



República Federativa do Brasil

Ministério do Desenvolvimento, Indústria,
Comércio e Serviços

Instituto Nacional da Propriedade Industrial



* B R 1 1 2 0 2 0 2 0 4 1 4 B 1 *

(11) BR 112020020414-5 B1

(22) Data do Depósito: 04/04/2019

(45) Data de Concessão: 05/09/2023

(54) Título: SISTEMA E MÉTODO PARA A FABRICAÇÃO DE PÓS DE MATERIAIS DÚCTEIS

(51) Int.Cl.: B22F 9/04; B22F 1/00; B33Y 70/00.

(30) Prioridade Unionista: 04/04/2018 US 62/652,473; 04/04/2018 US 62/652,483.

(73) Titular(es): METAL POWDER WORKS, LLC.

(72) Inventor(es): JOHN E. BARNES; CHRISTOPHER B. ALDRIDGE.

(86) Pedido PCT: PCT US2019025790 de 04/04/2019

(87) Publicação PCT: WO 2019/195550 de 10/10/2019

(85) Data do Início da Fase Nacional: 05/10/2020

(57) Resumo: SISTEMA E MÉTODO PARA A FABRICAÇÃO DE PÓS DE MATERIAIS DÚCTEIS. Um método de produção de pó inclui fornecer pelo menos um membro alongado incluindo um material dúctil; fornecer um cortador rotativo ou vibratório configurado para cortar repetidamente uma extremidade de pelo menos um membro alongado para produzir partículas; e avançar o pelo menos um membro alongado ou o cortador em direção ao outro do pelo menos um membro alongado ou o cortador para cortar as partículas do pelo menos um membro alongado para produzir um pó compreendendo uma pluralidade de partículas. As partículas produzidas pelo método podem ter um diâmetro que varia de cerca de 10 μm a cerca de 200 μm .

SISTEMA E MÉTODO PARA A FABRICAÇÃO DE PÓS DE MATERIAIS DÚCTEIS

Referência cruzada a depósitos relacionados

[001] O presente pedido reivindica prioridade ao Pedido de Patente Provisório dos Estados Unidos No. 62/652.473, depositado em 4 de abril de 2018, e ao Pedido de Patente Provisório dos Estados Unidos No. 62 652.483, depositado em 4 de abril de 2018, cada um dos quais é aqui incorporado em sua totalidade por referência.

Antecedentes da invenção

Campo da invenção

[002] O presente pedido é relativo a sistemas e métodos para fabricação de pó e, em particular, para sistemas e métodos para fabricação de um pó incluindo partículas com uma distribuição de tamanho estreita usando um dispositivo que corta membros extrudados, estirados ou dúcteis para formar partículas.

Descrição da arte relacionada

[003] Processos de fabricação aditivos, como impressão 3D ou prototipagem rápida, estão ganhando ampla aceitação como uma forma preferida de produzir peças projetadas com rapidez e alto grau de precisão. As máquinas de impressão 3D estão disponíveis comercialmente de vários fabricantes, incluindo EOS Electro Optical Systems Group, SLM Solutions Group AG, Concept Laser GmbH, Arcam AB, Renishaw Plc, 3D Systems, Inc., ExOne Company LLP, Hewlett-Packard Co., e General Electric (aditivo GE). Essas máquinas de manufatura aditiva e de impressão 3D transformam pós, geralmente pós de metal, em peças manufaturadas, como ferramentas, matrizes, máquinas, peças automotivas, artigos decorativos e objetos semelhantes. Os pós de metal podem compreender, por exemplo, aço inoxidável, aços de baixa liga, ligas de níquel, titânio e materiais semelhantes. Tendo em vista o uso generalizado de processos de fabricação de aditivos, espera-se que a necessidade de material de origem, como pós de metal, continue a aumentar.

[004] Pós para fabricação aditiva são convencionalmente feitos por técnicas de atomização, como por atomização de plasma ou atomização de gás. A atomização geralmente produz um pó que compreende partículas com uma ampla variedade de tamanhos. Em alguns casos, apenas cerca de 20% a 40% do pó produzido por tais processos de atomização são utilizáveis (por exemplo, de tamanho e forma adequados) para a fabricação de aditivos. Os 60% a 80% restantes do pó são usados para outras aplicações, reciclados ou então descartados.

[005] Um dispositivo de atomização exemplar para a produção de pó metálico é divulgado na Patente dos Estados Unidos No. 6.632.394, que é aqui incorporada por referência em sua totalidade. O dispositivo de atomização inclui um vaso metalúrgico para conter uma quantidade de metal fundido. O metal fundido é introduzido em uma câmara de atomização na forma de uma corrente de metal, que passa para a câmara de atomização através de um elemento de bico. Na câmara de atomização, jatos de gás de diferentes orientações entram em contato com a corrente de metal fundido, que quebra a corrente de metal fundido para formar gotículas que congelam em grãos, produzindo partículas de metal.

[006] A patente US 6.632.394 divulga que o método de atomização produz um pó incluindo partículas que variam em tamanho de 0 μm a 500 μm . Cerca de 75% das partículas formadas tinham menos de 100 μm de tamanho. 34,9% do pó produzido tinha entre 0 e 45 μm de tamanho. Outros métodos de atomização exemplares para formar pós com rendimentos semelhantes ou distribuições de tamanho de partícula são divulgados na Patente dos Estados Unidos No. 4.382.903 e no Pedido de Patente Internacional. No. 89/05197.

[007] Embora partículas tão grandes quanto 150 μm possam ser usadas em algumas máquinas de fabricação aditiva, geralmente, os processos de fabricação aditiva são realizados usando partículas que variam em tamanho de cerca de 15 μm a cerca de 100 μm . Frequentemente, grandes porções de pó produzidas por métodos de atomização devem ser usadas para outras aplicações, uma vez que as partículas são muito grandes ou não uniformes e não adequadas para a fabricação de aditivos. Além disso, a eficiência e a velocidade das máquinas de impressão 3D podem ser afetadas por uma taxa de fluxo das partículas de pó para dentro e através da máquina. Pós incluindo partículas de tamanho e forma substancialmente uniformes geralmente têm melhores características de fluxo e fluem mais facilmente através das máquinas. Conseqüentemente, os processos de fabricação de pó para a produção eficiente de pós de tamanho e forma uniformes irão melhorar a eficiência operacional das máquinas de impressão 3D.

Sumário da invenção

[008] Em vista das distribuições de tamanho de partícula inconsistentes e falta de uniformidade de partícula fornecida pelos métodos de produção de pó atuais, há uma necessidade de dispositivos e métodos para a produção de pós com uma distribuição de

tamanho de pó estreita (PSD) e uniformidade de partícula. Desejavelmente, uma grande maioria das partículas produzidas deve ser adequada para uso em processos de fabricação de aditivos. Há também a necessidade de métodos para a produção de partículas densas com baixa porosidade e formas uniformes para melhorar a eficiência operacional das máquinas de impressão 3D. Os dispositivos e métodos divulgados neste documento são projetados para atender a essas necessidades.

[009] De acordo com um aspecto da presente invenção, um método de produção de pó inclui: fornecer pelo menos um membro alongado que compreende um material dúctil; fornecer um cortador rotativo ou vibratório configurado para cortar repetidamente uma extremidade de pelo menos um membro alongado para produzir partículas; e avançar um de pelo menos um membro alongado ou o cortador em direção ao outro de pelo menos um membro alongado ou o cortador para cortar as partículas de pelo menos um membro alongado para produzir um pó. O pó inclui uma pluralidade de partículas com um diâmetro ou dimensão máxima variando de cerca de 10 μm a cerca de 200 μm .

[0010] De acordo com outro aspecto, um sistema para a produção de pós compreendendo uma pluralidade de partículas inclui: pelo menos um cortador rotativo ou vibratório configurado para cortar uma extremidade de pelo menos um membro alongado incluindo um material dúctil para produzir partículas. O cortador inclui um acionador para vibrar ou girar o cortador em uma frequência predeterminada. O sistema inclui ainda pelo menos um suporte para segurar o pelo menos um membro alongado em uma posição desejada em relação ao pelo menos um cortador e pelo menos um atuador linear configurado para avançar o pelo menos um membro alongado em direção a pelo menos um cortador. O sistema inclui ainda pelo menos um controlador eletricamente conectado ao pelo menos um acionador e ao pelo menos um atuador linear. O controlador inclui um componente de entrada e é configurado para fazer com que o atuador linear mova o pelo menos um membro alongado em direção ao cortador a uma taxa de alimentação predeterminada e para fazer com que o cortador vibre ou gire na frequência predeterminada.

[0011] Exemplos da presente invenção serão descritos nas seguintes cláusulas numeradas.

[0012] Cláusula 1: Um método de produção de pó, caracterizado por compreender as etapas de: fornecer pelo menos um membro alongado que compreende um material

dúctil; fornecer um cortador rotativo ou vibratório configurado para cortar repetidamente uma extremidade de pelo menos um membro alongado para produzir partículas; e avançar um do pelo menos um membro alongado ou o cortador em direção ao outro do pelo menos um membro alongado ou o cortador para cortar as partículas do pelo menos um membro alongado para produzir um pó compreendendo uma pluralidade de partículas com um diâmetro ou dimensão máxima variando de cerca de 10 µm a cerca de 200 µm.

[0013] Cláusula 2: O método da cláusula 1, caracterizado por o corte de pelo menos um membro alongado compreende o avanço de pelo menos um membro alongado em direção ao cortador a uma predeterminada pelo menos uma taxa de alimentação e mover o cortador para cortar a pluralidade de partículas do pelo menos um membro alongado em pelo menos uma frequência vibracional ou rotacional predeterminada.

[0014] Cláusula 3: O método da cláusula 1 ou cláusula 2, caracterizado por o cortador compreende um disco rotativo que compreende pelo menos uma abertura dimensionada para receber o pelo menos um membro alongado.

[0015] Cláusula 4: O método de qualquer uma das cláusulas 1-3, compreendendo o fornecimento de uma pluralidade de membros alongados e simultaneamente cortar partículas de cada um da pluralidade de membros alongados com o cortador.

[0016] Cláusula 5: O método de qualquer uma das cláusulas 1-4, caracterizado por pelo menos um membro alongado compreende um fio de metal trefilado com uma seção transversal circular.

[0017] Cláusula 6: O método de qualquer uma das cláusulas 1-5, caracterizado por pelo menos um membro alongado compreende um ou mais aço, níquel, alumínio ou titânio.

