

República Federativa do Brasil  
Ministério da Indústria, Comércio Exterior  
e Serviços  
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(21) BR 102016001021-7 A2



\* B R 1 0 2 0 1 6 0 0 1 0 2 1 A

(22) Data do Depósito: 18/01/2016

(43) Data da Publicação: 02/08/2016

(54) Título: MÉTODO E SISTEMA PARA USINAR A LASER UMA PEÇA DE TRABALHO

(51) Int. Cl.: B23K 26/20

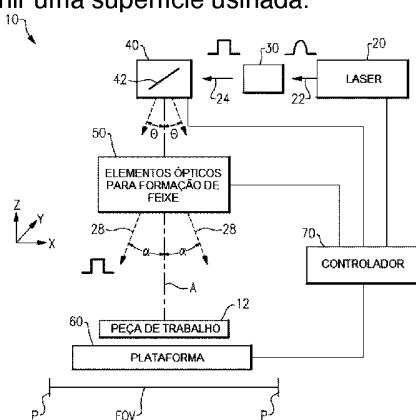
(30) Prioridade Unionista: 19/01/2015 US 14/599,612

(73) Titular(es): GENERAL ELECTRIC COMPANY

(72) Inventor(es): HONGQIANG CHEN, STEVEN ROBERT HAYASHI, XI ZHANG

(74) Procurador(es): ANA PAULA SANTOS CELIDONIO

(57) Resumo: Trata-se de um método de usinagem a laser que inclui direcionar, a partir de uma lente F-teta que tem um comprimento focal longo maior que cerca de 250 milímetros, um feixe de laser a um ângulo de inclinação de feixe não perpendicular a partir de um eixo geométrico óptico da lente que tem um perfil cartola e um ângulo de divergência de feixe estreito entre cerca de 1 grau e cerca de 3 graus em direção a uma peça de trabalho em uma plataforma móvel em pelo menos uma direção X e uma direção Y, engatar o feixe de laser direcionado com a peça de trabalho disposta no campo de visão utilizável, mover a peça de trabalho e o feixe de laser direcionado um em relação ao outro e remover porções da peça de trabalho com o feixe de laser direcionado para definir uma superfície usinada.



## **“MÉTODO E SISTEMA PARA USINAR A LASER UMA PEÇA DE TRABALHO”**

### **CAMPO DA TÉCNICA**

[001] A presente revelação refere-se, geralmente, a usinagem a laser e mais particularmente, a sistemas e métodos de usinagem a laser com o uso de feixes de laser que têm perfil de feixe uniforme e divergência de feixe estreita para formar cortes usinados com nenhum afunilamento e com afunilamento negativo.

### **ANTECEDENTES**

[002] Em usinagem a laser, um dispositivo de geração de feixe de laser é usado em conjunto com um sistema óptico para direcionar o feixe de laser sobre uma peça de trabalho que será usinada. A colisão do feixe de laser na peça de trabalho funde e/ou vaporiza localmente o material de peça de trabalho para produzir ou estender um orifício ou corte na peça de trabalho. O local do ponto de colisão de feixe de laser na peça de trabalho pode ser controlado movendo-se um ou ambos dentre o feixe de laser e a peça de trabalho um e relação ao outro para, com isso, controlar a geometria do orifício ou corte.

[003] A usinagem a laser de peças de trabalho frequentemente produz bordas ao longo dos recursos de corte que exibem afunilamento. Uma abordagem para evitar bordas afuniladas é usar uma cabeça de trepanação especial para girar o feixe de laser em um local de ponto com um ângulo de inclinação fixo. A peça permanece estacionária. Tal abordagem é boa apenas para perfuração de orifício pequeno. Outra abordagem consiste em girar a peça fisicamente enquanto mantém o feixe de laser no mesmo ângulo incidente, o que necessita de plataforma CNC de alta precisão (geralmente 4 a 5 eixos geométricos) e software de controle sofisticado para obter um corte sem nenhum afunilamento.

[004] Há a necessidade de sistemas e métodos de usinagem a laser com o uso de feixes de laser que têm perfil de feixe uniforme e divergência de feixe estreita para formar cortes usinados com afunilamento zero e com afunilamento negativo.

#### **DESCRÍÇÃO RESUMIDA**

[005] A presente revelação fornece, em um primeiro aspecto, um método para usinar a laser uma peça de trabalho. O método inclui direcionar, a partir de uma lente F-teta que tem um comprimento focal longo maior que cerca de 250 milímetros, um feixe de laser a um ângulo de inclinação de feixe não perpendicular a partir de um eixo geométrico óptico da lente que tem um perfil cartola e um ângulo de divergência de feixe estreito entre cerca de 1 grau e cerca de 3 graus em direção a uma peça de trabalho disposta em uma plataforma móvel em pelo menos uma direção X e uma direção Y, engatar o feixe de laser direcionado com a peça de trabalho disposta no campo de visão utilizável, mover a peça de trabalho e o feixe de laser direcionado um em relação ao outro e remover porções da peça de trabalho com o feixe de laser direcionado para definir uma superfície usinada.

[006] A presente revelação fornece, em um segundo aspecto, um sistema de microusinagem a laser para usinar a laser uma peça de trabalho. O sistema de microusinagem a laser inclui um laser, um conversor, uma lente F-teta, uma plataforma, um dispositivo de orientação de feixe e um controlador. O laser é operável para gerar um feixe de laser que tem um perfil Gaussiano. O conversor é operável para converter o feixe de laser que tem o perfil Gaussiano no feixe de laser que tem o perfil cartola. A lente F-teta tem um comprimento focal longo maior que cerca de 250 milímetros. A plataforma é operável para sustentar e mover a peça de trabalho móvel em pelo menos uma direção X e uma direção Y. O dispositivo de orientação de feixe é operável para receber o feixe de laser que tem o perfil cartola e direcionar o feixe de laser através da

lente F-teta a um ângulo a partir de um eixo geométrico óptico da lente em direção à peça de trabalho na plataforma. O feixe de laser é direcionável sobre uma faixa de ângulos a partir do eixo geométrico óptico da lente que define um campo de visão utilizável que tem um perímetro e que tem um ângulo de divergência de feixe estreito entre cerca de 1 grau e cerca de 3 graus. O controlador é operável para controlar o movimento da dita plataforma e/ou do dito dispositivo de orientação de feixe para orientar o feixe de laser que tem o perfil cartola através da lente F-teta e nas porções de remoção de peça de trabalho da peça de trabalho com o feixe de laser direcionado para definir uma superfície usinada.

#### FIGURAS

[007] Os supracitados e outras funções, aspectos e vantagens desta revelação se tornarão evidentes a partir da descrição detalhada a seguir dos vários aspectos da revelação tomados em conjunto com os desenhos anexos, em que:

A Figura 1 é um diagrama esquemático de um sistema de usinagem a laser de acordo com aspectos da presente revelação operável para usinar uma peça de trabalho;

A Figura 2 são vistas em corte transversal de elevações laterais de uma pluralidade de cortes usinados feitos com o uso do sistema de usinagem a laser da Figura 1 que emprega um feixe de laser que tem um perfil cartola;

A Figura 3 são vistas em corte transversal de elevações laterais de uma pluralidade de cortes usinados feitos com o uso de um sistema de usinagem a laser convencional de técnica anterior que emprega um feixe de laser que tem um perfil Gaussiano;

A Figura 4 são vistas em corte transversal de elevações laterais de uma pluralidade de cortes usinados feitos com o uso do sistema de

usinagem a laser da Figura 1 que emprega uma lente F-teta com um comprimento focal longo;

A Figura 5 são vistas em corte transversal de elevações laterais de uma pluralidade de cortes usinados feitos com o uso de um sistema de usinagem a laser convencional de técnica anterior a lente que tem um comprimento focal curto;

As Figuras 6 a 8 são ilustrações pictóricas de um método de usinagem a laser de acordo com aspectos da presente revelação; e

A Figura 9 é um fluxograma de um método para usinar a laser uma peça de trabalho de acordo com aspectos da presente revelação.

