de sua espessura. Para alcançar isto, o feixe de radiação a laser deve ser transmitido em uma direção de eixo perpendicular para um eixo longitudinal do material em chapa, o feixe da radiação a laser pode ser transmitido a um ângulo entre 10 e 90 graus para uma tangente de um ápice do material em chapa, o material em chapa pode ser segurado de forma que o feixe de radiação a laser seja transmitido substancialmente paralelo a uma espessura do material em chapa ou o material em chapa pode ser segurado em uma configuração arqueada por meio de uma força de flexão aplicada em uma direção paralela ao feixe de radiação a laser.

[0039] Preferencialmente, a fonte de laser compreende uma fonte de irradiação a laser pulsada que pode ser sucessivamente colidida com a superfície do material sólido em uma pluralidade de múltiplas localizações para perfurar tal pluralidade de furos.

[0040] Preferencialmente, o método facilita compreender a etapa de movimento relativo da fonte de laser e a superfície em chapa entre cada etapa de perfuração assim como para perfurar uma pluralidade de furos. Em particular, a etapa de movimento relativo compreende movimento relativo em pelo menos uma direção e preferencialmente em duas direções ortogonais em uma superfície plana normal para a direção do feixe de laser, por exemplo, efetuando um movimento dos meios de segurança e/ou da fonte. Adicionalmente ou alternativamente, o movimento relativo compreende a rotação dos meios de segurança. Os furos podem ser perfurados tanto quando o material está se movendo quanto parado relativo ao laser.

[0041] Preferencialmente, o movimento relativo é de tal forma que em todas as vezes que a radiação a laser é colidida com a superfície do

material em chapa sólido em uma direção substancialmente normal para a superfície.

[0042] Convenientemente, o método facilita compreender a etapa de dispersão e/ou coleta de material desperdiçado soprando um jato de gás sob pressão na superfície do material sólido na proximidade do volume a ser perfurado. Preferencialmente o gás é um gás inerte e é, por exemplo, um argônio. Preferencialmente o método facilita compreender a coleta do jato de gás subsequente à colisão na superfície do material com a finalidade de extrair o material desperdiçado na perfuração contido no fluxo de gás e/ou com a finalidade de reciclagem do gás.

[0043] O método é em particular um método de operar um aparelho aqui acima descrito, e características adicionais preferidas do método serão entendidas por analogia com referência a descrição do aparelho.

[0044] Em uma personificação preferida, o aparelho inclui um meio para ajuste de foco dinâmico e o método compreende uma etapa de ajuste de foco dinâmico.

[0045] Nesta personificação, por exemplo, o aparelho facilita compreender:

[0046] - um dispositivo de medição de distância para medir a distância entre um ponto em uma relação fixada para uma fonte de radiação a laser e uma superfície de material sólido;

[0047] - meios de controle para ajustar o foco de um feixe dinamicamente para focar o feixe de laser baseado em uma medida de distância obtida por um dispositivo de medição de distância.

[0048] Por exemplo, um ponto em uma relação fixada para a fonte de radiação a laser é um ponto na cabeça de trabalho compreendendo uma fonte de radiação a laser. Por exemplo, a cabeça compreende um encaixe, pelo menos uma parte da superfície de que reveste o material sólido colidindo a superfície em uso é de baixa aderência ou de material anti-incrustante e/ou material dielétrico; e um dispositivo de medição de distância é adaptado para medir a distância entre um ponto fixado no ponto de revestimento e a superfície de material sólido.

[0049] De acordo com esta personificação, a capacidade de acoplamento entre um revestimento condutivo e uma chapa de metal sólido sendo trabalhada não é usada para medir distância. Entretanto, um dispositivo de medição

de distância separado em relação fixada com a fonte e, por exemplo, associada com o revestimento da cabeça de trabalho de forma a permitir a medição da distância entre a fonte e, por exemplo, um ponto fixado no revestimento e uma superfície de material em chapa em uso são substituídos. Esta medição de distância pode ser usada para ajustar os parâmetros de focagem, por exemplo, incluindo a distância entre a fonte e a superfície, meios de controle são adaptados para atuar.

[0050] Pelo menos a parte posterior do encaixe, revestindo a superfície colidida em uso, é preferencialmente um material de baixa aderência ou anti-incrustante, e/ou proporcionado com um acabamento anti-incrustante. Um revestimento ou acabamento pode ser de um material dielétrico tendo uma baixa condutividade elétrica. Convencionalmente, pelo menos a parte posterior do lado de colisão de laser, e opcionalmente o revestimento por completo, é moldado de ou tem uma superfície acabada aplicada compreendendo um material polímero tendo um baixo coeficiente de aderência tais como PTFE, HDPE. Uma cabeça de trabalho com uma área pequena PTFE de parte posterior é particularmente preferida.

[0051] O dispositivo de medição de distância é configurado para medir a distância de um ponto fixado relativo à fonte. Preferencialmente, o dispositivo de medição de distância compreende um meio para medir a distância de um ponto fixado para uma superfície diretamente.

[0052] Em uma possível alternativa o dispositivo de medição de distância pode ser um telêmetro mecânico.