[0018] Cláusula 7: O método de qualquer uma das cláusulas 1-6, caracterizado por pelo menos um membro alongado possui um diâmetro ou dimensão máxima de 10 µm ou maior.

[0019] Cláusula 8: O método de qualquer uma das cláusulas 1-7, caracterizado por o pelo menos um membro alongado possui um diâmetro ou dimensão máxima que varia de 10 µm a 200 µm.

[0020] Cláusula 9: O método de qualquer uma das cláusulas 1-8, caracterizado por pelo menos 95% das partículas da pluralidade de partículas possui um diâmetro dentro de 10% de um tamanho alvo.

[0021] Cláusula 10: O método da cláusula 9, caracterizado por o tamanho alvo

compreender um diâmetro de 10 µm a 200 µm.

[0022] Cláusula 11: O método de qualquer uma das cláusulas 1-10, caracterizado por pelo menos 95% das partículas da pluralidade de partículas possuem um diâmetro que varia de 15 µm a 100 µm.

[0023] Cláusula 12: O método de qualquer uma das cláusulas 1-11, caracterizado por pelo menos 99% das partículas da pluralidade de partículas possuem um diâmetro que varia de 15 µm a 100 µm

[0024] Cláusula 13: O método de qualquer uma das cláusulas 1-12, caracterizado por o avanço de pelo menos um membro alongado em direção a pelo menos um cortador compreender o avanço de pelo menos um membro alongado a uma primeira taxa de alimentação por um primeiro período de tempo predeterminado seguido avançando o pelo menos um membro alongado a uma segunda taxa de alimentação por um segundo período de tempo predeterminado.

[0025] Cláusula 14: O método da cláusula 13, caracterizado por durante o primeiro período de tempo predeterminado, uma primeira pluralidade de partículas ser produzida, em que pelo menos 95% das partículas da primeira pluralidade de partículas têm um diâmetro dentro de 10% de um primeiro tamanho de destino.

[0026] Cláusula 15: O método da cláusula 14, em que durante o segundo período de tempo predeterminado, uma segunda pluralidade de partículas é produzida, em que pelo menos 95% das partículas da segunda pluralidade de partículas têm um diâmetro dentro de 10% de um segundo tamanho de destino, que é diferente do tamanho do primeiro destino.

[0027] Cláusula 16: O método da cláusula 15, compreendendo ainda selecionar uma distribuição de tamanho de partícula alvo para o primeiro tamanho alvo e o segundo tamanho alvo e, antes de avançar o pelo menos um membro alongado em direção ao cortador, determinar o primeiro período de tempo e o segundo período de tempo com base na distribuição de tamanho de partícula selecionada.

[0028] Cláusula 17: O método de qualquer uma das cláusulas 1-16, caracterizado por o corte das partículas de pelo menos um membro alongado para produzir o pó não introduzir porosidade nas partículas, de modo que a porosidade das partículas é essencialmente a mesma, como a porosidade do membro alongado.

[0029] Cláusula 18: O método de qualquer uma das cláusulas 1-17, compreendendo

ainda, após o pó ser produzido, esferoidizar a pluralidade de partículas pela aplicação de pelo menos um dentre calor, um agente químico e forças abrasivas às partículas.

[0030] Cláusula 19: Um sistema para a produção de pós compreendendo uma pluralidade de partículas, o sistema compreendendo: pelo menos um cortador rotativo ou vibratório configurado para cortar uma extremidade de pelo menos um membro alongado compreendendo um material dúctil para produzir partículas, o cortador compreendendo um acionador para vibrar ou girar o cortador em uma frequência predeterminada; pelo menos um suporte para segurar o pelo menos um membro alongado em uma posição desejada em relação ao pelo menos um cortador; pelo menos um atuador linear configurado para avançar o pelo menos um membro alongado em direção ao pelo menos um cortador; e pelo menos um controlador eletricamente conectado ao pelo menos um acionador e ao pelo menos um atuador linear, o controlador compreendendo um componente de entrada e sendo configurado para fazer com que o atuador linear mova o pelo menos um membro alongado em direção ao cortador em um determinado taxa de alimentação e fazer com que o cortador vibre ou gire na frequência predeterminada.

[0031] Cláusula 20: O sistema da cláusula 19, caracterizado por a taxa de alimentação predeterminada e a frequência predeterminada serem recebidas pelo controlador com o componente de entrada.

[0032] Cláusula 21: O sistema da cláusula 19 ou cláusula 20, compreendendo ainda um recipiente de coleta configurado para receber a pluralidade de partículas formadas pelo corte de pelo menos um membro alongado.

[0033] Cláusula 22: O sistema da cláusula 21, caracterizado por o recipiente de coleta compreender um vácuo configurado para aspirar um pó para o recipiente de coleta.

[0034] Cláusula 23: O sistema da cláusula 21 ou cláusula 22, caracterizado por o recipiente de coleta compreender um ou mais sensores eletricamente conectados a pelo menos um controlador, o um ou mais sensores sendo configurados para medir as características do pó produzido, e caracterizado por o pelo menos um controlador ser configurado para modificar o um ou mais parâmetros operacionais do pelo menos um acionador com base nas informações detectadas por um ou mais sensores.

[0035] Cláusula 24: O sistema da cláusula 23, caracterizado por um ou mais sensores serem configurados para detectar pelo menos um de: volume médio de partícula, volume médio de partícula, distribuição de volume de partícula, peso total de pó, volume total de

pó ou esfericidade média.

[0036] Cláusula 25: O sistema de qualquer uma das cláusulas 19-24, caracterizado por pelo menos um controlador ser configurado para receber pelo componente de entrada um tamanho de partícula alvo e para ajustar automaticamente pelo menos um da taxa de alimentação e a frequência predeterminada para produzir partículas do tamanho selecionado.

[0037] Cláusula 26: O sistema da cláusula 25, caracterizado por o tamanho de partícula alvo selecionado pode ser ajustado dinamicamente por um usuário enquanto o acionador está em operação.

[0038] Estas e outras características da presente invenção, bem como os métodos de operação e funções dos elementos de estruturas relacionados e a combinação de peças e economias de fabricação, se tornarão mais evidentes após a consideração da seguinte descrição e as reivindicações anexas com referência às figuras em anexo, todos os quais fazem parte desta patente, em que números de referência semelhantes designam partes correspondentes nas várias figuras. Conforme usado no relatório descritivo e nas reivindicações, a forma singular de "um", "uma" e "o" inclui referentes plurais, a menos que o contexto dite claramente o contrário.

Breve descrição das figuras

[0039] A figura 1A é um desenho esquemático que mostra uma vista lateral de um dispositivo de corte de partículas de acordo com um aspecto da divulgação;

[0040] A figura 1B é um desenho esquemático de uma vista frontal do dispositivo da figura 1A;

[0041] A figura. 2A é um desenho esquemático de outro exemplo de uma matriz de corte para um dispositivo de partículas, de acordo com um aspecto da divulgação;

[0042] A figura 2B é um desenho esquemático de outro exemplo de uma matriz de corte para um dispositivo de partículas, de acordo com um aspecto da divulgação;

[0043] A figura 2C é um desenho esquemático de outro exemplo de uma matriz de corte para um dispositivo de partículas, de acordo com um aspecto da divulgação;

[0044] A figura 3 é um fluxograma que mostra as etapas de um método para produzir partículas usando um dispositivo de corte de partículas de acordo com um aspecto da divulgação;

[0045] A figura 4A é um desenho esquemático que mostra uma vista superior de outro

exemplo de um dispositivo de corte de partículas, de acordo com um aspecto da divulgação;

[0046] A figura 4B é um desenho esquemático de uma vista frontal do dispositivo da FIG. 4A;

[0047] A figura 5 é um desenho esquemático de um sistema para gerar um pó de acordo com um aspecto da divulgação; e

[0048] As figuras 6A a 6C mostram telas de uma interface de usuário para controlar e receber feedback de um sistema de fabricação de pó incluindo o dispositivo da Figura 1A, de acordo com aspectos da presente invenção.

Descrição detalhada da presente invenção

[0049] Para os fins da seguinte descrição detalhada, deve ser entendido que a invenção pode assumir muitas variações alternativas e sequências de etapas, exceto quando expressamente especificado o contrário. Além disso, salvo indicação contrária, todos os números que expressam, por exemplo, um tamanho, diâmetro ou dimensão máxima de uma partícula, conforme usados no relatório descritivo e nas reivindicações, devem ser entendidos como sendo modificados em todos os casos pelo termo "cerca de". Por conseguinte, a menos que indicado o contrário, os parâmetros numéricos estabelecidos na seguinte descrição e reivindicações anexas são aproximações que podem variar dependendo das propriedades desejadas a serem obtidas pela presente invenção. No mínimo, e não como uma tentativa de limitar a aplicação da doutrina dos equivalentes ao escopo das reivindicações, cada parâmetro numérico deve pelo menos ser interpretado à luz do número de dígitos significativos relatados e aplicando técnicas de arredondamento comuns.

[0050] Não obstante as faixas numéricas e parâmetros que estabelecem o amplo escopo da invenção sejam aproximações, os valores numéricos estabelecidos nos exemplos específicos são relatados com a maior precisão possível. Qualquer valor numérico, entretanto, contém inerentemente certos erros necessariamente resultantes do desvio padrão encontrado em suas respectivas medições de teste.

[0051] Além disso, deve ser entendido que qualquer intervalo numérico descrito neste documento se destina a incluir todas as subfaixas subsumidas nele. Por exemplo, uma faixa de "1 a 10" se destina a incluir todas e quaisquer subfaixas entre e incluindo o valor mínimo descrito de 1 e o valor máximo descrito de 10, ou seja, todas as subfaixas

começando com um valor mínimo igual a ou maior que 1 e terminando com um valor máximo igual ou menor que 10, e todos os subintervalos intermediários, por exemplo, 1 a 6,3, ou 5,5 a 10, ou 2,7 a 6,1.

[0052] Conforme usado neste documento, a forma singular de "um", "uma" e "o / a" inclui referentes plurais, a menos que o contexto dite claramente o contrário.