#### **DESCRÍÇÃO DETALHADA**

[008] Cada realização apresentada abaixo facilita a explicação de certos aspectos da revelação e não deveriam ser interpretadas como limitantes do escopo da revelação. Além disso, uma linguagem de aproximação, como usada no presente documento ao longo do relatório descritivo e das reivindicações, pode ser aplicada para modificar qualquer representação quantitativa que poderia variar de forma permissível sem resultar em uma alteração na função básica a qual é relacionada. Consequentemente, um valor modificado por um termo ou termos, tal como “cerca de”, não é limitado ao valor preciso especificado. Em alguns casos, a linguagem de aproximação pode corresponder à precisão de um instrumento para medir o valor. Ao introduzir os elementos de diversas realizações, os artigos “um”, “uma”, “o”, “a”, “dito” e “dita” são destinados a significar que existem um ou mais dos elementos. Os termos “que compreende”, “que inclui” e “que tem” são destinados a serem inclusivos e significam que podem existir elementos adicionais além dos elementos listados. Conforme usado no presente documento, os termos “pode” e “pode ser” indicam uma possibilidade de uma ocorrência dentro de um conjunto de circunstâncias; uma posse de

uma propriedade, característica ou função especificada; e/ou qualificar outro verbo expressando-se um ou mais dentre uma habilidade, capacidade ou possibilidade associada ao verbo qualificado. Consequentemente, o uso de “pode” e “pode ser” indica que um termo modificado é aparentemente apropriado, capaz ou adequado para uma capacidade, função ou uso indicado, enquanto leva em consideração que, em algumas circunstâncias, o termo modificado pode, algumas vezes, não ser apropriado, capaz ou adequado. Quaisquer exemplos de parâmetros operacionais não são exclusivos de outros parâmetros das realizações reveladas. Os componentes, aspectos, funções, configurações, arranjos, usos e similares descritos, ilustrados ou de outro modo revelados no presente documento em relação a qualquer realização específica podem ser aplicados de maneira similar a qualquer outra realização revelada no presente documento.

[009] A presente revelação direciona e realça, entre outros, processos de usinagem a laser e, mais especificamente, sistemas de usinagem a laser que empregam um feixe de laser que tem menos divergência e um perfil mais uniforme de modo que menos ângulo de inclinação de feixe seja exigido para alcançar cortes usinados sem nenhum afunilamento ou com afunilamento negativo. Por exemplo, a técnica da presente revelação pode incluir converter um feixe de laser que tem um perfil de feixe Gaussiano em um feixe de laser que tem um perfil de feixe cartola e passar o feixe de laser cartola através de uma lente F-teta que tem um comprimento focal longo. Conforme descrito em maiores detalhes abaixo, o feixe de laser de perfil cartola direcionado a partir da lente F-teta tem um ângulo de divergência geralmente estreito e alta intensidade. Além disso, o feixe de laser de perfil cartola direcionado a partir da lente F-teta é operável para formar cortes com afunilamento zero próximo ao eixo geométrico óptico da lente F-teta e separados do perímetro do campo de visão utilizável da lente F-teta. Os cortes em linha e fendas em ranhura podem

ser facilmente implantados em combinação com uma plataforma bidimensional para sustentar e mover a peça de trabalho a ser usinada. Com tal técnica para usinar a laser, os sistemas que empregam a mesma podem ser menos dispendiosos comparados à usinagem a laser convencional que exige cabeças de trepanação especiais ou máquinas CNC de precisão caras. Tal técnica também pode ser operável com menos perda de potência comparada a processos de usinagem a laser convencionais. Adicionalmente, tal técnica pode ser adequada para corte de barra de tração de compósito de matriz cerâmica e pode ser aplicada também a outras funções, como fenda de vedação.

[010] A Figura 1 é um diagrama esquemático de um sistema de usinagem a laser 10, de acordo com aspectos da presente revelação, operável para usinar uma peça de trabalho sem nenhum afunilamento ou com um afunilamento controlado ou angulado. Por exemplo, o sistema de microusinagem a laser 10 pode incluir, geralmente, um laser 20, um conversor de feixe de laser 30, um dispositivo de orientação de feixe 40, elementos ópticos que formam feixe 50, uma plataforma móvel 60 na qual é sustentada uma peça de trabalho 12 e um controlador 70.

[011] A fonte de laser pode ser qualquer tipo de sistema de laser que tenha a capacidade de produzir um feixe de laser de suficiente potência, coerência, largura de pulso, tempo de repetição de pulso e comprimento de onda para ser compatível com a realização das operações de usinagem desejadas na peça de trabalho selecionada. Por exemplo, a fonte de laser pode ser um laser de estado sólido, CO<sub>2</sub> ou fibra que tem uma potência de cerca de 0,1 Watts a cerca de 20.000 Watts. Como aqueles versados na técnica observarão, os componentes ópticos usados no sistema de laser são compatíveis operacionalmente com a fonte de laser de modo a evitar que danifiquem esses componentes durante operação. O laser 20 pode emitir um feixe de laser 22 ou pulsos que têm uma distribuição de perfil ou propriedades

espaciais Gaussianas sobre um corte transversal que são convertidos ou reformatados no conversor 30 em um feixe de laser 24 ou pulsos laser que têm uma distribuição de perfil cartola ou propriedades espaciais sobre um corte transversal. Em tal perfil de intensidade do perfil cartola, a intensidade do feixe é relativamente constante através do corte transversal, como diâmetro do feixe de laser, ao contrário do perfil de intensidade do feixe Gaussiano. Consequentemente, as bordas do feixe formatado têm, aproximadamente, a mesma intensidade que o centro do feixe, o que fornece queda de intensidade reduzida na borda do feixe. Os conversores de Gaussiana para cartola podem ser um dispositivo óptico para converter perfis de feixe de laser Gaussiano de modo único unidimensionais ou bidimensionais em um perfil de topo achatado, enquanto minimiza perda de transmissão. O conversor pode empregar elementos refrativos, elementos difrativos, fibras ópticas, outros componentes operáveis e combinações dos mesmos.

[012] O dispositivo de orientação de feixe 40 pode incluir um espelho móvel 42 para receber o feixe de laser 24 que tem uma distribuição de perfil cartola e redirecionar o feixe de laser 24 em direção a elementos ópticos que formam feixe 50. Por exemplo, um espelho de inclinação x-y pode ser usado para posicionar ou varrer um ponto de laser na peça de trabalho para usinar. O espelho no dispositivo de orientação de feixe pode ser inclinável de forma dinâmica e alternada ao redor de um primeiro eixo geométrico que é perpendicular ao eixo geométrico óptico A de elementos ópticos que formam feixe 50. O espelho no dispositivo de orientação de feixe também pode ser inclinável de forma dinâmica e alternada ao redor de um segundo eixo geométrico que é perpendicular ao primeiro eixo geométrico. Por exemplo, o dispositivo de orientação de feixe pode incluir dois varredores com base em galvanômetro, dispostos, cada um, nos eixos geométricos x e y, e inclui um galvanômetro, um espelho (ou espelhos) e uma placa servoacionadora que

controla o dispositivo de orientação de feixe.

[013] Os elementos ópticos que formam feixe 50 podem incluir uma lente F-teta que tem um comprimento focal longo, como um comprimento focal maior que cerca de 250 milímetros, maior que 250 milímetros, entre cerca de 250 milímetros e cerca de 420 milímetros, maior que cerca de 420 milímetros, ou maior que 420 milímetros. A combinação do dispositivo de orientação de feixe 40 e do dispositivo de formação de feixe 50 resulta em um feixe de laser direcionado 28 controlável que tem um perfil cartola em direção à peça de trabalho 12 disposta na plataforma 60. As lentes F-teta são projetadas tanto para formar uma imagem em um plano achatado quanto para fornecer uma relação linear entre o comprimento de varredura  $x$  e o ângulo de varredura ou inclinação  $\theta$ , de acordo com a chamada condição F-teta a seguir:

$$x = f * \theta.$$

[014] O comprimento de varredura  $x$  é simplesmente igual ao ângulo de varredura incidente  $\theta$  multiplicado pelo comprimento focal  $f$ , isto é, a posição do ponto no plano de imagem é diretamente proporcional ao ângulo de varredura. Isso elimina a necessidade de uma correção eletrônica complicada requerida pelas lentes de varredura padrão.

[015] O feixe de laser não passa diretamente através do centro da lente de focalização. Em vez disso, o feixe de laser entra na lente a um ângulo  $\theta$  em relação ao eixo geométrico óptico A da lente. A lente flexiona o feixe de laser, o que faz com que o feixe alcance a peça de trabalho a um ângulo de inclinação de feixe  $\alpha$  em relação ao eixo geométrico central da lente. O ângulo de inclinação de feixe  $\alpha$  depende da geometria de lente e da distância entre o feixe de laser e o eixo geométrico central da lente. Variar a distância entre o feixe de laser e o eixo geométrico central irá alterar o ângulo de inclinação de feixe  $\alpha$ . Em um aspecto, durante usinagem a laser o feixe de laser pode permanecer a uma distância constante a partir do eixo geométrico

óptico da lente, o que resulta em um ângulo de inclinação de feixe a constante. O feixe de laser direcionado 28 é direcionável em ângulo de inclinação de feixe a em relação ao eixo geométrico óptico central A de elementos ópticos que formam feixe 50 sobre um campo de visão FOV que tem um perímetro P.