[0053] Em outra possível alternativa o dispositivo de medição de distância pode ser um telêmetro de controle remoto baseado na recepção do retorno de um sinal projetado da superfície. Por exemplo, o dispositivo de medição de distância pode ser um telêmetro de luz como um telêmetro a laser. Alternativamente, por exemplo, o dispositivo pode ser um telêmetro acústico como um telêmetro ultrasônico. Em cada caso, um sinal é projetado pelo dispositivo em direção a superfície do material a ser trabalhado em uso e o sinal refletido é usado para dar uma indicação de distância.

[0054] O dispositivo de medição de distância é preferencialmente fixado relativo à fonte e, por exemplo, para um revestimento ali, por exemplo ser montado nela ou integralmente formada nela.

[0055] Por analogia nesta personificação, o método compreende as etapas adicionais de:

- medir a distância entre um ponto fixado associado com uma fonte de radiação e a superfície de material sólido;
- irradiar a superfície de material sólido com um feixe de radiação a laser diretamente da fonte, o feixe mencionado tendo sido focado de acordo com o medidor de distância então obtido.

[0056] O método nesta personificação envolve obter uma medição de distância direta da superfície do material a ser trabalhado e usar isto para realizar um ajuste dinâmico de foco de feixe a laser de colisão, para ajustar o foco para refletir a medição de distância, e em particular para assegurar um foco consistente para uma produção consistente de furos. O método envolve o ajuste de foco, por exemplo, variando a distância de superfície de fonte/material como desejado.

[0057] Em uma personificação preferida, o aparelho inclui um meio de monitorar as propriedades de um furo perfurado e meio de armazenar isto para variar os parâmetros de processo, e o método compreende um processo de etapa de ajuste de parâmetros baseado em tal resposta.

[0058] Nesta personificação, por exemplo, o aparelho facilita compreender:

[0059] - um módulo de controle para controlar parâmetros de processo relativos ao feixe incidente, por exemplo, incluir pelo menos a energia, duração e foco de um feixe incidente sobre uma superfície de material em chapa em uso;

[0060] - um monitor de furo adaptado para obter dados de propriedade de furos, por exemplo, relatar o perfil e/ou comportamento de fluxo de ar de um furo, como cada furo é criado;

[0061] - um módulo de resposta incluindo uma vinculação de dados para receber dados de propriedades de furo, um comparador para comparar os dados de propriedade de furos com dados de destino, por exemplo, relacionado a um perfil/ fluxo de ar desejado, e controlar um sinal de saída a saída de um sinal de controle baseado na comparação do módulo de controle para fazer com que o módulo de controle tenda a variar os parâmetros de processo de tal forma que traga

propriedades de furo para uma correlação próxima com os dados de propriedade do furo alvo.

[0062] Além disso, de acordo com a personificação há uma medição direta, no processo, de uma propriedade de furo tal como um perfil de furo e/ou fluxo de ar através de um furo, que permite o sistema, por meio de resposta direta no sistema, tender a causar um furo subsequente a ser formado de tal forma que as propriedades do furo de tal furo subsequente muito mais aproximado dos dados de propriedade alvo. O processo é potencialmente contínuo e potencialmente variável no processo, em contraste com a perfuração de furos de um lote mais convencional e testes de lotes abordados.

[0063] Preferencialmente, o monitor de furos compreende um transmissor de furos e um receptor para passar a luz através de cada furo na criação e obtenção de informação sobre estes perfis. Por exemplo, o transmissor de luz é uma fonte de luz coerente tal como um laser. Adicionalmente ou alternativamente o monitor de furo compreende um transmissor acústico e um receptor para transmitir um sinal acústico através do furo e obter informações dali sobre seu perfil. Convenientemente, em ambos os casos, informações sobre o perfil dos furos inclui um ou mais desses diâmetros de entradas, desses diâmetros de saída, dessas extensões a um ponto mais estreito através da espessura em chapa, e seu perfil em uma direção através de espessura.

[0064] Adicionalmente ou alternativamente um monitor de furo compreende uma fonte de fluxo de gás para ser direcionado à um furo uma vez formado, e um medidor de fluxo de gás para determinar o fluxo de gás após a colisão do fluxo de ar incidente na superfície em e/ou através de um furo então formado. A fonte de fluxo de gás e o medidor de fluxo obtêm dados sobre as propriedades de fluxo de ar dos furos diretamente. A fonte de fluxo de gás pode ser uma fonte de fluxo de ar inerte para limpar/ coletar detritos como acima descrito. Alternativamente, um teste separado de fonte de fluxo de gás pode ser proporcionado.

[0065] Preferencialmente, o monitor de furo está co-localizado com a fonte de laser e o sistema de focagem, por exemplo, em uma cabeça de trabalho comum e/ ou montada sobre ou integral com o encaixe para o sistema de focagem e fonte.