[0053] Conforme usado neste documento, os termos "superior", "inferior" e seus derivados devem se referir à invenção conforme ela é orientada nas figuras anexas. O termo "proximal" refere-se a uma porção de um objeto mantido por ou montado em outra estrutura. O termo "distal" se refere a uma porção de um objeto oposta à extremidade "proximal" do mesmo e, por exemplo, pode ser uma porção livre ou extremidade do objeto que não é mantida por ou montada em outra estrutura. No entanto, deve ser entendido que a invenção pode assumir várias orientações alternativas e, portanto, tais termos não devem ser considerados como limitantes. Além disso, deve ser entendido que a invenção pode assumir muitas variações alternativas e sequências de etapas, exceto quando expressamente especificado o contrário. Também deve ser entendido que os dispositivos e processos específicos ilustrados nas figuras anexas e descritos na especificação a seguir são exemplos. Portanto, dimensões específicas e outras características físicas relacionadas às configurações divulgadas neste documento não devem ser consideradas como limitantes.

[0054] A presente descrição é direcionada a dispositivos de cisalhamento e/ou corte 10, bem como a métodos e sistemas de controle 100 para tais dispositivos 10. Os dispositivos de corte 10, métodos e sistemas de controle 100 são configurados para produzir pós por corte de partículas de um tamanho desejado de membros extrudados ou estirados, tais como fios, cabos ou filamentos, formados de materiais dúcteis. Os membros extrudados ou estirados podem compreender partículas formadas a partir de materiais dúcteis, tais como metais e polímeros selecionados, que podem ser extrudados ou estirados. As partículas produzidas podem ser adequadas para processos de manufatura aditiva, como para uso com impressão 3D e máquinas de prototipagem rápida. Desejavelmente, o dispositivo de corte 10 fornece maior controle sobre o tamanho de partícula, razão de aspecto de morfologia, densidade, porosidade e outras características que podem ser fornecidas por outros processos de fabricação. Acredita-se que o maior controle sobre o tamanho e a forma das partículas seja especialmente útil para processos de fabricação

aditiva, como processos de fabricação realizados com impressão 3D e máquinas de prototipagem rápida. Conforme discutido anteriormente, tais processos de fabricação de aditivos geralmente requerem quantidades substanciais de pós com partículas de tamanho semelhante possuindo formas essencialmente uniformes.

[0055] Em alguns exemplos, o dispositivo de corte 10 pode produzir um pó com uma distribuição de tamanho de pó estreito ou rigidamente controlada (PSD). Por exemplo, os pós produzidos podem compreender uma pluralidade de partículas, em que pelo menos cerca de 95% das partículas têm um diâmetro ou dimensão máxima inferior a 200 μm e, de preferência, pelo menos 95% das partículas têm um diâmetro ou dimensão máxima variando em tamanho de cerca de 10 μm a cerca de 200 μm . Teoricamente, o dispositivo de corte 10 pode produzir um pó em que pelo menos 99% das partículas têm um diâmetro ou dimensão máxima variando de 15 μm a 100 μm . Conforme usado nesta descrição, "dimensão máxima" se refere a uma distância em linha reta mais longa entre pontos em lados opostos de uma partícula ao longo de um eixo da partícula e passando pelo centro da partícula. Por exemplo, para uma partícula esférica, a dimensão e o diâmetro máximos são os mesmos. Para partículas de formato cilíndrico, elipsoide ou retangular, a dimensão máxima seria um comprimento axial da partícula.

[0056] Em alguns exemplos, pelo menos 95% das partículas do pó podem ter um diâmetro ou dimensão máxima dentro de 10% do tamanho alvo. Teoricamente, os métodos aqui divulgados podem fornecer um pó em que 95% das partículas têm um diâmetro ou dimensão máxima dentro de 1% do tamanho alvo. O tamanho alvo pode ser, por exemplo, um tamanho alvo ideal para impressão 3D. Embora não se pretenda limitar-se à teoria, acredita-se que um tamanho ideal para impressão 3D pode ser de cerca de 15 μm a 100 μm , dependendo do material e da máquina de impressão sendo usada. Por exemplo, o dispositivo de corte 10 pode ser usado para produzir um pó no qual 95% das partículas têm um diâmetro ou dimensão máxima de 45 $\mu\text{m} \pm 10\%$. O dispositivo de corte 10 também pode ser usado para produzir pós incluindo dois ou mais tamanhos de partícula alvo. Por exemplo, um pó pode ser preparado em que 50% das partículas caem dentro de uma primeira faixa estreita de tamanho e 50% das partículas estão dentro de uma segunda faixa estreita de tamanho diferente e separada da primeira faixa de tamanho. Por exemplo, poderia ser produzido um pó em que 50% das partículas tenham um diâmetro ou dimensão máxima de 20 $\mu\text{m} \pm 10\%$ e 50% das partículas tenham um

diâmetro ou dimensão máxima de $80 \mu\text{m} \pm 10\%$. O dispositivo de corte 10 pode produzir o pó com o tamanho ou tamanhos de partícula selecionados. O usuário pode alterar o tamanho ou formato de partícula desejado facilmente, simplesmente inserindo um novo tamanho de partícula no sistema.

[0057] Embora não pretenda estar limitado pela teoria, acredita-se que a forma ou morfologia das partículas está relacionada à taxa de fluxo das partículas em processos de fabricação aditiva. Em particular, acredita-se que as partículas de certas formas uniformes fluem mais facilmente através das máquinas de impressão 3D do que os pós, incluindo partículas com formas diferentes ou não uniformes. O dispositivo de corte 10 fornece um mecanismo para controlar a morfologia das partículas com um alto grau de sensibilidade. Por conseguinte, o dispositivo de corte 10 pode ser usado para produzir partículas otimizadas para aumento da taxa de fluxo em processos de fabricação de aditivos.

[0058] Além disso, o dispositivo de corte 10 pode produzir partículas com uma variedade de morfologias e relações de aspecto sem introduzir porosidade. Se a morfologia das partículas formadas não for satisfatória, as partículas produzidas pelos métodos aqui divulgados podem ser feitas para se conformar melhor a uma forma desejada (por exemplo, para se tornarem mais esféricas) por técnicas de pós-processamento. Além disso, as partículas produzidas pelos métodos aqui divulgados geralmente têm baixa porosidade em relação às partículas produzidas por outros métodos. Conforme usado neste documento, "materiais de baixa porosidade" são materiais com uma massa interna ou parte volumosa que é essencialmente livre de poros, cavidades, espaços vazios, aberturas ou fendas. Em particular, uma vez que a formação de partículas pelo dispositivo de corte 10 não introduz porosidade, as partículas formadas pelo dispositivo de corte 10 e métodos aqui divulgados têm essencialmente a mesma porosidade que o material de origem ou membros alongados 12. As partículas formadas pelo dispositivo de corte 10 são também mais densas do que partículas formadas por métodos de atomização. Em alguns casos, o uso de partículas mais densas para a fabricação aditiva pode reduzir ou eliminar a necessidade de pós-processamento de artigos moldados ou impressos para remover a porosidade. Por exemplo, os artigos moldados feitos usando os pós divulgados neste documento podem não precisar ser processados por prensagem isostática a quente, como é realizado atualmente durante a fabricação de aditivos.

[0059] Embora não se pretenda estar limitado pela teoria, também se acredita que os

dispositivos 10 e métodos aqui divulgados produzem partículas de pó com certas vantagens químicas em comparação com partículas formadas por atomização. Por exemplo, os dispositivos 10 e métodos aqui divulgados não alteram uma composição de fase do material de origem ou matéria-prima durante a formação do pó. Por conseguinte, os dispositivos 10 e métodos aqui divulgados podem ser usados para formar pós de materiais não soldáveis, sem etapas de processamento adicionais exigidas por atomização. Os materiais não soldáveis podem incluir ligas metálicas de alta temperatura de fusão (por exemplo, liga de alumínio da série 7000) e polímeros projetados com altas temperaturas de fusão. Os materiais de alta temperatura de fusão podem não ser soldáveis porque os precipitados formados a partir de tais materiais tendem a se dissolver novamente na solução durante o aquecimento ou soldagem. Nesse caso, a solução deverá envelhecer para permitir que os precipitados voltem a cair da solução. De maneira semelhante, a atomização de materiais de alto ponto de fusão também faz com que os precipitados se dissolvam na solução. A fim de reformar os precipitados, alguns processos de atomização fundem novamente a solução, enquanto outros evitam a fusão total da solução (por exemplo, para processos de jato de aglutinante e pulverização a frio). Em contraste, em um exemplo específico, pós de forma irregular formados a partir de uma liga não soldável (por exemplo, alumínio da série 7000) podem ser impressos por um processo de pulverização a frio. Vantajosamente, a composição de fase das partículas de pó é retida durante o processo de formação. A composição da fase também seria preservada durante o jateamento do aglutinante, que também é um processo a frio.

Dispositivos cortadores de partículas rotativos ou vibratórios

[0060] As figuras 1A e 1B mostram um dispositivo de corte 10, que produz partículas por cisalhamento e/ou corte de partículas de um tamanho desejado das extremidades dos membros alongados extrudados ou estirados 12 que se estendem através do dispositivo de corte 10. O dispositivo de corte 10, mostrado nas figuras 1A e 1B, inclui oito membros alongados, embora o número de membros alongados não se pretenda ser limitante. Em outros exemplos, o dispositivo de corte 10 pode ser adaptado para incluir membros alongados adicionais para aumentar a velocidade e eficiência de produção. Por exemplo, um dispositivo de corte 10 pode incluir doze ou mais membros alongados 12. O dispositivo de corte 10 é configurado para produzir partículas de um tamanho predeterminado essencialmente uniforme ou PSD a partir dos membros alongados 12 com um alto grau de

precisão e controle. Os membros alongados 12 são geralmente artigos puxados (por exemplo, fios, cabos, filamentos ou hastes) compreendendo uma primeira extremidade ou extremidade proximal 14, uma segunda extremidade ou extremidade distal 16 configurada para ser cortada por um conjunto de cortador 20 e um corpo alongado 18 se estendendo entre a extremidade proximal 14 e a extremidade distal 16.

[0061] Os membros alongados 12 podem ser formados de materiais dúcteis. Conforme usado neste documento, um "material dúctil" se refere a um material que é capaz de ser extrudado ou puxado em um fio fino ou haste. Por exemplo, a fim de produzir partículas de um tamanho apropriado para processos de fabricação de aditivos, os materiais dúcteis aqui referidos podem precisar ser capazes de ser puxados em um fio fino com um diâmetro tão pequeno quanto 10 μm . Em alguns exemplos, um diâmetro dos membros alongados 12 pode variar de 10 μm a 200 μm ou, de preferência, de 15 μm a 100 μm . O material dúctil é geralmente de alta qualidade ou premium, e pode ser material virgem de composição conhecida e sem contaminantes. Em alguns exemplos, o material pode compreender um material reciclado. O material pode ser um material metálico, como aço, níquel, alumínio, titânio, platina, rênio, nióbio e ligas dos mesmos. O material pode ser uma liga de alto desempenho ou de alto ponto de fusão, como o alumínio da série 7000. Em outros exemplos, os membros alongados 12 podem compreender polímeros, que são capazes de ser extrudados ou estirados. Em alguns exemplos, os materiais que precipitam reforçadores reforçados, que seriam afetados pela atomização, podem ser usados com os dispositivos 10 e métodos aqui divulgados sem representar um desafio.