[016] A plataforma 60 pode incluir dispositivos de controle de movimento (não mostrados) para reter a peça de trabalho 12 e mover a peça de trabalho em relação ao feixe de laser eixo geométrico ao longo de uma direção X e uma direção Y. Por exemplo, a plataforma pode incluir um motor linear de eixo geométrico X e um motor linear de eixo geométrico Y. Será entendido que uma plataforma adequada pode ser móvel com até seis eixos geométricos que incluem translação em três eixos geométricos ortogonais (X, Y e Z) e rotação ao redor dos três eixos geométricos.

[017] O controlador 70 pode ser uma unidade de computação operável que inclui um processador ou microprocessador, um ou mais dispositivos de entrada e saída e uma ou mais memórias. O controlador 70 é conectado operacionalmente ao laser 20, dispositivo de orientação de feixe 40, elementos ópticos que formam feixe 50 e plataforma 60. O controlador 70 é operável para direcionar o laser para emitir o feixe de laser ou pulsos ao longo do caminho de feixe de laser e coordenar os elementos ópticos de orientação de feixe e a plataforma para posicionar a peça de trabalho em relação ao feixe de laser direcionado para fazer com que o feixe de laser direcionado engate a peça de trabalho para efetuar a usinagem a laser. Os sinais de comando do controlador são geralmente fornecidos com base em instruções de programação armazenadas na memória e as funções de cada uma das instruções de programação são realizadas pela lógica da unidade de computação. Os diversos componentes, como o dispositivo de orientação de feixe, podem incluir seus próprios controladores que transmitem dados para e a partir do controlador. Além disso, o controlador poderia ser incorporado em um

computador, como um computador pessoal.

[018] A Figura 2 ilustra a usinagem a laser que emprega o sistema da Figura 1 de acordo com aspectos da presente revelação e no qual um feixe de laser ou pulsos têm uma distribuição de perfil cartola de intensidade para obter três cortes a ângulos de inclinação de feixe a diferentes na peça de trabalho 12 em relação ao eixo geométrico óptico A vertical dos elementos ópticos que formam feixe. A Figura 3 ilustra a aproximação para usinar a laser de técnica anterior que emprega um feixe de laser ou pulsos que têm uma distribuição de perfil de intensidade Gaussiana para obter três cortes a ângulos de inclinação de feixe a diferentes na peça de trabalho 12 em relação ao eixo geométrico óptico A vertical dos elementos ópticos que formam feixe. Conforme ilustrado na comparação entre as Figuras 2 e 3, o uso de um perfil de feixe cartola reduz o ângulo de afunilamento  $\beta_1$  (por exemplo, entre cerca de 3 graus e cerca de 5 graus) de um corte ou superfície usinada comparado a um ângulo de afunilamento  $\beta_2$  de um corte ou superfície usinada feito com o uso de um feixe de laser que tem um perfil Gaussiano. Além disso, um ângulo de inclinação de feixe  $\alpha_1$  menor (por exemplo, entre cerca de 4 graus e cerca de 7 graus) é necessário para alcançar um corte com afunilamento zero com o uso de um feixe de laser que tem perfil cartola comparado ao ângulo de inclinação de feixe  $\alpha_2$  quando se emprega um feixe de laser que tem um perfil de distribuição de intensidade Gaussiana. Adicionalmente, menores ângulo de inclinação de feixe  $\alpha$  e ângulo de afunilamento  $\beta$  permitem usinar um corte com afunilamento zero, por exemplo, a uma distância  $X_1$  menor a partir do eixo geométrico óptico A dos elementos ópticos que formam feixe em uma região maior dentro do perímetro P (Figura 1) do campo de visão FOV de cabeça de varredura (Figura 1) comparado a uma distância  $X_2$  com o uso de um feixe de laser que tem um perfil de distribuição de intensidade Gaussiana.

[019] A Figura 4 ilustra a usinagem a laser que emprega o sistema da Figura 1 de acordo com aspectos da presente revelação que emprega elementos ópticos que formam feixe 50, como uma lente F-teta que tem um comprimento focal eficaz longo EFL1 (por exemplo, maior que cerca de 250 milímetros) para obter quatro cortes a ângulos  $\alpha$  diferentes em relação a um eixo geométrico óptico A vertical dos elementos ópticos que formam feixe. A Figura 5 ilustra uma abordagem para usinar a laser de técnica anterior que emprega um feixe de laser ou pulsos que empregam elementos ópticos que formam feixe que têm um comprimento focal eficaz curto EFL2 para obter três cortes a ângulos  $\alpha$  diferentes em relação a um eixo geométrico óptico A vertical dos elementos ópticos que formam feixe. Conforme ilustrado na comparação entre as Figuras 4 e 5, o uso de uma lente F-teta com um comprimento focal longo tem um ângulo de divergência de feixe  $\varphi_1$  menor (por exemplo, entre cerca de 1 grau e cerca de 3 graus) comparado a um ângulo de divergência de feixe  $\varphi_2$  de uma lente que tem um comprimento focal curto. Além disso, o uso de uma lente F-teta com um comprimento focal longo tem um ângulo de afunilamento  $\beta_3$  menor (por exemplo, entre cerca de 3 graus até menos de 5 graus) de um corte ou superfície usinada comparado a um ângulo de afunilamento  $\beta_4$  de um corte ou superfície usinada feito com o uso de uma lente que tem um comprimento focal curto. Adicionalmente, um ângulo de inclinação de feixe  $\alpha_3$  menor (por exemplo, entre cerca de 4 graus e cerca de 7 graus) é necessário para obter um corte com afunilamento zero com o uso de uma lente F-teta com um comprimento focal longo comparado ao ângulo de inclinação de feixe  $\alpha_4$  quando se emprega uma lente que tem um comprimento focal curto. Também, um ângulo de inclinação de feixe menor permite usinar um corte com afunilamento zero, por exemplo, a uma distância X3 a partir do eixo geométrico óptico A dos elementos ópticos que formam feixe em uma região maior dentro do perímetro P (Figura 1) do campo de visão FOV de

cabeça de varredura (Figura 1). Adicionalmente, menor ângulo de inclinação de feixe  $\alpha$  e ângulo de afunilamento  $\beta$  permitem usinar um corte com afunilamento zero, por exemplo, a uma distância X3 menor a partir do eixo geométrico óptico A dos elementos ópticos que formam feixe em uma região maior dentro do perímetro P (Figura 1) do campo de visão FOV de cabeça de varredura (Figura 1) comparado a uma distância X4 com o uso de uma lente que tem um comprimento focal curto. Em outras palavras, um ângulo de inclinação de feixe menor ( $\alpha_3 < \alpha_4$ ) é necessário com um ângulo de divergência de feixe  $\varphi$  menor. Uma inclinação de feixe menor para afunilamento zero permite usinar em uma região maior dentro do perímetro do campo de visão de cabeça de varredura.

[020] Realizações adicionais do sistema de usinagem a laser da Figura 1 de acordo com aspectos da presente revelação podem incluir o uso de um feixe de laser ou pulsos que têm uma distribuição de perfil cartola de intensidade em combinação com elementos ópticos de formatação de feixe, como uma lente F-teta que tem um comprimento focal eficaz longo EFL1 (por exemplo, entre cerca de 250 milímetros e cerca de 420 milímetros). Tal configuração pode resultar em um ângulo de inclinação de feixe  $\alpha$  ainda menor (por exemplo, entre cerca de 3 graus e cerca de 6 graus) necessário para obter um corte com afunilamento zero comparado à inclinação de feixe quando se emprega um feixe de laser que tem um perfil de distribuição de intensidade Gaussiana e uma lente que tem um comprimento focal curto. Além disso, tal configuração resulta em uma inclinação de feixe menor para afunilamento zero, o que permite usinar em uma região maior dentro do perímetro (por exemplo, entre cerca de 15 mm a cerca de 30 mm a partir do perímetro) do campo de visão de cabeça de varredura.