[0066] Por analogia nesta personificação, o método compreende as etapas adicionais:

- medir, subsequente a criação de um furo, pelo menos uma propriedade de furo, por exemplo, uma propriedade relacionada ao perfil do furo e/ou comportamento do fluxo de ar do furo;

- comparar a propriedade do furo mencionado com uma propriedade de furo alvo;

- responder aos resultados desta comparação para controlar o efeito de parâmetros de processo de feixe de laser na perfuração de furos subsequentes assim como tender a trazer propriedades para o furo subsequente mais para perto de uma aproximação de dados de propriedade de furo alvo.

[0067] Em particular, parâmetros de processo preferencialmente controlados na etapa de controle são selecionados pelo menos de energia, duração e foco de um feixe de laser incidente sobre uma superfície de material em chapa em uso e a distribuição de energia temporal. Além disso, as propriedades de um furo subsequente podem ser variadas pelo controle de tais parâmetros de processo assim como tendem a trazer a propriedade para o furo subsequente mais perto em uma aproximação com os dados de propriedade de furo alvo.

[0068] A invenção agora será descrita por meio de exemplos apenas com referência as figuras 1 à 3 dos desenhos que acompanham, em que:

[0069] A figura 1 é uma seção cruzada esquemática através de uma cabeça de perfuração a laser e ilustração de peça de trabalho da figura 1 e ilustrar uma personificação da invenção;

[0070] A figura 2 é um esquema de um sistema mais completo incorporando a cabeça e a peça de trabalho da figura 1 e ilustrando uma personificação da invenção;

[0071] A figura 3 é um esquema de personificações alternativas de um suporte de peça de trabalho da invenção;

[0072] A figura 4 é uma visão perspectiva de uma personificação de uma disposição de suporte de peça de trabalho da invenção; e

[0073] A figura 5 ilustra exemplos de padrões de disposições de furos perfurados.

[0074] Referindo-se primeiro a figura 1, a personificação ilustra uma cabeça de perfuração a laser 11 muitos dos componentes do qual serão familiares de sistemas de perfuração a laser convencionais.

[0075] Uma fonte de radiação a laser coerente 13 em que na personificação ilustrada compreende uma fonte de laser Nd-YAG operando no exemplo em uma ondulação de 1064 nm gera um feixe de luz de laser 15 que é capaz de ser pulsado em uma taxa de pulso apropriada e energia de pulso. Um sistema de focagem 17 foca um feixe em uma área selecionada da peça de trabalho 1.

[0076] Na personificação ilustrada, a peça de trabalho 1 compreende um material de liga aeroespacial em chapa na qual é desejada a perfuração de uma pluralidade de disposições de microfuros nominalmente idênticos. Os microfuros típicos nesta personificação ou geralmente, devem ter, por exemplo, um diâmetro nominal de uma ordem de 10 a 100 μm , mais preferencialmente menos de 50 μm . Tal disposição de microfuros é usada, por exemplo, como meio de modificar um fluxo laminar através da chapa quando a chapa é usada em uma estrutura aeroespacial. A chapa é, portanto, por exemplo, uma liga aeroespacial de titânio ou alumínio compatível. Entretanto, será apreciado que esta peça de trabalho seja apenas ilustrativa, e que o aparelho não é limitado em sua aplicabilidade a tais materiais.

[0077] O feixe é focado na superfície 3 do material em chapa 1 de forma a remover o material da chapa geralmente em uma região de volume 5 por ablação e/ou valorização a laser para criar um microfuro como descrito acima na chapa. O laser é uma fonte de laser pulsada, e é pulsada a uma taxa apropriada. Isto deve ser usado em conjunto com o movimento relativo indexado da peça de trabalho 1 e a cabeça 11, para produzir por operação sucessiva como acima na disposição de furos através de uma superfície da peça de trabalho. Alternativamente os furos devem ser perfurados enquanto a peça de trabalho é movimentada.

[0078] A fonte de laser 13 e o meio de focagem 17 são compactamente associados juntamente em uma cabeça 11 por meio de paredes de

encaixe 21. Uma superfície posterior 23 da parede de encaixe 21 compreende uma parte de abertura anular através da qual o feixe focado 15 pode ser direcionado na peça de trabalho 1. A parte de abertura anular adicionalmente define um bocal através do qual um jato de gás argônio pode ser direcionado para colidir sobre a superfície da peça de trabalho e limpar os detritos da superfície e/ou manter a parte posterior 23 da cabeça de trabalho livre do acúmulo de detritos. Na configuração como mostrada, nos estágios iniciais de perfuração de um furo, o jato limpa os detritos em forma de setas 25. Subsequentemente no processo de perfuração, os jatos podem atuar na limpeza dos furos, passando através deles.

[0079] Na personificação ilustrada, pelo menos a parte de bocal posterior anular 23 do encaixe da cabeça é fabricado por um material polimérico de baixa aderência tal como PTFE. Tal material de baixa aderência pode facilitar na prevenção de formação de detritos de perfuração na parte posterior da cabeça de trabalho. Como este material é um material dielétrico, não é possível usar uma ligação capacitiva entre a cabeça e a peça de trabalho como um meio de medição de distância dinamicamente durante a operação, por exemplo, para manter no foco, na forma frequente usada com dispositivos de corte a laser. Consequentemente, de forma alternativa na personificação ilustrada, um dispositivo de medição ótico é proporcionado, no exemplo na forma de um telêmetro a laser simples 27, que é capaz de direcionar um feixe de medição de radiação na superfície da peça de trabalho na proximidade do volume a ser perfurado a fim de determinar a distância entre a cabeça de trabalho e a peça de trabalho. O dispositivo de medição pode ter nele um bocal interno ou pode ter um bocal externo a ele ou pode conter parcialmente nele um bocal.