[0062] O dispositivo de corte 10 pode compreender ainda um conjunto de alimentação mecânica 22 configurado para avançar os membros alongados 12 em direção ao conjunto de cortador 20. Em alguns exemplos, o conjunto de alimentação 22 compreende um motor 24 configurado para liberar ou distribuir os membros alongados 12. Por exemplo, o motor 24 pode ser mecanicamente acoplado a um ou mais fusos rotativos (não mostrados), que recebem os membros alongados 12. Por exemplo, membros alongados 12 podem ser fornecidos em carretéis configurados para serem acoplados aos fusos. O motor 24 pode ser configurado para girar os fusos para distribuir os membros alongados 12 de uma maneira coordenada para corte uniforme e tamanho de partícula controlável. Em alguns exemplos, o conjunto de alimentação 22 pode compreender motores de alimentação múltipla e/ou distribuída 24 configurados para distribuir ou liberar

independentemente os membros alongados 12. Por exemplo, cada fuso pode ser acoplado a, e acionado por, um motor diferente 24. Nesse caso, os fusos podem ser configurados para girar independentemente, fornecendo controle aprimorado sobre o movimento de cada membro alongado 12.

[0063] Em alguns exemplos, o dispositivo de corte 10 compreende ainda um suporte 26 para segurar os membros alongados 12 em uma posição desejada em relação ao conjunto de cortador 20. Como mostrado na figura 1A, o suporte 26 pode ser posicionado entre o conjunto de alimentação 22 e o conjunto de cortador 20. O suporte 26 pode ser uma matriz circular incluindo uma pluralidade de orifícios, aberturas, lacunas, espaços ou aberturas 28, cada um dos quais é configurado para receber um dos membros alongados 12. As aberturas 28 são desejavelmente pelo menos ligeiramente maiores do que a seção transversal dos membros alongados 12 de modo que os membros alongados 12 podem passar facilmente através das aberturas 28 em direção ao conjunto de cortador 20.

[0064] O conjunto de cortador 20 geralmente compreende um cortador giratório ou vibratório 30 e componentes mecânicos ou vibratórios associados para fazer com que o cortador 30 gire ou vibre em uma frequência selecionada. O cortador 30 pode ser configurado para cortar as extremidades distais 16 dos membros alongados 12 para produzir as partículas. O cortador 30 pode ser uma estrutura em forma de disco incluindo uma superfície proximal plana ou lado 32 e uma superfície distal plana oposta ou lado 34. O cortador 30 inclui uma pluralidade de orifícios, aberturas, lacunas ou espaços 36 que se estendem através do cortador 30 entre a superfície proximal ou lado 32 e a superfície distal ou lado 34 da mesma. Como mostrado na figura 1B, as aberturas 36 podem ser aberturas circulares configuradas para receber as extremidades distais 16 dos membros alongados 12. Em outros exemplos, as aberturas 36 podem ter outras formas, tais como quadrados, losangos, triângulos ou elipses.

[0065] O cortador 30 é configurado para girar ou vibrar, de modo que porções das aberturas 36 contatam as extremidades distais 16 dos membros alongados 12. As forças de cisalhamento do contato desejavelmente fazem com que as partículas se rompam das extremidades distais 16 dos membros alongados 12. A fim de transmitir movimento suficiente ao cortador 30 para gerar partículas, o cortador 30 pode ser mecanicamente acoplado a um acionamento rotacional ou vibracional ou conjunto de acionamento 38. Para um cortador rotativo 30, o conjunto de acionamento 38 pode compreender um motor

rotativo ou alternativo ou dispositivo de acionamento (referido aqui como um acionador 40) mecanicamente acoplado a e configurado para girar um eixo 42. O eixo 42 pode ser montado, por exemplo, no lado distal 34 do cortador 30 para girar o cortador 30 em uma direção selecionada. Por exemplo, o acionador 40 pode fazer com que o cortador 30 gire em rotações completas, como rotações completas de 360° em uma direção da seta A1 (mostrada na figura 1B). Em outros exemplos, o acionamento 40 pode fazer com que o cortador 30 oscile para frente e para trás para produzir as partículas dos membros alongados 12.

[0066] Para um dispositivo de corte 10 que aplica forças vibracionais em vez de forças rotacionais ao cortador 30 para formar as partículas, o conjunto de acionamento 38 pode compreender um dispositivo de vibração, tal como uma estrutura ressonante, configurado para vibrar em frequências selecionadas. A frequência de vibração pode ser uma frequência de vibração ultrassônica. Por exemplo, a estrutura ressonante pode compreender um sonotrodo sintonizado que é excitado para a ressonância.

[0067] Como mostrado na figura 1B, as aberturas 36 que se estendem através do cortador 30 são circulares. Além disso, as aberturas 36 estão posicionadas de forma aproximadamente equidistante em torno de uma periferia dos lados 32, 34 do cortador 30. Como mostrado na figura 1B, o cortador 30 pode incluir oito aberturas 36, cada uma das quais está configurada para receber um dos membros alongados 12. No entanto, o número de membros alongados 12 e aberturas 36 não se destina a ser limitante. Em vez disso, alguns dispositivos 10 podem incluir doze ou mais aberturas 36 configuradas para receber doze membros alongados separados 12. Em outros exemplos, o dispositivo de corte 10 pode incluir apenas um único membro alongado 12 e a abertura 36. As figuras 2A-2C mostram cortadores 30 incluindo diferentes formas de aberturas 36. Por exemplo, no cortador 30 mostrado na figura 3A, as aberturas 36 são triangulares. No cortador 30 da figura 2B, as aberturas 36 são em forma de diamante. O cortador 30 na figura 2C inclui fendas alongadas, cada uma das quais se estende ao longo de um raio do cortador 30. Acredita-se que as diferentes aberturas de forma 36 irão transmitir diferentes morfologias às partículas produzidas. Partículas com morfologias diferentes podem ser adaptadas para serem usadas com diferentes tipos de máquinas de manufatura aditiva e impressão. Por exemplo, atualmente, partículas esféricas são desejadas para a maioria das aplicações. No entanto, partículas em forma de disco, plaquetas ou superfícies planas podem ser

desejáveis para algumas aplicações. Se for necessário um maior controle sobre a morfologia das partículas, conforme descrito neste documento, as partículas podem ser pós-processadas para, por exemplo, conferir maior esfericidade às partículas.

[0068] Com referência novamente às figuras 1A e 1B, o dispositivo de corte 10 pode compreender ainda um sistema de coleta de pó 44. O sistema de coleta de pó 44 pode compreender um recipiente de coleta ou tremonha 46 para receber as partículas formadas pelo contato entre os membros alongados 12 e o cortador 30. Em alguns casos, o recipiente de coleta ou tremonha 46 pode ser alimentado por gravidade, o que significa que as partículas formadas a partir dos membros 12 caem na tremonha 46 por gravidade. Em outros exemplos, o sistema de coleta de pó 44 pode compreender uma fonte de vácuo ou pressão negativa que atrai as partículas para o vaso de coleta ou tremonha 46. Por exemplo, uma bomba de sucção ou vácuo 48 pode ser fornecida para retirar as partículas dos membros alongados 12 e para dentro da tremonha 46. A sucção também pode ser usada para esvaziar a tremonha 46 uma vez que uma quantidade suficiente de pó tenha sido produzida. Por exemplo, a sucção pode ser usada para puxar as partículas para fora da tremonha 46 e para outro recipiente de armazenamento através de um dreno ou porta de saída.

Método de produção de pó

[0069] Tendo descrito o dispositivo de corte alternativo ou rotativo 10 e os membros alongados 12, um método para produzir um pó usando o dispositivo de corte 10 será agora descrito em detalhes. Um fluxograma de etapas para realizar o método de produção do pó é mostrado na figura 3. Em alguns casos, muitas das etapas do método da figura 3 são executados automaticamente por um sistema de controle automatizado associado ao dispositivo de corte 10. Em particular, muitas das etapas para selecionar e ajustar os parâmetros operacionais do dispositivo de corte 10 podem ser executados automaticamente. Em alguns casos, um usuário pode fornecer uma instrução para o controlador ou sistema de controle sobre um pó a ser formado. Por exemplo, o usuário pode inserir manualmente um tamanho alvo, distribuição de tamanho ou PSD para o pó a ser formado. O usuário também pode inserir um volume total ou massa de pó a ser produzida. Nesse caso, o controlador ou sistema de controle pode ser configurado para calcular os parâmetros operacionais ou um programa para produzir o pó com as características selecionadas e emitir instruções de operação para o dispositivo de corte 10

para executar o programa. Uma vez que a quantidade especificada de pó é produzida e o programa é concluído, o controlador ou sistema de controle pode ser configurado para desligar o conjunto de alimentação 22 e, em alguns casos, fornecer uma notificação a um usuário de que a produção do pó foi concluída.

[0070] Em outros exemplos, alguns aspectos do método podem ser realizados ou controlados manualmente. Por exemplo, o usuário pode inserir manualmente os parâmetros operacionais para o dispositivo de corte 10, ligar o dispositivo de corte 10 para começar a produzir o pó e, quando uma quantidade suficiente de pó tiver sido produzida, desligar manualmente o dispositivo de corte 10.

[0071] O método de produção de pó pode incluir inicialmente, na etapa 310, receber ou determinar entradas para o pó a ser produzido. Conforme discutido anteriormente, as entradas podem incluir um tamanho de partícula alvo ou distribuição de tamanho de pó (PSD). As entradas também podem incluir informações sobre os membros alongados, como o tipo de material, densidade do material, diâmetro do membro alongado ou quaisquer outras características necessárias para controlar a operação do dispositivo de corte 10. As entradas também podem incluir informações sobre quanto (por exemplo, uma massa ou volume total) de pó deve ser produzido.