[021] Será entendido que a técnica da presente revelação geralmente permite reduzir e/ou controlar o afunilamento de um corte ou superfície usinada durante usinagem a laser. Um ângulo incidente ou de

inclinação de feixe de laser específico pode ser selecionado para usinar recursos com ângulo de corte com afunilamento zero ou ainda com afunilamento negativo. Por exemplo, usando-se uma plataforma de movimento X-Y pode-se mudar um recurso de usinagem a laser desejado de uma peça de trabalho a uma distância calibrada a partir do centro ou eixo geométrico óptico dos elementos ópticos de formação de feixe e direcionar o feixe de laser em um ângulo de inclinação de feixe desejado de modo que um corte com afunilamento zero ou ainda com afunilamento negativo através da espessura da amostra seja realizado, correspondendo ao recurso de usinagem a laser desejado. Controlando-se os parâmetros de processamento de laser e distância de mudança, um grau de afunilamento diferente (de positivo para negativo) pode ser obtido

[022] As Figuras 6 a 8 ilustram diagramaticamente um processo de acordo com aspectos da presente revelação para obter, geralmente, o mesmo ângulo de afunilamento usinado para diferentes orientações de recurso para borda de uma peça de trabalho. Por exemplo, conforme mostrado na Figura 6, uma peça de trabalho 112 pode ser posicionada na plataforma 60. O sistema 10 (Figura 1) pode ser programado, operacionalmente, para mudar cada borda de corte para certa direção oposta ao eixo geométrico central A da plataforma. Inicialmente, o processo pode incluir calibrar todo o campo de varredura de laser com o uso de um padrão de grade (Figura 6), determinar a distância e direção de mudança para um corte de valor de afunilamento zero ou específico requerido com base em configurações de usinagem a laser e orientação de recurso para borda para um primeiro corte e mover a borda usinagem para a distância e direção predeterminadas a partir do eixo geométrico central A, conforme mostrado na Figura 7. A usinagem a laser pode ser realizada para uma borda 113 com a peça em um estado estacionário (varrer ou mover o laser) ou movendo-se a plataforma e peça de trabalho sobre

a mesma. Depois disso, a peça de trabalho pode ser movida de volta ao centro, determinar a distância e direção de mudança para um corte de valor de afunilamento zero ou específico requerido com base em configurações de usinagem a laser e orientação de recurso para borda para um segundo corte e mover a borda usinagem para a distância e direção predeterminadas a partir do eixo geométrico central A, conforme mostrado na Figura 8. A usinagem a laser pode ser realizada para uma borda 114 com a peça em um estado estacionário (varrer ou mover o laser) ou movendo-se a plataforma e peça de trabalho sobre a mesma. O processo pode ser repetido para usinar bordas ou funções adicionais, como as bordas 115 e 116.

[023] A Figura 9 ilustra um fluxograma de um método 200 para usinhar a laser uma peça de trabalho de acordo com aspectos da presente revelação. O método 200 inclui, em 210, direcionar, a partir de uma lente F-teta que tem um comprimento focal longo maior que cerca de 250 milímetros, um feixe de laser a um ângulo de inclinação de feixe não perpendicular a partir de um eixo geométrico óptico da lente que tem um perfil cartola e um ângulo de divergência de feixe estreito entre cerca de 1 grau e menos de 3 graus em direção a uma peça de trabalho disposta em uma plataforma móvel em pelo menos uma direção X e uma direção Y. Em 220, o feixe de laser direcionado é engatado com a peça de trabalho. Em 230, a peça de trabalho e/ou o feixe de laser direcionado são movidos um em relação ao outro e, em 240, porções da peça de trabalho são removidas com o feixe de laser direcionado para definir uma superfície usinada.

[024] Em uma configuração, o feixe de laser é direcionado e mantido em uma posição fixa e a plataforma é movida. Em outras configurações, a plataforma de controle de movimento, os elementos ópticos de orientação de feixe ou ambos podem ser usados para posicionar o caminho de feixe de laser em relação à peça de trabalho para usinar a laser a peça de trabalho.

[025] Os presentes processos de usinagem a laser da presente revelação podem ser usados com quase qualquer tipo de material de peça de trabalho, por exemplo, cerâmicas, metais, vidro, pedras preciosas, borracha, polímeros e materiais compósitos. Conforme descrito acima, a presente revelação fornece um método operável para controlar o afunilamento para corte de recurso ou ranhura de fenda 2D em usinagem a laser com uma cabeça de varredura. Um afunilamento zero ou ainda um afunilamento negativo pode ser alcançado para um ou mais, ou todas, bordas da peça.

[026] A presente revelação pode permitir melhor controle de tolerância entre o topo e a parte inferior de peça, como para muitas aplicações como corte de barra de tração de CMC, comparado à atual usinagem a laser que emprega uma divergência de feixe maior, menor profundidade de foco e maior distribuição espacial de potência.

[027] Consequentemente, os benefícios das presentes técnicas podem incluir permitir usinar a laser com afunilamento zero ou um afunilamento desejado, como CMC de usinagem a laser, ou outros materiais para atender aos requisitos de tolerância de tamanho de peça sem inclinação física de peça ou elementos ópticos de trepanação especiais. A presente técnica também pode fornecer um controle de afunilamento menos dispendioso e mais simples com o uso apenas de cabeça de varredura padrão e hardware de movimento plano de 2 eixos geométricos. Também, a velocidade de processamento pode ser mais rápida com menor perda de potência através da lente F-teta que tem um comprimento focal longo do que, por exemplo, com o uso de uma cabeça de trepanação especial. A presente técnica pode ser aplicável a vários recursos em componentes de CMC, como usinagem de fenda de vedação.

[028] Deve ser entendido que a descrição acima é destinada a ser ilustrativa, e não restritiva. Várias alterações e modificações podem ser feitas à presente invenção por um indivíduo de habilidade comum na técnica, sem que se

afaste do espírito e escopo gerais da revelação, conforme definido pelas reivindicações a seguir, bem como pelos equivalentes das mesmas. Por exemplo, as realizações (e/ou aspectos das mesmas) descritas acima podem ser utilizadas em combinação entre si. Além disso, muitas modificações podem ser feitas para adaptar uma situação ou material particular aos ensinamentos das várias realizações sem se afastar de seu escopo. Embora as dimensões e tipos de materiais descritos no presente documento sejam destinados a definir os parâmetros das várias realizações, os mesmos não são, de nenhum modo, limitantes e são meramente exemplificativos. Muitas outras realizações ficarão evidentes para aqueles versados na técnica pela análise da descrição acima. O escopo das várias realizações deveria, por esse motivo, ser determinado com referência às reivindicações anexas, juntamente com o escopo de equivalentes completo para o qual tais reivindicações são designadas. Nas reivindicações anexas, os termos “que inclui” e “no (a) qual” são usados como equivalentes do inglês simples dos termos respectivos “que compreende” e “em que”. Além disso, nas reivindicações seguintes, os termos “primeiro (a) “ “segundo (a) “ e “terceiro (a) “ etc. são usados meramente como rótulos e não se destinam a impor requisitos numéricos em seus objetos. Também, o termo “operacionalmente” em conjunto com termos como acoplado, conectado, unido, vedado ou similares é usado no presente documento para se referir tanto às conexões que resultam de componentes separados e distintos que são acoplados direta ou indiretamente quanto a componentes que são formados integralmente (isto é, peça única, integral ou monolítica). Adicionalmente, as limitações das reivindicações a seguir não são escritas em um formato de meios-mais-função e não são destinadas a serem interpretadas com base no documento 35 U.S.C. § 112(f), parágrafo sexto, a menos que e até que tais limitações de reivindicações expressamente usem a expressão “meios para” seguida de um enunciado sem nenhum tipo de função ou estrutura adicional. Deve ser entendido que não necessariamente todos os objetivos ou

vantagens descritos acima podem ser alcançados de acordo com qualquer realização específica. Portanto, por exemplo, aqueles versados na técnica irão reconhecer que os sistemas e técnicas descritos no presente documento podem ser incorporados ou executados de tal forma que alcance ou otimize uma vantagem ou grupo de vantagens, conforme indicado no presente documento, sem necessariamente alcançar outros objetos ou vantagens que podem ser ensinados ou sugeridos no presente documento.

[029] Embora a revelação tenha sido descrita em detalhes em conjunto com apenas um número limitado de realizações, deve-se entender facilmente que a revelação não se limita a tais realizações reveladas. Em vez disso, a revelação pode ser modificada para incorporar qualquer número de variações, alterações, substituições ou arranjos equivalentes não descritos até o momento, mas que são proporcionais ao espírito e escopo da revelação. Adicionalmente, embora várias realizações da revelação tenham sido descritas, deve ser entendido que aspectos da revelação podem incluir apenas algumas das realizações descritas. Consequentemente, a revelação não deve ser vista como limitada pela descrição antecedente, mas é apenas limitada pelo escopo das reivindicações anexas.