[0080] Seria apreciado que o processo de perfuração gere luz intensa de várias fontes, incluindo reflexões de feixe a laser de perfuração incidente, emissões do plasma de metal vaporizado e gases na proximidade do furo e emissões de um ejetor fundido no furo. Esta luz pode interferir com a operação correta do dispositivo de medição de distância ótico tal como o telêmetro a laser 27 do exemplo ou outros dispositivos óticos. Uma forma de contrastar isso é sincronizar a operação do dispositivo de medição ótico com um período onde o feixe a laser de perfuração ótica não está operando.

[0081] Por exemplo, em uma possível operação de aproximação do dispositivo de medição ótica é sincronizado com os “períodos escuros” que ocorrem entre a perfuração de cada furo. Isto deve ser realizado por um interruptor do dispositivo de medição e/ou inserindo uma proteção ótica durante os “períodos de claridade”. As proteções óticas podem ser uma persiana mecânica (tais como persiana de rotação usadas em projetores de filmes) ou eletrônica (tais como persianas/filtros de LCD). Ambos os meios podem ser requeridos dependendo das características de resposta do dispositivo de medição.

[0082] Um método alternativo é escanear o local da linha a ser perfurada com o laser não operante, para armazenar a posição da superfície (distância) como uma função de localização ao longo da linha, em seguida para usar estes dados para controlar o mecanismo de foco durante um segundo movimento de escaneamento quando o laser está operando e perfurando.

[0083] Outras formas de medição de distância podem ser previstas. Por exemplo, um telêmetro acústico ou mecânico pode ser usado em associação com a cabeça. Alternativamente, um sistema de medição de distância pode ser associado com meios de atuação (veja figura 2) que resultam no movimento relativo entre o suporte de peça de trabalho 7 e a cabeça de trabalho 11, ou algum outro registro adicional ou sistema de medição pode ser empregado para de outra forma medir a distância. Um outro método para a medição de distância da peça de trabalho deve ser usado para um dispositivo baseado na aferição de ar. Este pode ser um dispositivo separado ou pode ser um bocal e seu jato de gás associado como parte dos meios de aferição.

[0084] Em todos os casos, de acordo com esta personificação, a intenção é proporcionar uma medição de distância ativa da distância entre um dado de referência que é fixado relativo a fonte 13 (e na personificação específica fixada na cabeça de trabalho) e na superfície 3 da peça de trabalho 1).

[0085] Medições dinâmicas desta distância em processo permitem um controle de foco dinâmico como explicado em mais detalhes com referência a figura 2.

[0086] Na personificação ilustrada, outro aspecto de controle em processo dinâmico é conferido pela unidade 29 que é adaptada para

pegar leituras observacionais das propriedades de cada furo perfurado ou um grupo de furos uma vez que perfurados. Na personificação ilustrada, a unidade 29 compreende um dispositivo de medição de fluxo que monitora as características de fluxo do fluxo de gás 25 através de um furo uma vez que já tenha sido perfurado. Outro dispositivo de monitoramento capaz de monitorar as características de fluxo de um furo perfurado de outras formas, ou capaz de medir seus perfis dimensionais, deve ser considerado como meios alternativos ou adicionais.

[0087] Um sistema incorporando a cabeça e a peça de trabalho da figura 1 é ilustrado em mais detalhes na figura esquemática 2.

[0088] Primeiro, pode ser notado na figura 2 que o suporte da peça de trabalho 1 é suportado em um suporte de peça de trabalho 7. O suporte da peça de trabalho 7 compreende uma estrutura de tambor cilíndrico, em virtude de que a peça de trabalho 1 seja montada de uma forma cilíndrica similarmente. Uma chapa montada desta forma tem uma maior rigidez inerentemente, para um dado nível de suporte, que seria o caso de uma simples chapa plana, e é além disso menos inclinada para flexionar e distorcer na colisão dos jatos pressurizados 25. Isto também tende a atenuar a resistência e a “ondulação” que podem acontecer devido ao acúmulo de pressão de tração no plano da chapa como resultados de uma contração de material fundido durante o resfriamento.

[0089] A disposição é substancialmente anexada com um anexo de meio ambiente 9 que é entendido amplamente para isolar pelo menos a parte ilustrada do meio exterior, em particular para permitir a recirculação de fluxo de gás argônio relativamente caro por meio de um aparelho de reciclagem e coleção de ar compatíveis (não mostrado). Durante o processo de recirculação, o gás pode ser limpo para remover produtos de detritos de um processo de perfuração. Este isolamento produz um desperdício de gás, e reduz a contaminação do ambiente externo. Outra vantagem do invólucro é que ele previne a exposição de pessoal à radiação a laser durante a operação normal. Esta é uma característica de segurança e evita a necessidade de usar protetor de olhos e corpo exceto quando as coberturas são removidas.