[0072] Na etapa 312, os membros alongados 12 são fornecidos ao dispositivo de corte 10. Por exemplo, membros alongados 12 podem ser fornecidos em bobinas ou membros de retenção semelhantes. As bobinas podem ser montadas em fusos correspondentes do conjunto de alimentação 22, de modo que o conjunto de alimentação 22 possa distribuir os membros alongados 12 quando o dispositivo de corte 10 está em uso. Na etapa 314, os membros alongados 12 podem ser alimentados através do dispositivo de corte 10. Por exemplo, as extremidades 16 dos membros alongados 12 podem ser alimentadas através do suporte 26 ou matriz e através das aberturas 36 do cortador rotativo ou vibratório 30.

[0073] Na etapa 316, o método compreende ainda determinar parâmetros operacionais para o dispositivo de corte 10 com base nas entradas para o pó a ser produzido (por exemplo, tamanho de partícula e volume total ou massa do pó) e, por exemplo, características de os membros alongados 12. Os parâmetros operacionais do dispositivo de corte 10 podem incluir, por exemplo, uma taxa de alimentação ou taxa de distribuição do conjunto de alimentação 22 e frequência rotacional ou vibracional do cortador 30. Em alguns exemplos, os parâmetros operacionais podem ser obtidos a partir de uma tabela de

consulta ou calculada a partir de uma curva de calibração ou equação de calibração, que fornece parâmetros operacionais otimizados para o dispositivo de corte 10 para um determinado tamanho de partícula (por exemplo, diâmetro ou dimensão máxima) e tipo (por exemplo, tamanho e composição do material) de membro alongado 12. Os valores na tabela de pesquisa e/ou na curva de calibração podem ser determinados experimentalmente. Alternativamente, tais valores podem ser derivados matematicamente usando, por exemplo, software de modelagem de computador para modelar interações entre os membros alongados 12 e o cortador 30.

[0074] Em alguns exemplos, a etapa 316 pode compreender ainda determinar vários parâmetros operacionais para produzir partículas de tamanhos diferentes e/ou com morfologias diferentes. Um pó pode ser produzido para ter uma distribuição de tamanho de pó única e controlada. Por exemplo, pode ser produzido um pó no qual 50% das partículas estão dentro de 10% de um primeiro tamanho de alvo e 50% das partículas estão dentro de 10% de um segundo tamanho de partícula alvo. A fim de produzir tais distribuições de tamanho de pó exclusivas, a etapa 316 pode compreender determinar parâmetros operacionais por um primeiro período de tempo para produzir partículas do primeiro tamanho alvo e determinar parâmetros operacionais por um segundo período de tempo para produzir partículas do segundo tamanho alvo. A etapa 316 pode compreender ainda determinar uma duração do primeiro período de tempo e o segundo período de tempo necessário para produzir a distribuição de tamanho selecionada. Por exemplo, se a proporção desejada de partículas de primeiro tamanho para partículas de segundo tamanho é 50/50, os períodos de tempo podem ser os mesmos. Se outra proporção (por exemplo, 20/80, 30/70 ou 40/60) for necessária, o primeiro e o segundo períodos de tempo podem ser diferentes.

[0075] Uma vez que os parâmetros operacionais para atingir o tamanho de partícula ou distribuição alvo são determinados, na etapa 318, o dispositivo de corte 10 pode ser automaticamente ou manualmente configurado para executar um programa ou instruções para produzir partículas de acordo com os parâmetros operacionais determinados. Por exemplo, um sistema de controle 100 para o dispositivo de corte 10 pode ser configurado para ajustar automaticamente os parâmetros operacionais do dispositivo de corte 10 para os parâmetros determinados. Em outros exemplos, o usuário pode selecionar manualmente ou inserir parâmetros operacionais para o dispositivo de corte 10 usando

um dispositivo de interface apropriado.

[0076] Na etapa 320, o método compreende ainda uma etapa de operação do dispositivo de corte 10 para produzir as partículas. Por exemplo, operar o dispositivo de corte 10 pode incluir o avanço dos membros alongados 12 em direção ao cortador 30 e girar ou vibrar o cortador 30 para cortar as partículas de pelo menos um membro alongado 12 para produzir o pó. Em particular, a fim de produzir as partículas, o dispositivo de corte 10 pode fazer com que o conjunto de alimentação 22 distribua os membros alongados 12 de acordo com os parâmetros operacionais configurados (por exemplo, de acordo com uma taxa de alimentação predeterminada). O dispositivo de corte 10 também pode fazer com que o cortador 30 gire ou vibre em uma frequência de rotação ou vibração selecionada adequada para a produção de partículas de um tamanho ou faixa de tamanhos desejados.

[0077] Na etapa 322, o método pode compreender ainda alterar o parâmetro operacional do dispositivo de corte 10 durante a produção de partículas para produzir partículas com diferentes tamanhos ou morfologias alvo. Por exemplo, como discutido anteriormente, o método pode compreender operar o dispositivo de corte 10 na primeira taxa de alimentação e primeira frequência de rotação ou vibração para o primeiro período de tempo determinado. Após o primeiro período de tempo, o método pode compreender a alteração automática ou manual dos parâmetros de operação do dispositivo de corte 10 para produzir partículas de tamanhos diferentes.

[0078] Na etapa 324, as partículas produzidas a partir do contato entre o cortador 30 e os membros alongados 12 são coletadas pelo sistema de coleta de pó 44. Por exemplo, as partículas podem ser levadas para o recipiente de coleta ou funil 46 por gravidade e/ou por forças de sucção da bomba de vácuo 48.

[0079] Na etapa 326, as partículas coletadas podem ser parametrizadas por sensores localizados no recipiente de coleta ou tremonha 46. Por exemplo, os sensores podem ser usados para detectar tamanho de partícula, forma e outras características. Em alguns casos, as características detectadas podem ser comparadas com as entradas do usuário recebidas na etapa 310. Se as partículas coletadas diferirem das entradas recebidas, os parâmetros operacionais do dispositivo de corte 10 podem ser ajustados dinamicamente para levar em conta tais diferenças.

[0080] Na etapa 328, em alguns exemplos, após o pó ser produzido, o método opcionalmente compreende ainda esferoidizar a pluralidade de partículas aplicando, por

exemplo, calor e/ou forças abrasivas às partículas. Conforme usado neste documento, esferoidização se refere a qualquer um de uma série de processos químicos, térmicos ou mecânicos para afetar a forma de partículas formadas para se assemelhar mais a uma esfera. Partículas esféricas geralmente têm uma taxa de fluxo melhor do que partículas não esféricas, especialmente para partículas finas. As partículas finas geralmente fluem mal em comparação com as partículas maiores. Tornar as partículas finas esféricas melhora a taxa de fluxo. Além disso, embora não se acredite que o dispositivo de corte 10 e o método aqui divulgados introduzam contaminantes de superfície às partículas, a esferoidização também purificaria as partículas e/ou liberaria quaisquer contaminantes, se presentes, da superfície das partículas.

[0081] Embora não se pretenda ser limitado pela teoria, acredita-se que partículas esféricas altamente uniformes podem ser preferidas para certos processos de fabricação de aditivos. Particularmente, as partículas esféricas são frequentemente preferidas na indústria para uso com processos de leito de pó a laser atualmente disponíveis. Outros processos de fabricação de aditivos podem ser insensíveis à morfologia ou podem preferir partículas não esféricas. Conforme discutido anteriormente, os cortadores 30 incluindo diferentes formas e arranjos de aberturas 36 podem ser usados para obter diferentes partículas não esféricas. Além disso, outras técnicas de processamento podem ser aplicadas às partículas formadas para controlar ainda mais a morfologia das partículas não esféricas.

Dispositivo de corte linear

[0082] Com referência às figuras 4A e 4B, outro exemplo de um dispositivo de corte 210 para produzir partículas a partir de uma pluralidade de membros alongados 212 é mostrado. Como nos exemplos anteriores, o dispositivo de corte 210 compreende um conjunto de alimentação 222 para avançar os membros alongados 212 em direção ao conjunto de corte 220. Como nos exemplos anteriores, o conjunto de corte 220 compreende a matriz ou suporte 226 para receber e apoiar os membros alongados 212 durante corte. Conforme mostrado nas figuras 4A e 4B, os membros alongados 212 são dispostos em uma linha reta para formar uma matriz linear, em vez de um padrão circular. A fim de acomodar os membros alongados dispostos linearmente 212, o suporte 226 compreende aberturas 250 ou orifícios de passagem dispostos em uma linha. Cada abertura 250 recebe um dos membros alongados 212. Por exemplo, como mostrado na

figura 4A, o suporte 226 é uma estrutura de forma retangular que compreende uma superfície proximal plana ou lado 252 e uma superfície distal plana oposta ou lado 254. O suporte 226 compreende ainda as aberturas 250 que se estendem entre os lados planos opostos 252, 254.

[0083] Conforme discutido anteriormente, o dispositivo de corte 210 inclui o conjunto de alimentação 222. Em alguns casos, o conjunto de alimentação 222 pode ser simplificado em comparação com os exemplos descritos anteriormente. Em particular, acredita-se que controlar o avanço ou distribuição de membros alongados 212 dispostos em uma linha pode ser mais fácil do que para membros alongados 12 dispostos em padrões circulares, como nos exemplos anteriores. Por exemplo, uma vez que os membros alongados linearmente alinhados 212 avançam na mesma direção (uma direção mostrada pela seta A2 na figura 4A) e na mesma taxa, o conjunto de alimentação 222 pode incluir apenas um único motor de alimentação comum 224 para o avanço de todos os membros alongados 212. Em contraste, uma disposição circular de membros alongados 212 pode exigir motores múltiplos ou distribuídos de modo que o avanço de diferentes membros alongados 212 em direção ao conjunto de corte 220 possa ser controlado de forma independente.

[0084] Como mostrado nas figuras 4A e 4B, o dispositivo de corte 210 substitui o cortador giratório circular 30 dos exemplos anteriores por um cortador alternativo 230. O cortador alternativo 230 se move para frente e para trás em linha reta, como mostrado pela seta A3. O cortador 230 pode ser uma estrutura de forma retangular incluindo as aberturas 236 (mostradas na figura 4B) dispostas para receber os membros alongados 212. As aberturas 236 podem ser circulares, elípticas, retangulares ou qualquer outra forma conveniente. As aberturas 236 também podem compreender fendas alongadas. Como nos exemplos anteriores, a forma das aberturas 236 pode impactar a morfologia das partículas produzidas pelo dispositivo de corte 210.