[030] Esta descrição escrita usa exemplos, incluindo o melhor modo, e também habilita qualquer pessoa versada na técnica a praticar a revelação, o que inclui produzir e usar quaisquer dispositivos ou sistemas e realizar quaisquer métodos incorporados. O escopo patenteável da revelação é definido pelas reivindicações e pode incluir outros exemplos que ocorram àqueles versados na técnica. Tais outros exemplos são destinados a serem abrangidos pelo escopo das reivindicações caso tenham elementos estruturais que não difiram da linguagem literal das reivindicações ou caso incluam elementos estruturais equivalentes às diferenças não substanciais da linguagem literal das reivindicações.

## REIVINDICAÇÕES

1. MÉTODO PARA USINAR A LASER UMA PEÇA DE TRABALHO, caracterizado pelo fato de que o método compreende:

direcionar, a partir de uma lente F-teta que tem um comprimento focal longo maior que cerca de 250 milímetros, um feixe de laser a um ângulo de inclinação de feixe não perpendicular a partir de um eixo geométrico óptico da lente que tem um perfil cartola e um ângulo de divergência de feixe estreito entre cerca de 1 grau e menos de 3 graus em direção a uma peça de trabalho disposta em uma plataforma móvel em pelo menos uma direção X e uma direção Y;

engatar o feixe de laser direcionado com a peça de trabalho;

mover a peça de trabalho e o feixe de laser direcionado um em relação ao outro; e

remover porções da peça de trabalho com o feixe de laser direcionado para definir uma superfície usinada.

2. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o direcionamento compreende direcionar o feixe de laser a um ângulo de inclinação de feixe não perpendicular entre cerca de 3 graus e cerca de 6 graus de modo que a superfície usinada tenha, geralmente, um afunilamento zero em relação à direção Z.

3. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o direcionamento compreende direcionar a partir da lente F-teta que tem um comprimento focal longo maior que cerca de 420 milímetros.

4. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o feixe de laser é direcionável sobre uma faixa de ângulos de inclinação de feixe que define um campo de visão utilizável que tem um perímetro, e o engate compreende engatar o feixe de laser direcionado com a peça de trabalho disposta no campo de visão utilizável com o eixo geométrico

do feixe de laser direcionado separado do perímetro do campo utilizável, e a remoção compreende remover porções da peça de trabalho com o feixe de laser direcionado de modo que a superfície usinada tenha, geralmente, um afunilamento zero em relação à direção Z.

5. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o feixe de laser é direcionável sobre uma faixa de ângulos de inclinação de feixe a partir do eixo geométrico óptico que define um campo de visão utilizável que tem um perímetro, e o engate compreende engatar o feixe de laser direcionado com a peça de trabalho disposta no campo de visão utilizável com o eixo geométrico do feixe de laser direcionado separado do perímetro do campo utilizável entre cerca de 15 milímetros a cerca de 30 milímetros, e a remoção compreende remover porções da peça de trabalho com o feixe de laser direcionado de modo que a superfície usinada tenha, geralmente, um afunilamento zero em relação à direção Z.

6. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o feixe de laser é direcionável sobre uma faixa de ângulos de inclinação de feixe a partir do eixo geométrico óptico que define um campo de visão utilizável que tem um perímetro, e o engate compreende engatar o feixe de laser direcionado com a peça de trabalho disposta no campo de visão utilizável com o eixo geométrico do feixe de laser direcionado separado do perímetro do campo utilizável, e a remoção compreende remover porções da peça de trabalho com o feixe de laser direcionado de modo que a superfície usinada tenha, geralmente, um afunilamento negativo em relação à direção Z.

7. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o feixe de laser é direcionável sobre uma faixa de ângulos de inclinação de feixe a partir do eixo geométrico óptico que define um campo de visão utilizável que tem um perímetro, e o engate compreende engatar o feixe de laser direcionado com a peça de trabalho disposta no campo de visão

utilizável com o eixo geométrico do feixe de laser direcionado espaçado dentro de uma faixa de cerca de 15 milímetros a partir do perímetro do campo utilizável, e a remoção compreende remover porções da peça de trabalho com o feixe de laser direcionado de modo que a superfície usinada tenha um afunilamento negativo em relação à direção Z.

8. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o direcionamento compreende direcionar o feixe de laser que tem um perfil cartola e uma divergência de feixe estreita a um ângulo fixo, e em que a movimentação compreende mover a plataforma na direção X e/ou na direção Y.

9. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o direcionamento compreende, adicionalmente, converter um feixe de laser que tem um perfil Gaussiano no feixe de laser direcionado que tem o perfil cartola.

10. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 9, caracterizado pelo fato de que a conversão compreende passar o feixe de laser que tem o perfil Gaussiano através de um dispositivo de fibra óptica.

11. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o engate do feixe de laser direcionado com a peça de trabalho compreende determinar uma distância de mudança e uma direção a partir do centro do campo de visão utilizável com base no ângulo da superfície usinada e mover a plataforma para localizar a porção da peça de trabalho a ser usinada a uma distância e direção predeterminadas a partir do centro do campo de visão utilizável.

12. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o fornecimento compreende fornecer uma peça de trabalho de compósito de matriz cerâmica disposta na plataforma.

13. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado

pelo fato de que a remoção compreende formar um corte em linha ou formar uma fenda.

14. SISTEMA DE USINAGEM A LASER PARA USINAR A LASER UMA PEÇA DE TRABALHO, caracterizado pelo fato de que o dito sistema de usinagem a laser compreende:

um laser operável para gerar um feixe de laser que tem um perfil Gaussiano;

um conversor para converter o feixe de laser que tem o perfil Gaussiano no feixe de laser que tem o perfil cartola;

uma lente F-teta que tem um comprimento focal longo maior que cerca de 250 milímetros;

uma plataforma operável para sustentar e mover a peça de trabalho móvel em pelo menos uma direção X e uma direção Y;

um dispositivo de orientação de feixe para receber o feixe de laser que tem o perfil cartola e direcionar o feixe de laser através da lente F-teta a um ângulo a partir de um eixo geométrico óptico da lente em direção à peça de trabalho na plataforma, sendo que o feixe de laser é direcionável sobre uma faixa de ângulos a partir do eixo geométrico óptico da lente que define um campo de visão utilizável que tem um perímetro e que tem um ângulo de divergência de feixe estreito de cerca de 1 grau e menos de 3 graus; e

um controlador operável para controlar o movimento da dita plataforma e/ou do dito dispositivo de orientação de feixe para orientar o feixe de laser que tem o perfil cartola através da lente F-teta e nas porções de remoção de peça de trabalho da peça de trabalho com o feixe de laser direcionado para definir uma superfície usinada.

15. SISTEMA DE USINAGEM A LASER, de acordo com a reivindicação 14, caracterizado pelo fato de que o dito dispositivo de orientação de feixe é operável para direcionar o feixe de laser a um ângulo de inclinação

de feixe não perpendicular entre cerca de 3 graus e cerca de 6 graus de modo que a superfície usinada tenha, geralmente, um afunilamento zero em relação à direção Z.

16. SISTEMA DE USINAGEM A LASER, de acordo com a reivindicação 14, caracterizado pelo fato de que o dito comprimento focal da dita lente F-teta compreende mais de cerca de 420 milímetros.

17. SISTEMA DE USINAGEM A LASER, de acordo com a reivindicação 14, caracterizado pelo fato de que o dito sistema é operável para engatar o feixe de laser direcionado com a peça de trabalho disposta no campo de visão utilizável com o eixo geométrico do feixe de laser direcionado separado do perímetro do campo utilizável de modo que a superfície usinada tenha afunilamento zero em relação à direção Z.

18. SISTEMA DE USINAGEM A LASER, de acordo com a reivindicação 14, caracterizado pelo fato de que o dito sistema é operável com o eixo geométrico do feixe de laser direcionado separado entre 15 milímetros a cerca de 30 milímetros a partir do perímetro do campo utilizável de modo que a superfície usinada na peça de trabalho tenha afunilamento zero em relação à direção Z.

19. SISTEMA DE USINAGEM A LASER, de acordo com a reivindicação 14, caracterizado pelo fato de que o dito sistema é operável para engatar o feixe de laser direcionado com a peça de trabalho disposta no campo de visão utilizável com o eixo geométrico do feixe de laser direcionado que é separado do perímetro do campo utilizável de modo que a superfície usinada tenha, geralmente, um afunilamento negativo em relação à direção Z.

20. SISTEMA DE USINAGEM A LASER, de acordo com a reivindicação 14, caracterizado pelo fato de que o dito sistema é operável com o eixo geométrico do feixe de laser direcionado que está dentro de uma faixa de cerca de 15 milímetros a partir do perímetro do campo utilizável de modo

que a superfície usinada tenha, geralmente, um afunilamento negativo em relação à direção Z.