[0090] A figura 2 ilustra esquematicamente os sistemas de controle que são usados.

[0091] O suporte de peça de trabalho 7 e a cabeça de perfuração 11 são montados cooperadamente juntos por uma armação compatível montada (não mostrada) de tal forma a permitir o movimento relativo entre eles, pelo menos para permitir um movimento relativo de indexação em uma direção plana perpendicular x, y para a direção do feixe de laser, e permitir a variação da distância em uma direção z entre a cabeça e a peça de trabalho. Os meios de direção mecânicos 31 e 32 respectivamente controlam a cabeça e o suporte. Tanto um quanto ambos meios de direção podem permitir movimentação em uma direção x, y ou z. Os meios de direção de suporte 32 podem permitir a rotação do suporte 7. Os meios de direção de cabeça a laser 31 podem permitir a inclinação do laser.

[0092] Além disso, os meios de controle 35 e 36 controlam a feixe a laser. Um meio de controle de fonte 36 controla ele mesmo a fonte de laser, por exemplo, controlar uma taxa de pulso e saída de energia. Uma taxa de pulso compatível para aplicativos de perfuração a laser típicos deve estar entre 20 e 200 Hz e, por exemplo, 50 Hz, e uma saída de energia compatível deve ter 1 j por pulso. Um meio de controle de foco 36 controla o sistema de focagem 17. Os meios de controle estão sob controle de um módulo de controle 42 em uma unidade de processamento central.

[0093] Na personificação ilustrada, é proporcionado um controle de processo dos conjuntos de processos de parâmetros pelo meio de controle por meio de resposta das medições feitas durante o processamento do sistema de controle. No exemplo isto é feito de duas formas ilustradas. Para cada operação de perfuração, os dados do telêmetro 27 e dados da aferição de fluxo 29 são passados para um módulo de resposta 40. O módulo de resposta 40 compara isto com dados de referência para os parâmetros de processamento desejados e envia instruções de correção ao controlador de processo central 42, que atua nos vários meios de controle 31, 32, 35, 36 para ajustar os parâmetros de controle se necessário para assegurar que os furos perfurados sucessivamente tenham as propriedades desejadas.

[0094] Um registrador 44 é proporcionado no qual pode ser guardado parâmetros de processo de referência, por exemplo, para formato e distribuição de furos desejados, para habilitar o aparelho a imprimir uma disposição desejada. Outro propósito do registrador pode ser proporcionar uma procura por dados

de processo.

[0095] Qualquer forma compatível de módulo de controle e/ou módulo de resposta e/ou registrador de dados de parâmetros de processo podem ser previstos, por exemplo, a combinação de um hardware e um software compatível e combinar etapas de controle de entrada de usuário automático. Por exemplo, um módulo de controle e/ou módulo de resposta e/ou registrador de dados de parâmetros de processo compreende um aparelho de processamento de dados programado tal como um propósito geral programado ou um computador com propósito especial.

[0096] Será entendido também que uma etapa de processamento de dados ou numerais no método da invenção pode ser implementada por um conjunto de máquinas leitoras de instruções ou códigos. Esta máquina leitora de instruções deve ser carregada em um computador de propósito geral, computador de propósito especial, ou outro aparelho de processamento de dados programáveis para produzir meios de implementar a etapa especificada.

[0097] Esta máquina leitora de instruções também pode armazenar em um computador leitor médio que pode direcionar a um computador ou outro aparelho de processamento de dados programável para funcionar de uma forma particular, de tal forma que as instruções armazenadas em um computador leitor médio produzam um artigo de manufatura incluindo meios de instruções para implementar algumas ou todas as etapas de processamento de dados e numerais no método da invenção. Instruções de programa de computador também podem ser armazenados em um computador ou outro aparelho programável para produzir uma máquina capaz de implementar um processo de execução de computador de tal forma que as instruções sejam executadas no computador ou no aparelho programável proporcionando etapas para implementar algumas ou todas as etapas numéricas no método da invenção. Será entendido que uma etapa pode ser implementada por, e um meio do aparelho para desenvolver tal etapa composto em, qualquer combinação compatível de propósito especial de hardware e/ou instruções de computador.

[0098] Referindo-se a figura 3, são mostrados disposições de suporte alternativas para uma peça de trabalho 1.

[0099] No suporte de disposição retratado na figura 3a, o suporte da peça de trabalho 7 compreende uma estrutura em tambor cilíndrico.

Entretanto, em vez de a peça de trabalho 1 ser substancialmente envolta ao redor da estrutura de tambor cilíndrica assim como na disposição da figura 2, a peça de trabalho 1 é parcialmente envolta ao redor do tambor cilíndrico e segurada em uma configuração arqueada no local de perfuração.

[00100] Na disposição retratada na figura 3b, uma estrutura de tambor cilíndrica adicional 70a, 70b é empregada acima e abaixo do local de perfuração.