[0085] O conjunto de cortador 210 pode compreender ainda um acionador 238 acoplado ao cortador 230 para mover o cortador 230 para frente e para trás, como mostrado pela seta A3. O acionador 238 pode ser configurado para fazer com que o cortador 230 oscile para frente e para trás devido à excitação ultrassônica linear, em oposição ao movimento de rotação do cortador 230 mostrado nas figuras 1A e 1B. Como nos exemplos anteriores, o mecanismo de acionamento pode ser configurado para vibrar e/ou oscilar o cortador 230

a uma taxa predeterminada. A taxa de movimento do cortador 230 pode impactar o tamanho e a morfologia das partículas produzidas. Em alguns exemplos, a unidade 238 compreende uma estrutura ressonante, como um sonotrodo sintonizado, que é excitado para a ressonância pré-selecionada. A estrutura ressonante pode ser configurada para transmitir forças vibracionais ao cortador 230, fazendo com que o cortador 230 entre em contato com os membros alongados 212 para formar as partículas.

[0086] Mais especificamente, a fim de gerar partículas usando o dispositivo de corte 210, membros alongados 212 são fornecidos ao conjunto de alimentação 222. Por exemplo, carretéis ou membros de retenção semelhantes dos membros alongados 212 podem ser carregados em fusos rotativos do conjunto de alimentação 222. Os membros alongados 212 podem então ser alimentados através das aberturas 250 ou aberturas no suporte 226 ou matriz e em direção ao cortador 230. Em uso, o conjunto de alimentação 222 faz com que porções dos membros alongados 212 se projetem através do suporte 226 ou matriz e às aberturas 236 do cortador 230. O cortador 230 pode ser configurado para oscilar ou vibrar, de modo que as aberturas 236 exerçam uma força de cisalhamento nas extremidades distais 216 dos membros alongados 212. A força de cisalhamento aplicada a as extremidades distais 216 dos membros alongados 212 fazem com que partículas sejam produzidas a partir dos membros alongados 212. As partículas produzidas podem ser coletadas pelo sistema de coleta de pó 244, como descrito nos exemplos anteriores. Por exemplo, as partículas podem cair por gravidade no vaso de coleta ou funil 246. Alternativamente ou além disso, a bomba de vácuo 248 pode ser usada para extrair partículas formadas pelo contato entre os membros alongados 212 e cortador 230 no recipiente de coleta ou tremonha 246.

Sistema de produção de pó

[0087] Tendo descrito as características dos dispositivos de corte 10, 210 e o método de produção de pó, os componentes elétricos de um sistema de controle 100 para controlar o dispositivo de corte 10 para produzir o pó serão agora descritos em detalhes. Um desenho esquemático do sistema 100 é mostrado na figura 5. O sistema 100 compreende um dispositivo de corte 10 incluindo os membros alongados 12 configurados para serem contactados pelo cortador 30 para produzir partículas. O sistema 100 compreende ainda um controlador 110 eletricamente acoplado a componentes eletromecânicos do dispositivo de corte 10. Por exemplo, o controlador 110 pode ser eletricamente acoplado pelo menos

ao conjunto de alimentação 22 e ao conjunto de acionamento 38 acoplado ao cortador 30. O controlador 110 pode ser um processador de computador do dispositivo de corte 10 ou um processador de um dispositivo eletrônico separado em comunicação com ou sem fio com o dispositivo de corte 10. Por exemplo, como mostrado na figura 5, o controlador 110 pode ser associado a um dispositivo de computador portátil ou estacionário 112, tal como um tablet, computador, terminal, laptop, desktop ou dispositivo de computador semelhante como é conhecido na técnica.

[0088] O controlador 110 também pode ser acoplado a um ou mais componentes de entrada 114 para receber seleções do usuário e instruções de operação. Por exemplo, o componente de entrada 114 pode compreender botões e/ou uma tela de toque do dispositivo de corte 10. Em outros exemplos, o componente de entrada 114 pode ser um teclado, mouse, tela de toque ou acessório de entrada de dados semelhante do dispositivo de computador estacionário ou portátil 112. Em outros exemplos, o componente de entrada 114 pode ser uma interface de comunicação com fio ou sem fio 116 configurada para receber instruções de dispositivos eletrônicos remotos e redes. Por exemplo, os usuários podem inserir instruções usando um dispositivo de computador remoto. As instruções inseridas podem ser transmitidas e recebidas pelo controlador 110 através da interface de comunicação 116.

[0089] Em alguns exemplos, o pelo menos um controlador 110 recebe instruções operacionais dos usuários por meio dos componentes de entrada 114. As instruções operacionais podem compreender parâmetros operacionais inseridos manualmente para o dispositivo de corte 10. Por exemplo, o usuário pode inserir manualmente a taxa de alimentação ou frequência vibracional ou rotacional usando o componente de entrada 114 do dispositivo de computador 12. Nesse caso, o controlador 110 pode ser configurado para enviar instruções para o dispositivo de corte 10 fazendo com que o dispositivo de corte 10 opere de acordo com os parâmetros inseridos manualmente.

[0090] Em outros exemplos, conforme descrito em conjunto com a etapa 310 na figura 3, o usuário insere informações sobre as partículas ou pó a serem produzidos. Por exemplo, o usuário pode inserir um tamanho de partícula alvo ou distribuição de tamanhos de partícula alvo. O controlador 110 pode ser configurado para determinar os parâmetros operacionais para o dispositivo de corte 10 com base nas entradas recebidas dos usuários. Por exemplo, os parâmetros operacionais podem ser determinados ou

calculados a partir de valores em uma tabela de pesquisa ou curva de calibração e com base no tamanho ou distribuição de partícula alvo e nas características dos membros alongados 12. Uma vez que os novos parâmetros operacionais são conhecidos ou determinados, o controlador 110 pode ser configurado para definir ou ajustar os parâmetros operacionais do dispositivo de corte 10, de modo que o dispositivo de corte 10 opere de acordo com os novos parâmetros operacionais.

[0091] Em alguns exemplos, o sistema 100 compreende ainda sensores 118, 120 eletricamente acoplados ao controlador 110. Por exemplo, o sistema 100 pode incluir sensores 118 posicionados perto de ou no recipiente de coleta ou tremonha 46. Os sensores 118 podem ser configurados para detectar informações representativas das características das partículas produzidas. Por exemplo, os sensores 118 podem ser posicionados perto de uma abertura do recipiente de coleta ou tremonha 46 de modo que as partículas que caem no recipiente de coleta 44 passem dentro de um campo de visão dos sensores 118. Os sensores 118 podem ser configurados para detectar informações sobre as partículas passando pelo campo de visão. Por exemplo, tais sensores 118 podem ser configurados para medir características das partículas, incluindo volume médio de partícula, volume médio de partícula, distribuição de volume de partícula ou esfericidade média das partículas. O sistema 100 também pode incluir sensores 120 posicionados em ou associados com a tremonha 46 para medir qualidades do pó produzido. Por exemplo, os sensores 120 podem compreender uma balança para medir uma massa total do pó produzido. O sensor 120 também pode ser configurado para medir um volume total do pó produzido.

[0092] Em alguns exemplos, o controlador 110 pode ser configurado para receber informações detectadas pelos sensores 118, 120 e para ajustar os parâmetros operacionais para o dispositivo de corte 10 com base nas informações recebidas. Desta forma, as informações para os sensores 118, 120 podem ser usadas como um *loop* de feedback para otimizar ou ajustar a operação do dispositivo de corte 10. Por exemplo, informações sobre as características das partículas sendo produzidas a partir dos sensores 118, 120 podem ser usadas para parametrizar as partículas sendo produzidas pelo dispositivo de corte 10. Se, com base nas informações detectadas, o controlador 110 determinar que a partícula média volume ou tamanho é diferente de um volume ou tamanho de partícula alvo ou antecipado, o controlador 110 pode ser configurado para

ajustar os parâmetros operacionais do dispositivo de corte 10 para levar em conta tais diferenças. Por exemplo, se as partículas sendo produzidas são determinadas como sendo maiores do que um tamanho de partícula alvo, a frequência vibracional ou rotacional do cortador 30 pode ser aumentada para reduzir a quantidade de tempo que as aberturas ou orifícios do cortador 30 estão em contato com os membros alongados 12. De maneira similar, uma taxa de distribuição ou taxa de alimentação para os membros alongados poderia ser aumentada de modo que os membros alongados 12 passassem através do cortador mais rapidamente. Espera-se que o aumento da taxa de rotação e/ou taxa de alimentação produza partículas menores.

Interface de usuário para sistema de produção de pó

[0093] Em alguns exemplos, o sistema 100 compreende ainda um módulo de interface de usuário 124 em comunicação com fio ou sem fio com o controlador 110. Geralmente, o módulo de interface de usuário 124 recebe entradas de usuário, tais como entradas sobre tamanho de partícula alvo e outras características de partícula. O controlador 110 processa as entradas e, como descrito anteriormente, pode controlar a operação do dispositivo de corte 10 com base, pelo menos em parte, nas entradas de usuário recebidas. O controlador 110 também pode fornecer notificações e feedback sobre as partículas sendo formadas e/ou processo de fabricação para o módulo de interface de usuário 124. Por exemplo, o controlador 110 pode emitir notificações quando diferentes aspectos do processo de fabricação foram concluídos. O controlador 110 também pode monitorar o progresso do processo de formação de pó e fornecer, por exemplo, estimativas para o tempo restante. Essas informações e notificações podem ser fornecidas ao módulo de interface de usuário 124. A interface de usuário do módulo 124 pode fazer com que um dispositivo de feedback, tal como um display visual 126, forneça as informações aos usuários.

[0094] A interface de usuário 124 pode incluir uma série de telas de aplicativo ou páginas para receber entradas e fornecer feedback aos usuários. Exemplos de tais telas são mostrados nas figuras 6A-6C.