21. SISTEMA DE USINAGEM A LASER, de acordo com a reivindicação 14, caracterizado pelo fato de que o conversor compreende um dispositivo de fibra óptica.

22. SISTEMA DE USINAGEM A LASER, de acordo com a reivindicação 14, caracterizado pelo fato de que o dito controlador é operável para determinar uma distância de mudança e uma direção a partir do centro do campo de visão utilizável com base no ângulo do corte e controlar o movimento da dita plataforma para localizar a porção da peça de trabalho a ser usinada a uma distância e direção predeterminadas a partir do centro do campo de visão utilizável.

23. SISTEMA DE USINAGEM A LASER, de acordo com a reivindicação 14, caracterizado pelo fato de que o dito sistema é operável para remover porções da peça de trabalho que compreende uma peça de trabalho cerâmica.

24. SISTEMA DE USINAGEM A LASER, de acordo com a reivindicação 14, caracterizado pelo fato de que o dito sistema é operável para remover porções da peça de trabalho que compreende um corte em linha ou uma fenda.

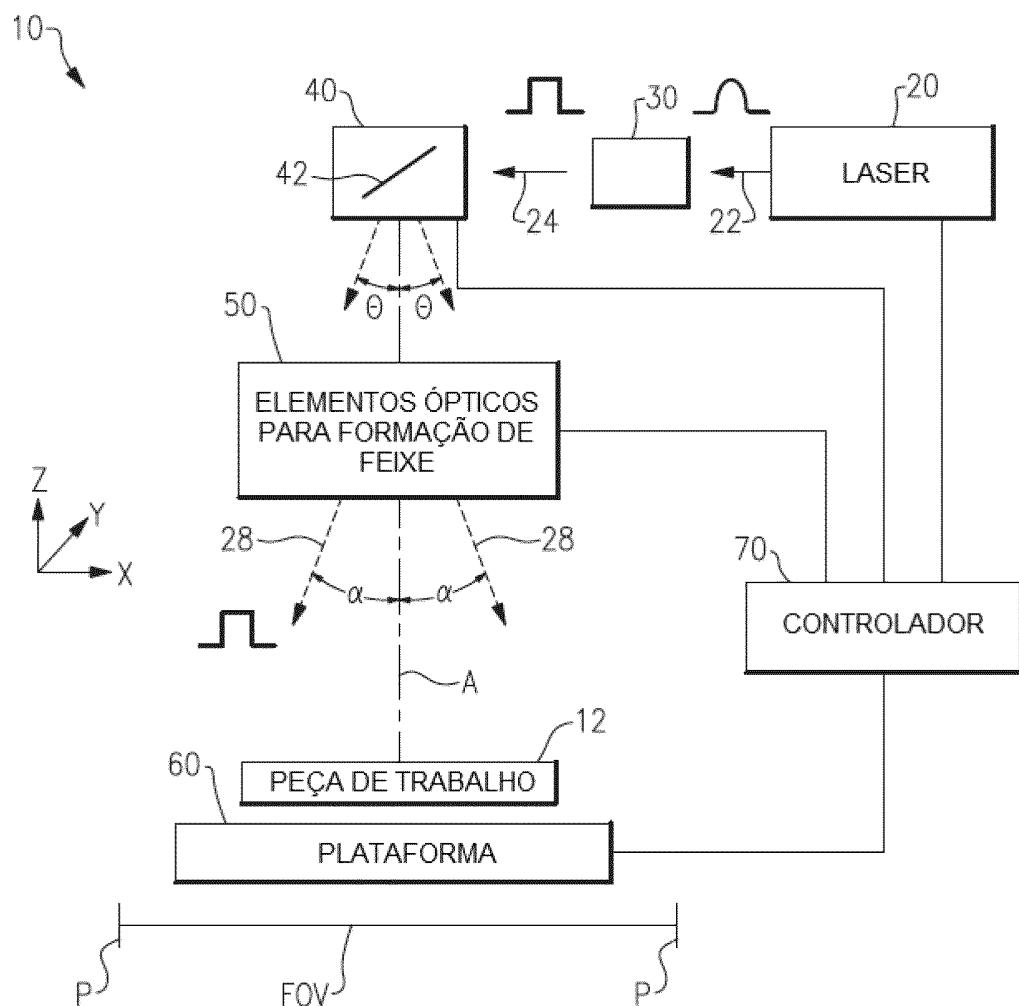
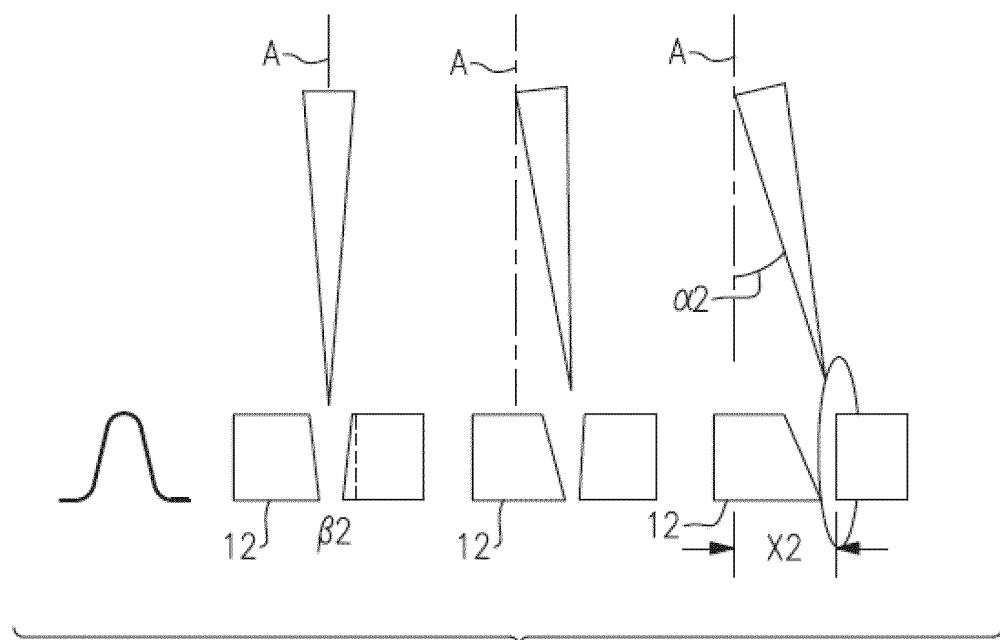
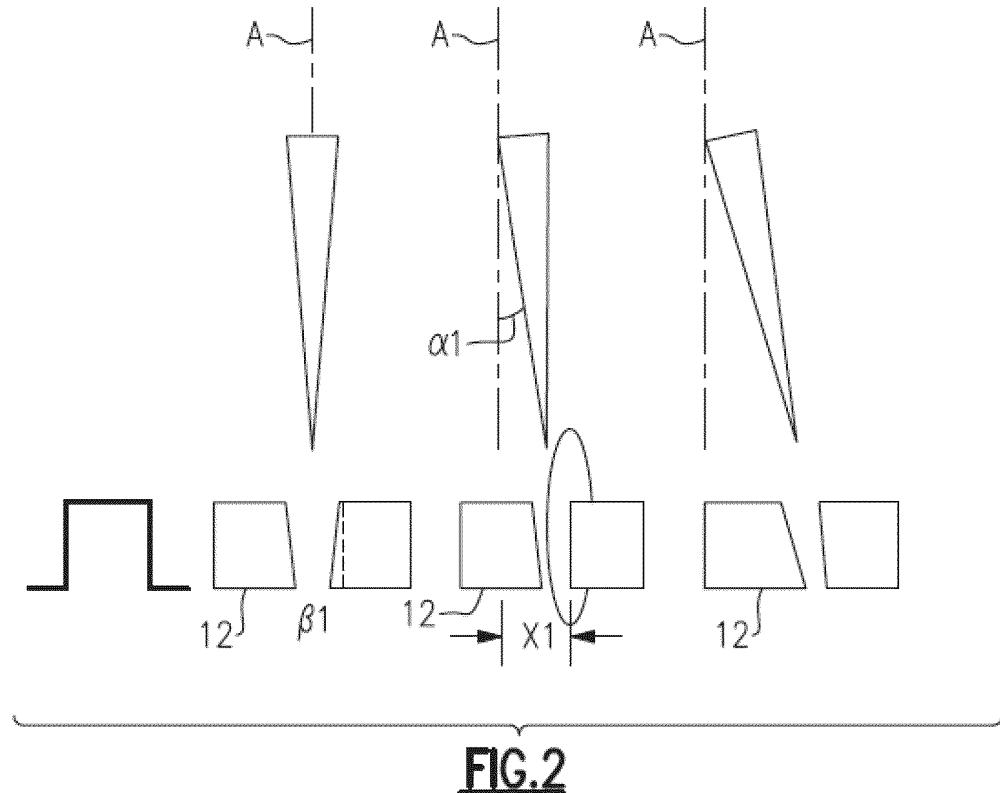
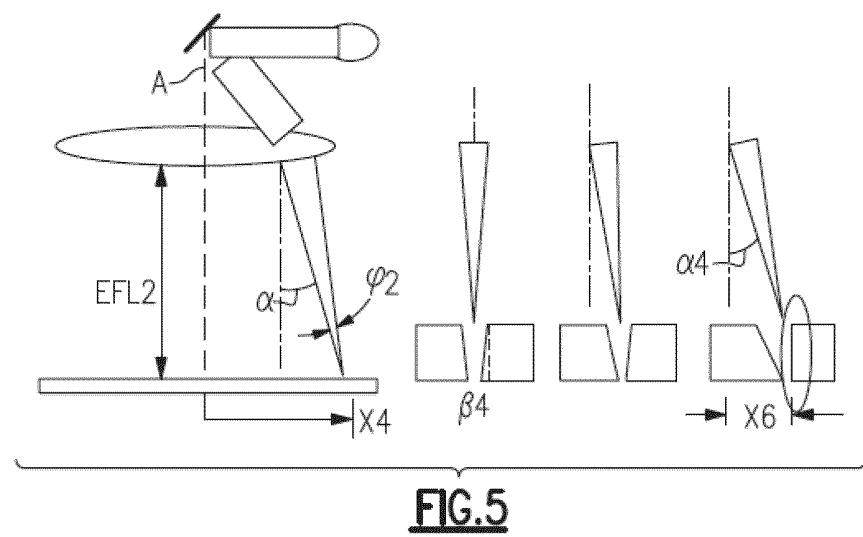
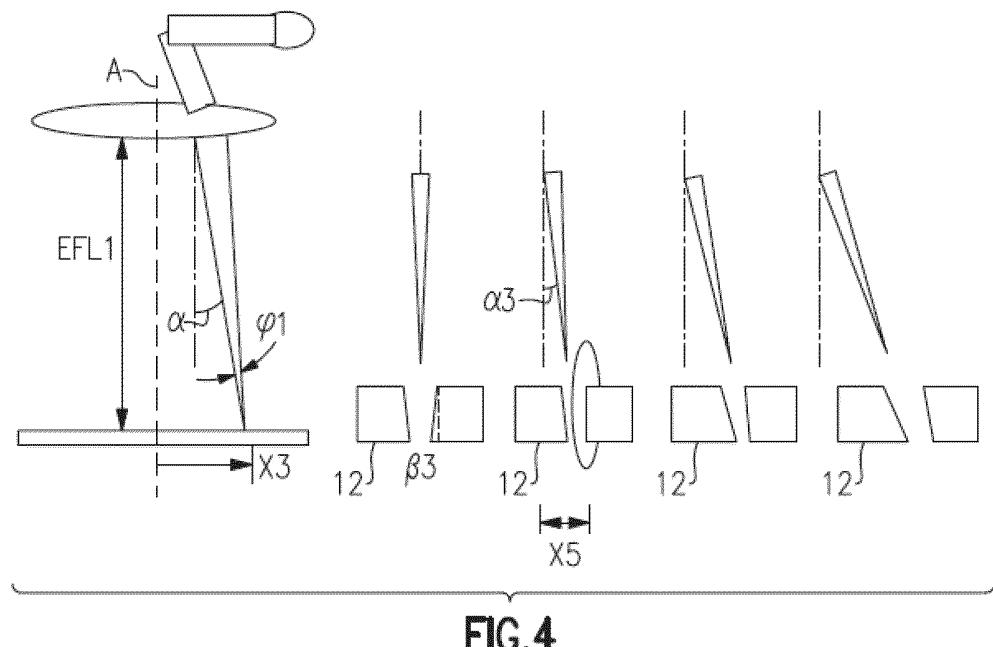