[00101] Em uma disposição alternativa, em vez de uma estrutura de tambor cilíndrica, o suporte de peça de trabalho compreende uma pluralidade de roldanas 80 dispostas para segurar a peça de trabalho em uma configuração arqueada no local de perfuração. As posições das roldanas 80 podem ser dispostas de tal forma que a peça de trabalho pegue um perfil similar do retratado na figura 3a ou como retratado na figura 3b como mostrado na figura 3c.

[00102] Em outra disposição, o suporte da peça de trabalho compreende um guia 90 adaptado para segurar a peça de trabalho 1 em uma configuração arqueada no local de perfuração (veja figura 3d). Além disso, guias 90a, 90b podem ser empregadas como mostrado se um suporte adicional for requerido para suportar a peça de trabalho 1 acima ou abaixo do local de perfuração.

[00103] Isto será percebido por uma pessoa habilitada na arte que várias configurações de suporte de peça de trabalho alternativas que são adaptadas para segurar a peça de trabalho em uma configuração arqueada no local de perfuração são possíveis e que as disposições descritas acima são um modelo de tais disposições.

[00104] De acordo com uma maior rigidez inerente da peça de trabalho para um dado nível de suporte, então seria o caso para uma chapa plana simples, que a configuração arqueada no local de perfuração proporciona, não é necessário para a peça de trabalho ser suportada através de sua superfície total no local de perfuração. O suporte da peça de trabalho só é requerido nas bordas como mostradas na figura 4, que correspondem a disposição de suporte de peça de trabalho da figura 3b. Suportando a peça de trabalho somente nas bordas significa que ambos os lados da peça de trabalho estão limpos de obstáculos que possam tanto atrapalhar o acesso da fonte de laser 13 ou o medidor de fluxo 29 ou outros sensores.

[00105] Alguns exemplos de disposições desejadas que podem ser produzidas estão ilustradas nas figuras 5a e 5b. A figura 5a é um exemplo de uma disposição simples de uma disposição quadrada de espaçamento constante. A figura 5b ilustra uma disposição onde duas áreas separadas tendo sido definidas em uma superfície, e padrões de disposição distintos tenham sido proporcionadas nele. Isto deve ser visto apenas como esquemático e ilustrativo. Em particular, enquanto possam ter ocasiões onde é desejável proporcionar uma disposição com ordem bidimensional, por exemplo, em padrões hexagonais e quadrados, para a maior parte dos furos é perfurado com um espaçador de linha controlado e um espaçador de furos controlado ao longo de cada linha, mas, exceto onde especificamente requerido, não será geralmente necessário controlar o alinhamento de furos de linha para linha para produzir tal padrão. Embora haja o mesmo número de furos em qualquer dada área de padrão real como na ilustração, um padrão mais típico deve ser aleatório na medida em que o alinhamento linha por linha seja feito.

REIVINDICAÇÕES

1. – Método de perfuração de furos através de um material sólido em chapa por irradiação de feixe a laser de tal modo a fornecer furos em uma primeira área um primeiro perfil e distribuição e furos em uma segunda área um segundo perfil e distribuição que compreende as etapas de:

definir uma primeira área na qual furos têm um primeiro perfil e distribuição;

definir uma segunda área na qual furos têm um segundo perfil e distribuição, pelo menos um dos quais é diferente daquele na primeira área; e

definir uma zona de transição na qual furos apresentam um perfil e/ou distribuição;

caracterizado por perfurar furos em toda a primeira área, a zona de transição e a segunda área por meio de um processo contínuo.

2. – Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que as etapas de definição de uma primeira área, definição de uma zona de transição, e definição de uma segunda área compreendem etapas nas quais:

um conjunto de dados de distribuição de furo é determinado de perfil de furo e posição de furo para cada tal área;

o conjunto de dados de distribuição de furo é usado em conjunção com uma modelagem do método de perfuração para produzir uma base de dados de parâmetro de processo de produção de furo compreendendo posição de furo e dados de parâmetro de processo para cada furo a ser perfurado;

a base de dados de produção de furo é usada como uma base de dados de referência por meios de controle controlando parâmetros de processo de um aparelho de perfuração adequado para perfurar todos os furos definidos na base de dados em uma operação contínua.

3. - Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, **caracterizado** pelo fato de que furos na primeira área, na segunda área e na zona de transição são fabricados para apresentar perfis nominais idênticos, e propriedades são variadas entre a primeira área e a segunda área por meio somente de variação do espaçamento relativo dos furos.

4. - Método, de acordo com a reivindicação 3, **caracterizado** pelo fato de que os furos são dispostos em cada área em uma disposição bidimensional uniformemente espaçada, cada disposição na primeira e segunda área é de formato geometricamente similar, deferindo em espaçamento relativo, e a zona de transição compreende uma zona de transição gradual a partir do primeiro para o segundo espaçamento.

5. - Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, **caracterizado** pelo fato de que uma disposição bidimensional de furos é formada em cada área por perfuração de linhas paralelas sucessivas de furos espaçados.