[0095] A figura 6A mostra um exemplo de uma tela de entrada inicial 610 para o dispositivo de corte 10. A tela de entrada inicial 610 pode compreender uma série de campos de entrada de dados permitindo ao usuário inserir informações sobre um pó a ser produzido. Por exemplo, a tela 610 pode compreender um ou mais campos 612 para o

usuário inserir um tamanho de partícula alvo. A tela 610 também pode incluir campos 614 para um usuário especificar qual porcentagem das partículas deve ter um tamanho específico. Por exemplo, como mostrado na figura 6A, um usuário pode especificar que 50% das partículas devem ter cerca de 25 μm e 50% das partículas devem ter cerca de 50 μm de diâmetro. O usuário também pode inserir entradas para o pó a ser produzido. Por exemplo, a tela 610 pode incluir um campo 616 para o usuário inserir uma massa total de pó necessária. Em alguns exemplos, a tela 610 também pode incluir uma seção 618 para inserir informações sobre os membros alongados 12 (por exemplo, composição de material e/ou diâmetro), que podem ser usados para determinar parâmetros operacionais para o dispositivo de corte 10. Em outros exemplos, como discutido anteriormente, as informações sobre os membros alongados 12 podem ser determinadas automaticamente por sensores associados ao dispositivo de corte 10. Em alguns exemplos, a seção 618 também pode incluir, por exemplo, listas suspensas ou menus que permitem ao usuário identificar o material de origem (por exemplo, de uma lista que inclui alumínio, aço inoxidável, liga de níquel e titânio).

[0096] A figura 6B mostra uma tela 630 que pode ser fornecida ao usuário enquanto o dispositivo de corte 10 está em uso. Por exemplo, a tela 630 pode ser mostrada a um usuário para informar como o dispositivo de corte 10 está progredindo na execução de um programa de produção de pó usando as entradas do usuário fornecidas na tela 610. A tela em uso 630 pode compreender uma seção 632 com informações cumulativas sobre o pó que está sendo produzido. Por exemplo, a seção 632 pode incluir dados em tempo real para características das partículas produzidas, incluindo diâmetro médio de partícula, volume médio de partícula, esfericidade média e informações semelhantes. A tela 630 também pode incluir uma seção 634 com informações sobre o progresso em direção à conclusão do programa. Por exemplo, a seção 634 pode incluir informações sobre uma massa ou volume total de pó produzido até o momento. A seção 634 também pode incluir, por exemplo, um cronômetro de contagem regressiva 636 mostrando um tempo estimado até que o volume total necessário ou massa de pó tenha sido produzido.

[0097] A figura 6C mostra uma tela de programa completo 650, que pode ser exibida para um usuário após o dispositivo de corte 10 ter concluído a preparação do pó de acordo com as entradas iniciais do usuário. A tela 650 pode incluir, por exemplo, uma notificação de texto 652 informando ao usuário que o programa foi concluído. A tela 650

pode compreender ainda uma seção 654 com estatísticas para o programa concluído, incluindo, por exemplo, um tempo total necessário, massa total de pó produzida ou volume total de pó produzido. A tela 650 pode compreender ainda, por exemplo, um gráfico 656 mostrando, por exemplo, a distribuição de tamanho de pó (PSD) para o pó produzido. A tela 650 também pode incluir uma seção 658 com informações sobre as partículas do pó incluindo, por exemplo, diâmetro médio de partícula, volume médio de partícula ou esfericidade média. As informações sobre as características das partículas podem ser coletadas por sensores associados ao recipiente de coleta ou tremonha 46, conforme descrito anteriormente.

[0098] Embora a invenção tenha sido descrita em detalhes com o propósito de ilustração com base no que é atualmente considerado como as configurações mais práticas e preferidas, deve ser entendido que tal detalhe é apenas para esse fim e que a invenção não é limitada às configurações divulgadas mas, ao contrário, destina-se a cobrir modificações e arranjos equivalentes. Além disso, deve ser entendido que a presente invenção contempla que, na medida do possível, uma ou mais características de qualquer configuração podem ser combinadas com uma ou mais características de qualquer outra configuração.

Reivindicações

1. Método de produção de pó, **caracterizado por** compreender as etapas de:
 - fornecer uma pluralidade de membros alongados (12, 212) compreendendo um metal dúctil;
 - fornecer um disco rotativo ou vibratório (30, 230) configurado para cortar repetidamente extremidades da pluralidade de membros alongados (12, 212) para produzir partículas; em que o disco (30, 230) compreende uma superfície proximal, uma superfície distal, e uma pluralidade de aberturas (36, 236), cada uma das quais é configurada para receber um da pluralidade de membros alongados (12, 212) e em que eixos longitudinais da pluralidade de membros alongados (12, 212) são transversais à superfície proximal ou à superfície distal do disco rotativo ou vibratório (30, 230); e
 - avançar as extremidades da pluralidade de membros alongados (12, 212) ou o disco(30, 230) em direção ao outro das extremidades da pluralidade de membros alongados (12, 212) ou o disco(30, 230), de modo que as extremidades da pluralidade de membros alongados (12, 212) são inseridas através da pluralidade de aberturas (36, 236) do disco (30, 230) para cortar as partículas das extremidades da pluralidade de membros alongados (12, 212) para produzir um pó compreendendo uma pluralidade de partículas com um diâmetro ou dimensão máxima variando de 10 μm a 200 μm .
2. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** o corte da pluralidade de membros alongados (12, 212) compreender o avanço da pluralidade de membros alongados (12, 212) em direção ao disco (30, 230) em pelo menos uma taxa de alimentação predeterminada e mover o disco (30, 230) para cortar a pluralidade de partículas da pluralidade de membros alongados em pelo menos uma frequência vibracional ou rotacional predeterminada.
3. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** a pluralidade de membros alongados (12, 212) compreender um fio de metal trefilado tendo uma seção transversal circular.
4. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** a pluralidade de membros alongados (12, 212) compreender um ou mais de aço, níquel, alumínio ou titânio.
5. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** a pluralidade de membros alongados (12, 212) possuir um diâmetro ou dimensão máxima de 10 μm ou

mais.

6. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** a pluralidade de membros alongados (12, 212) possuir um diâmetro ou dimensão máxima que varia de 10 μm a 200 μm .

7. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** pelo menos 95% das partículas da pluralidade de partículas possuir um diâmetro dentro de 10% de um tamanho alvo.

8. Método, de acordo com a reivindicação 7, **caracterizado por** o tamanho alvo compreender um diâmetro de 10 μm a 200 μm .

9. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** pelo menos 95% das partículas da pluralidade de partículas possuir um diâmetro que varia de 15 μm a 100 μm .

10. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** pelo menos 99% das partículas da pluralidade de partículas possuir um diâmetro que varia de 15 μm a 100 μm .

11. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** o avanço da pluralidade de membros alongados (12, 212) em direção ao disco (30, 230) compreender o avanço da pluralidade de membros alongados (12, 212) a uma primeira taxa de alimentação por um primeiro período de tempo predeterminado seguido pelo avanço da pluralidade de membros alongados (12, 212) a uma segunda taxa de alimentação por um segundo período de tempo predeterminado.

12. Método, de acordo com a reivindicação 11, **caracterizado por**, durante o primeiro período de tempo predeterminado, uma primeira pluralidade de partículas ser produzida, em que pelo menos 95% das partículas da primeira pluralidade de partículas têm um diâmetro dentro de 10% de um primeiro tamanho alvo.

13. Método, de acordo com a reivindicação 12, **caracterizado por** durante o segundo período de tempo predeterminado, uma segunda pluralidade de partículas ser produzida, em que pelo menos 95% das partículas da segunda pluralidade de partículas têm um diâmetro dentro de 10% de um segundo tamanho de alvo, que é diferente do primeiro tamanho alvo.

14. Método, de acordo com a reivindicação 13, **caracterizado por** compreender selecionar uma distribuição de tamanho de partícula alvo para o primeiro tamanho alvo e o

segundo tamanho alvo e, antes de avançar a pluralidade de membros alongados (12, 212) em direção ao disco (30, 230), determinar o primeiro período de tempo e o segundo tempo período com base na distribuição de tamanho de partícula selecionada.

15. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** o corte das partículas da pluralidade de membros alongados (12, 212) para produzir o pó não introduzir porosidade nas partículas, de modo que a porosidade das partículas seja igual a uma porosidade do membro alongado.

16. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** compreender, após o pó ser produzido, esferoidizar a pluralidade de partículas pela aplicação de pelo menos um dentre calor, um agente químico e forças abrasivas às partículas.

17. Sistema (100) para produção de pós, que compreende uma pluralidade de partículas, **caracterizado por** compreender:

- pelo menos um disco rotativo ou vibratório (30, 230) configurado para cortar extremidades de uma pluralidade de membros alongados (12, 212) compreendendo um metal dúctil para produzir partículas, em que o pelo menos um disco (30, 230) compreende uma superfície proximal, uma superfície distal, e uma pluralidade de aberturas (36, 236), cada uma das quais é configurada para receber um da pluralidade de membros alongados (12, 212) e em que eixos longitudinais da pluralidade de membros alongados (12, 212) são transversais à superfície proximal ou à superfície distal do disco rotativo ou vibratório (30, 230); um acionador (38, 238) para vibrar ou girar o pelo menos um disco em uma frequência predeterminada;
- pelo menos um suporte (26, 226) para segurar a pluralidade de membros alongados em posições desejadas em relação à pluralidade de aberturas (36, 236) do pelo menos um disco (30, 230);
- pelo menos um atuador linear (22, 222) configurado para avançar a pluralidade de membros alongados (12, 212) em direção ao pelo menos um disco (30, 230); e
- pelo menos um controlador (110) eletricamente conectado ao acionador (38, 238) e ao pelo menos um atuador linear (22, 222), o controlador (110) compreendendo um componente de entrada (114) e sendo configurado para fazer com que o atuador linear (22, 222) mova a pluralidade de membros alongados (12, 212) em direção ao disco (30, 230) em uma taxa predeterminada de alimentação e fazer com que o disco (30, 230) vibre ou gire na frequência predeterminada.

18. Sistema (100), de acordo com a reivindicação 17, **caracterizado por** a taxa de alimentação predeterminada e a frequência predeterminada serem recebidas pelo controlador (110) com o componente de entrada (114).

19. Sistema (100), de acordo com a reivindicação 17, **caracterizado por** compreender ainda um recipiente de coleta (46) configurado para receber a pluralidade de partículas formadas pelo corte da pluralidade de membros alongados (12, 212).

20. Sistema (100), de acordo com a reivindicação 19, **caracterizado por** o recipiente de coleta (46) compreender um vácuo (48) configurado para aspirar um pó para o recipiente de coleta (46).

21. Sistema (100), de acordo com a reivindicação 19, **caracterizado por** o recipiente de coleta (46) compreender um ou mais sensores (118, 120) eletricamente conectados ao pelo menos um controlador (110), o um ou mais sensores (118, 120) sendo configurados para medir as características do pó produzido, e em que o pelo menos um controlador (110) é configurado para modificar um ou mais parâmetros operacionais de pelo menos um acionador (38, 238) com base nas informações detectadas por um ou mais sensores (118, 120).