FIG.1



TÉCNICA ANTERIOR



TÉCNICA ANTERIOR

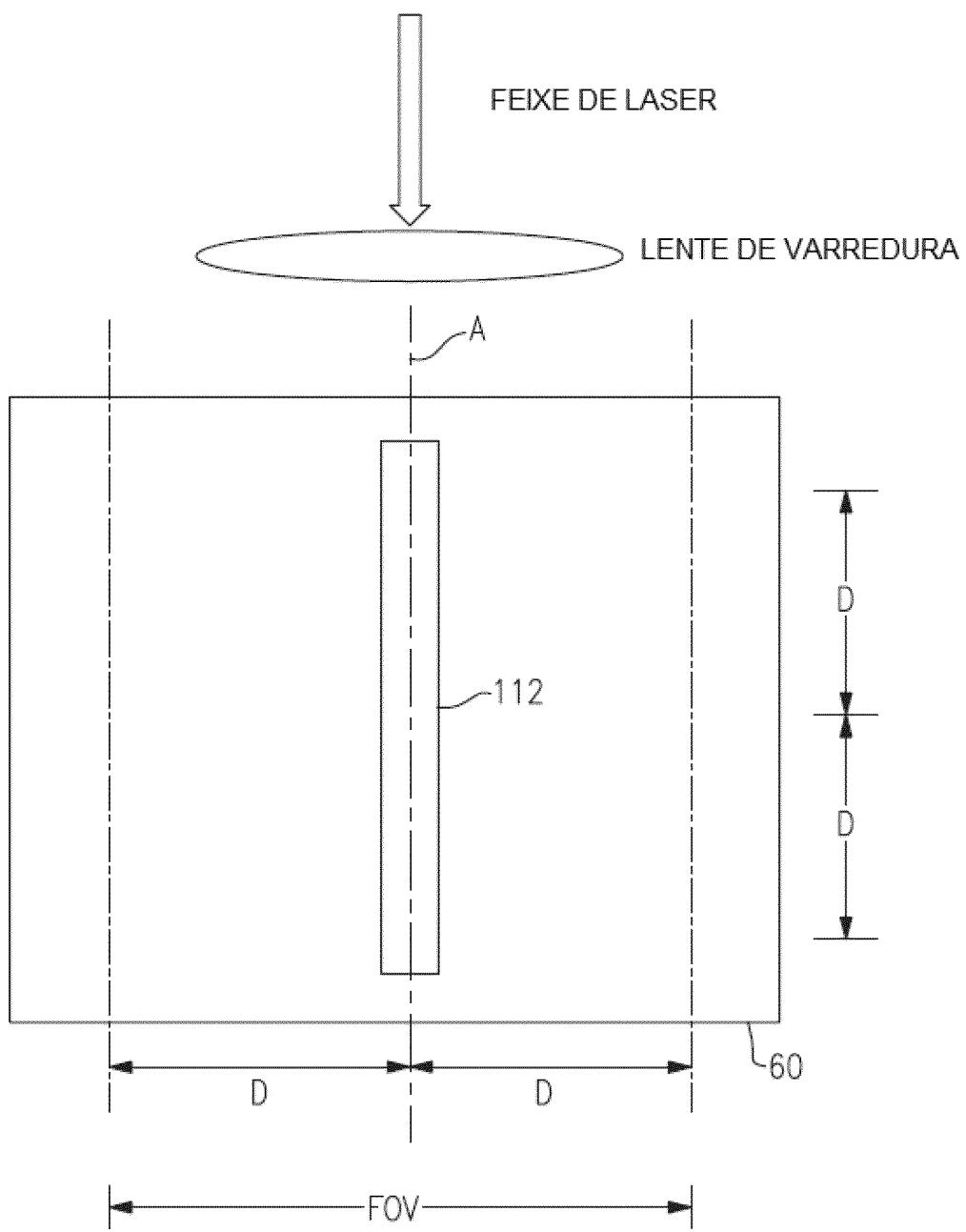


FIG.6

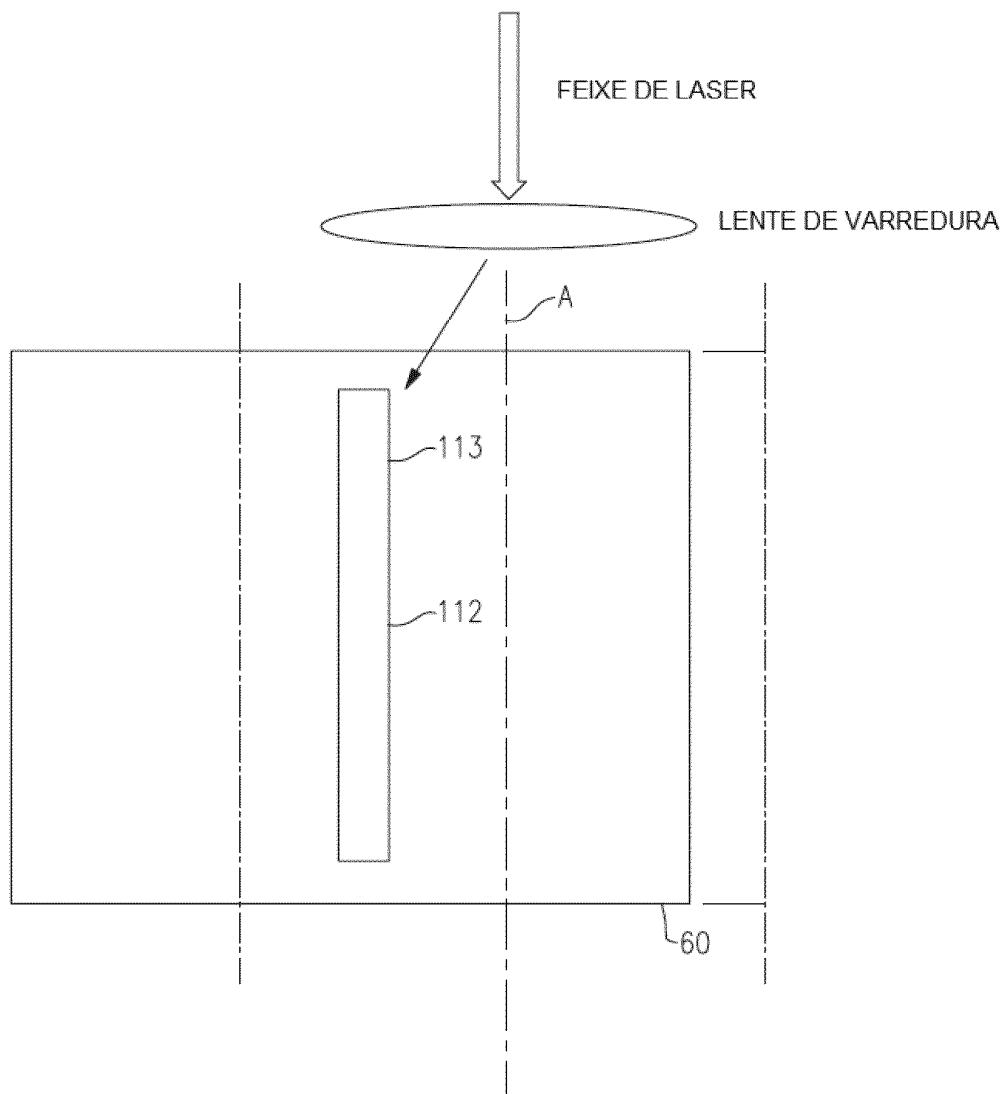


FIG.7

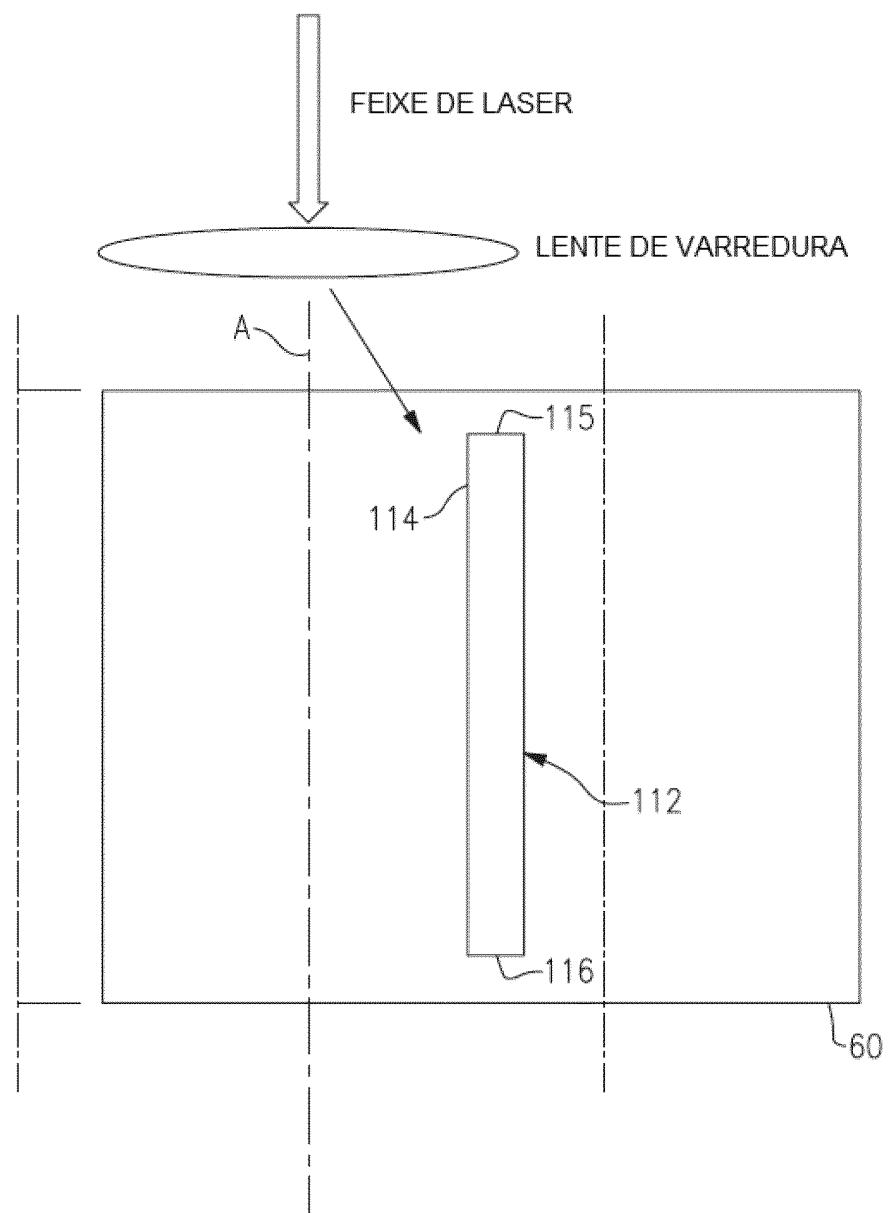


FIG.8

200

DIRECIONAR, A PARTIR DE UMA LENTE F-TETA QUE TEM UM COMPRIMENTO FOCAL LONGO MAIOR QUE CERCA DE 250 MM, UM FEIXE DE LASER A UM ÂNGULO DE INCLINAÇÃO DE FEIXE NÃO PERPENDICULAR A PARTIR DE UM EIXO GEOMÉTRICO ÓPTICO DA LENTE QUE TEM UM PERFIL CARTOLA E UM ÂNGULO DE DIVERGÊNCIA DE FEIXE ESTREITO DE CERCA DE 1 GRAU A CERCA DE 3 GRAUS EM DIREÇÃO A UMA PEÇA DE TRABALHO DISPOSTA EM UMA PLATAFORMA MÓVEL EM PELO MENOS UMA DIREÇÃO X E UMA DIREÇÃO Y.

210

ENGATAR O FEIXE DE LASER DIRECIONADO COM A PEÇA DE TRABALHO.

220

MOVER A PEÇA DE TRABALHO E O FEIXE DE LASER DIRECIONADO UM EM RELAÇÃO AO OUTRO.

230

REMOVER PORÇÕES DA PEÇA DE TRABALHO COM O FEIXE DE LASER DIRECIONADO PARA DEFINIR UMA SUPERFÍCIE USINADA.

240

FIG.9

**RESUMO**

**“MÉTODO E SISTEMA PARA USINAR A LASER UMA PEÇA DE TRABALHO”**

Trata-se de um método de usinagem a laser que inclui direcionar, a partir de uma lente F-teta que tem um comprimento focal longo maior que cerca de 250 milímetros, um feixe de laser a um ângulo de inclinação de feixe não perpendicular a partir de um eixo geométrico óptico da lente que tem um perfil cartola e um ângulo de divergência de feixe estreito entre cerca de 1 grau e cerca de 3 graus em direção a uma peça de trabalho em uma plataforma móvel em pelo menos uma direção X e uma direção Y, engatar o feixe de laser direcionado com a peça de trabalho disposta no campo de visão utilizável, mover a peça de trabalho e o feixe de laser direcionado um em relação ao outro e remover porções da peça de trabalho com o feixe de laser direcionado para definir uma superfície usinada.