6. - Método, de acordo com a reivindicação 5, **caracterizado** pelo fato de que as disposições bidimensionais em ambas primeira e segunda áreas estão em cada área por perfuração de linhas paralelas sucessivas de furos espaçados com arranjo geometricamente similar deferindo em espaçamento relativo, e uma zona de transição entre uma área de menor separação de furo e uma área de maior separação de furo é formada primeiro por um aumento progressivo e graduando espaçamento de furos individuais dentro de uma dada linha e segundo pela redução progressiva no número das linhas na zona de transição.

7. - Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, **caracterizado** pelo fato de que uma fórmula numérica é utilizada para definir uma base de dados de posição de furo para definir um caminho de broca e espaçamento do furo, e a mesma fórmula é

utilizada para definir uma porosidade de furo alvo em uma dada localização para o propósito de monitorar e dar resposta durante o processo.

8. - Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, **caracterizado** pelo fato de que a perfuração é efetuada pela causa de radiação para colidir em uma superfície de material sólido para criar furos na mesma por ablação/vaporização de material por radiação incidente.

9. - Método, de acordo com a reivindicação 8, **caracterizado** pelo fato de que a perfuração é efetuada por meio de um feixe de radiação coerente e compreende irradiar uma superfície do material sólido com um feixe de radiação coerente para perfurar um furo por através por ablação e/ou vaporização do material.

10. - Método, de acordo com a reivindicação 9, **caracterizado** pelo fato de que a fonte de radiação coerente compreende uma fonte de irradiação pulsada e o método compreende causar pulsos para ser sucessivamente colidido dentro da superfície do material sólido em uma pluralidade de múltiplas localizações para perfurar tal pluralidade de furos.

11. - Método, de acordo com a reivindicação 9 ou 10, **caracterizado** pelo fato de que a perfuração é efetuada pelo uso de radiação a laser.

12. - Método, de acordo com a reivindicação 11, **caracterizado** pelo fato de que compreende o uso de um laser Nd-YAG.

13. – Método, de acordo com a reivindicação 11 ou 12, **caracterizado** pelo fato de que o laser é operado a uma taxa constante de pulso da fonte de laser de modo a manter uma energia de feixe constante e o método o qual compreende variar o espaçamento entre furos em uma primeira área e furos em uma segunda área por meio de uma transição gradual na zona de transição efetuada por meio de uma variação proporcional na velocidade de movimento relativo do aparelho de laser através de uma superfície de uma material a ser perfurado.

14. - Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, **caracterizado** pelo fato de que o material sólido a ser perfurado é material em chapa.

15. - Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, **caracterizado** pelo fato de que o material sólido a ser perfurado é metálico, e é por exemplo uma liga de titânio ou alumínio, ou aço inox.

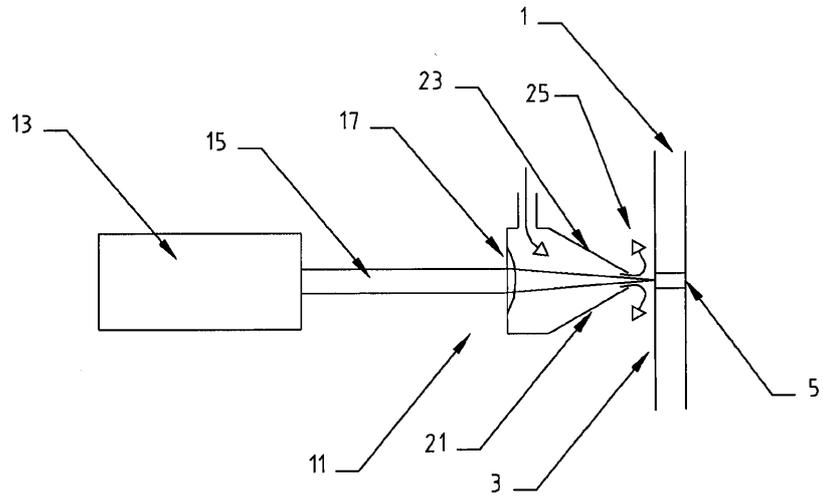


Fig.1

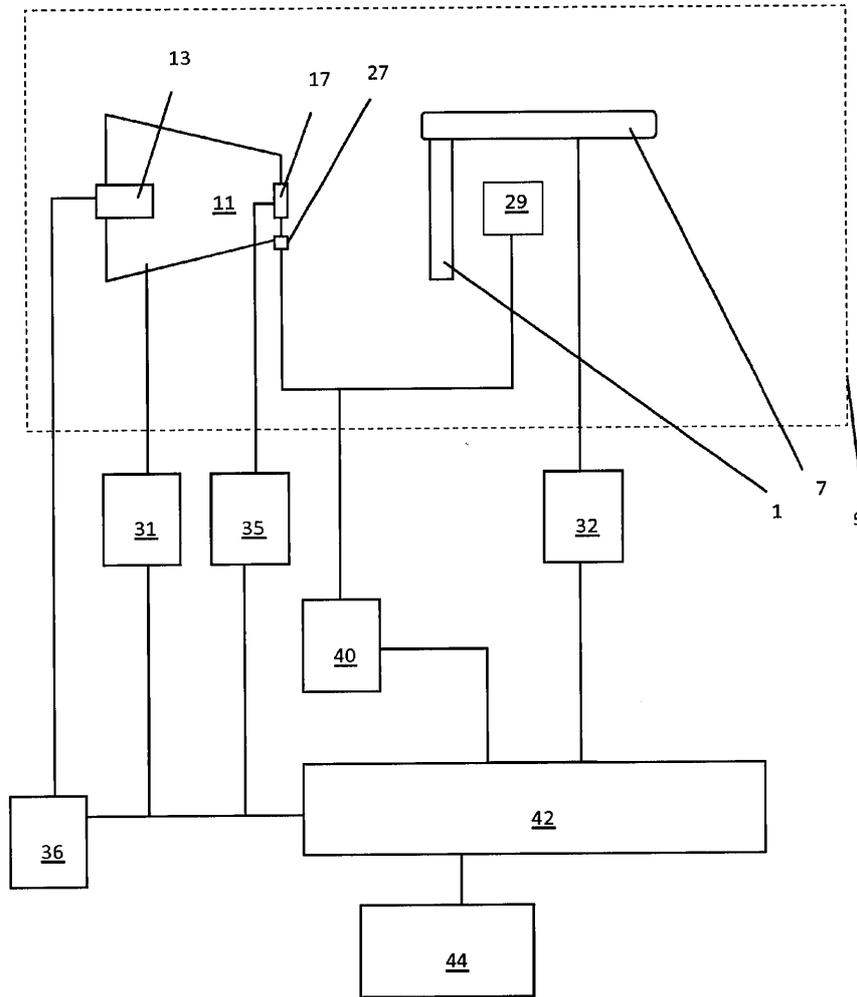
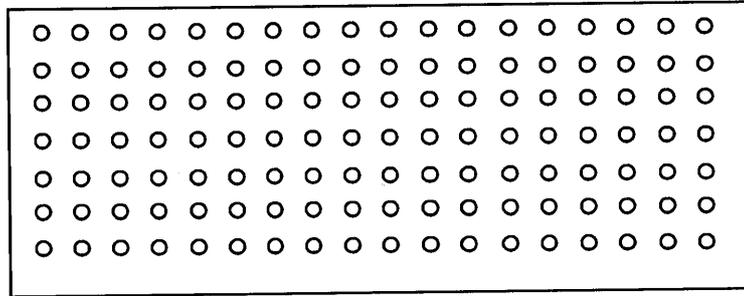
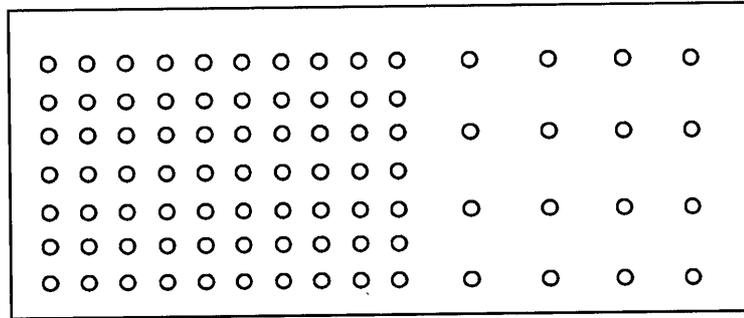


Fig. 2



a



b

Fig.3

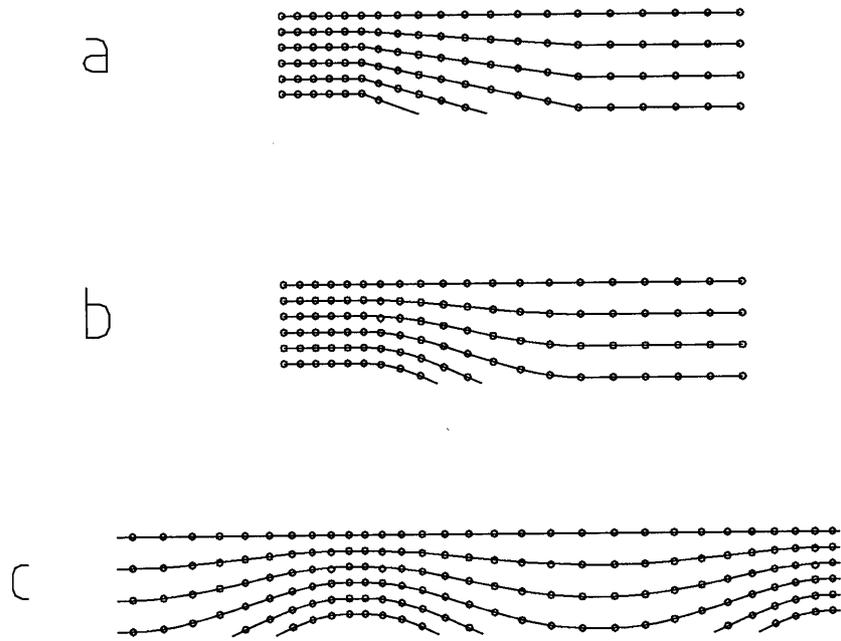


Fig.4