22. Sistema (100), de acordo com a reivindicação 21, **caracterizado por** um ou mais sensores (118, 120) serem configurados para detectar pelo menos um dentre: volume médio de partícula, mediana do volume de partícula, distribuição de volume de partícula, peso total de pó, volume total de pó ou esfericidade média.

23. Sistema (100), de acordo com a reivindicação 17, **caracterizado por** pelo menos um controlador (110) ser configurado para receber pelo componente de entrada (114) um tamanho de partícula alvo e ajustar automaticamente pelo menos uma da taxa de alimentação e a frequência predeterminada para produzir partículas do tamanho selecionado.

24. Sistema (100), de acordo com a reivindicação 23, **caracterizado por** o tamanho de partícula alvo selecionado poder ser ajustado dinamicamente por um usuário enquanto o acionador (38, 238) está em operação.

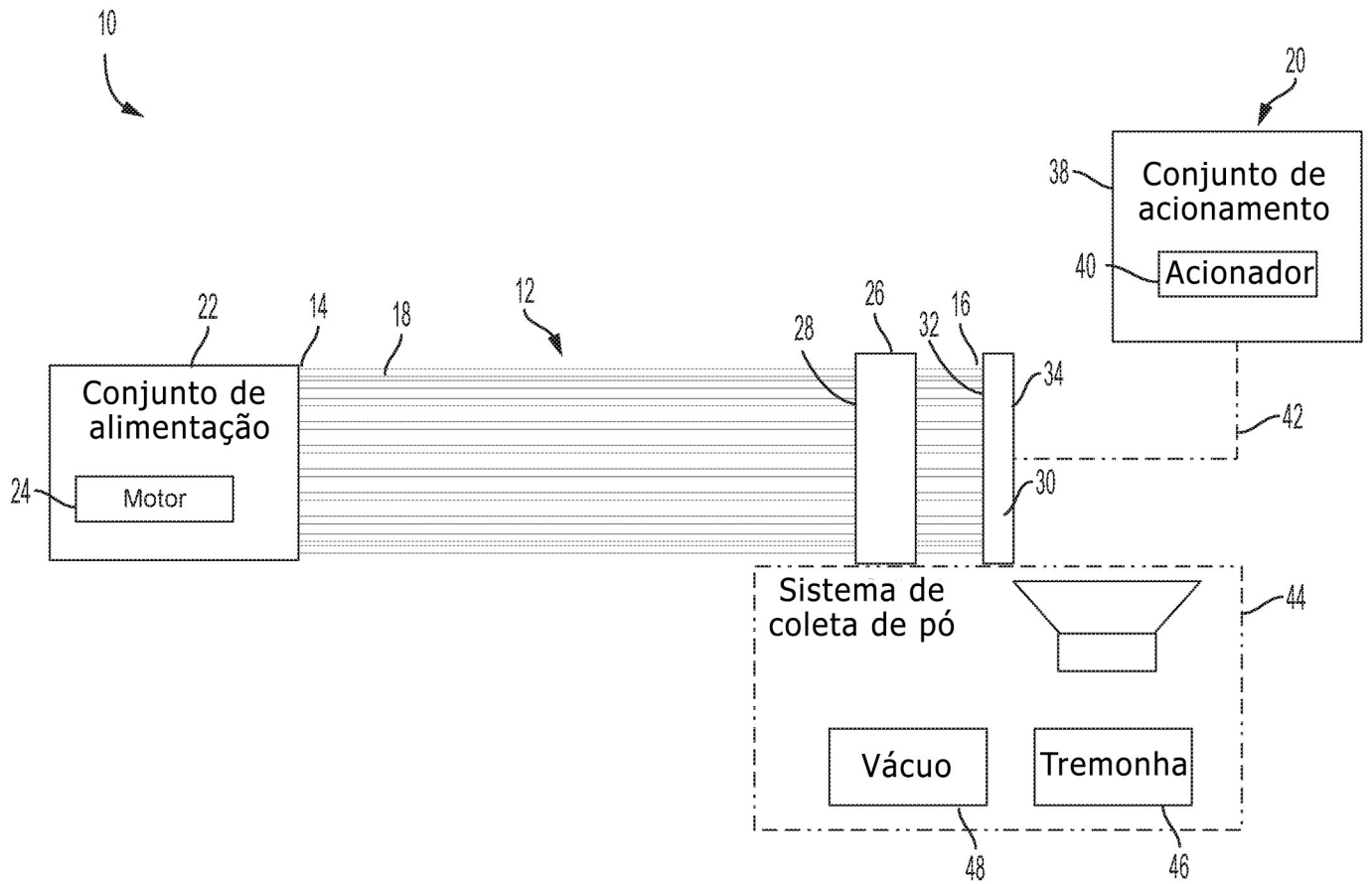


Fig 1A

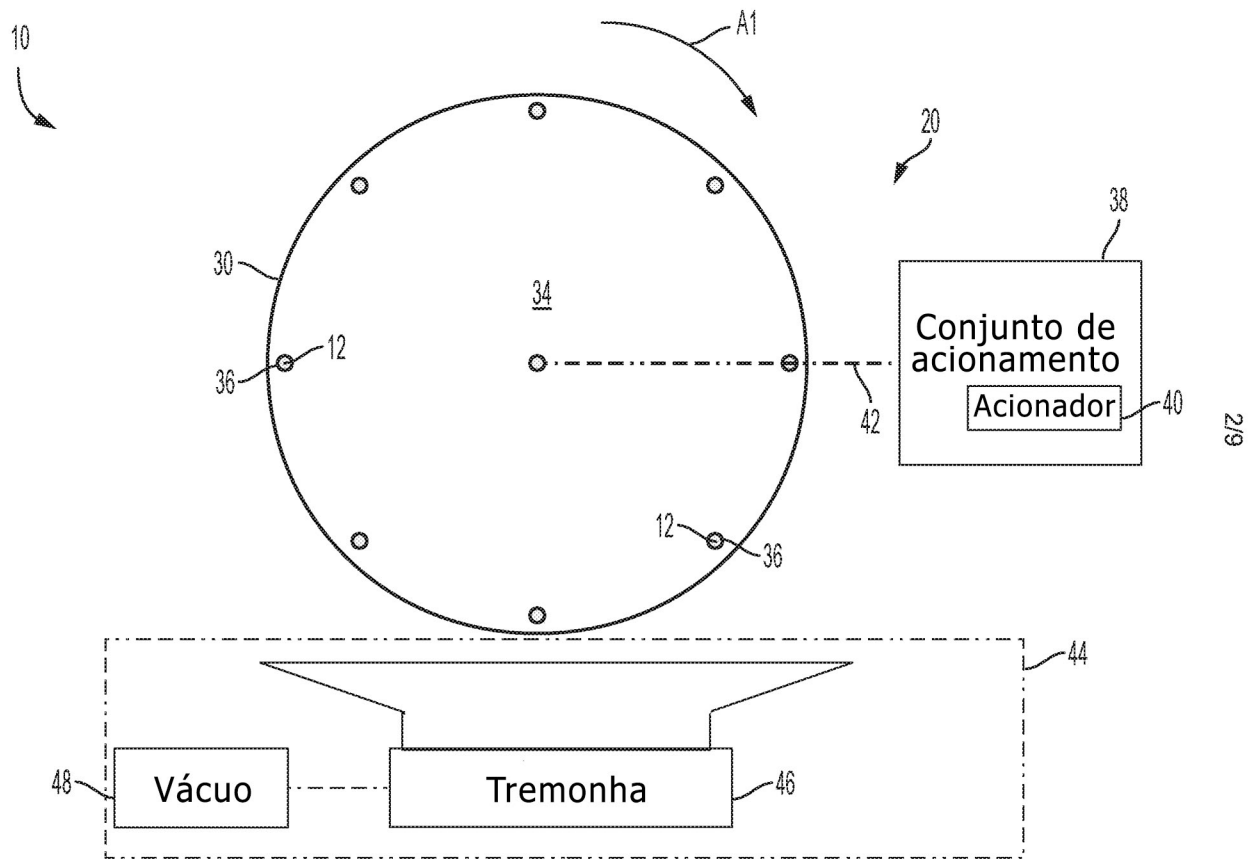


Fig 1B

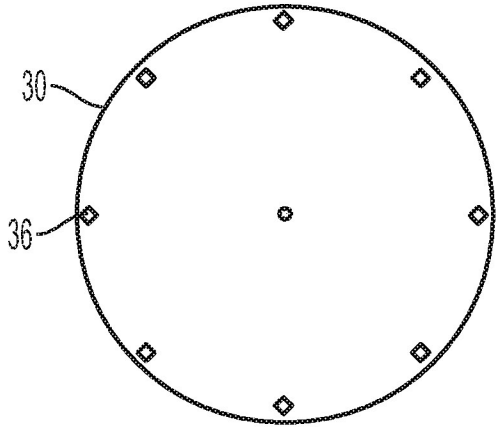


Fig 2A

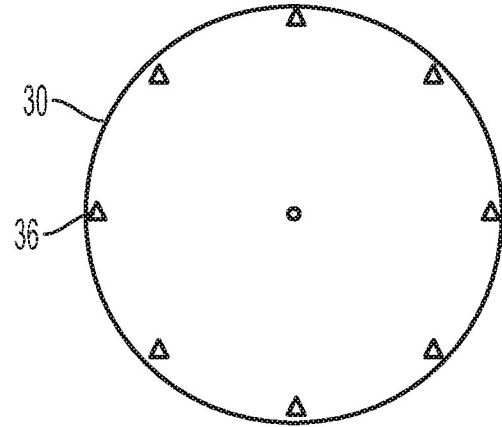


Fig 2B

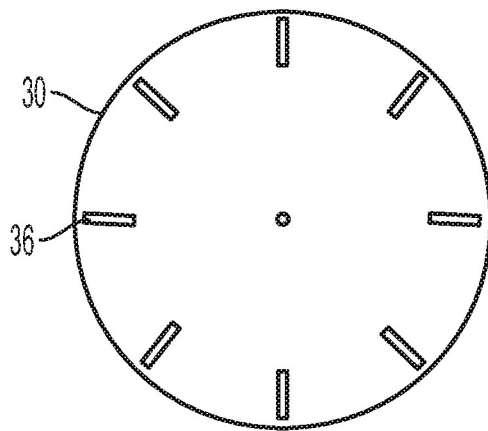


Fig 2C

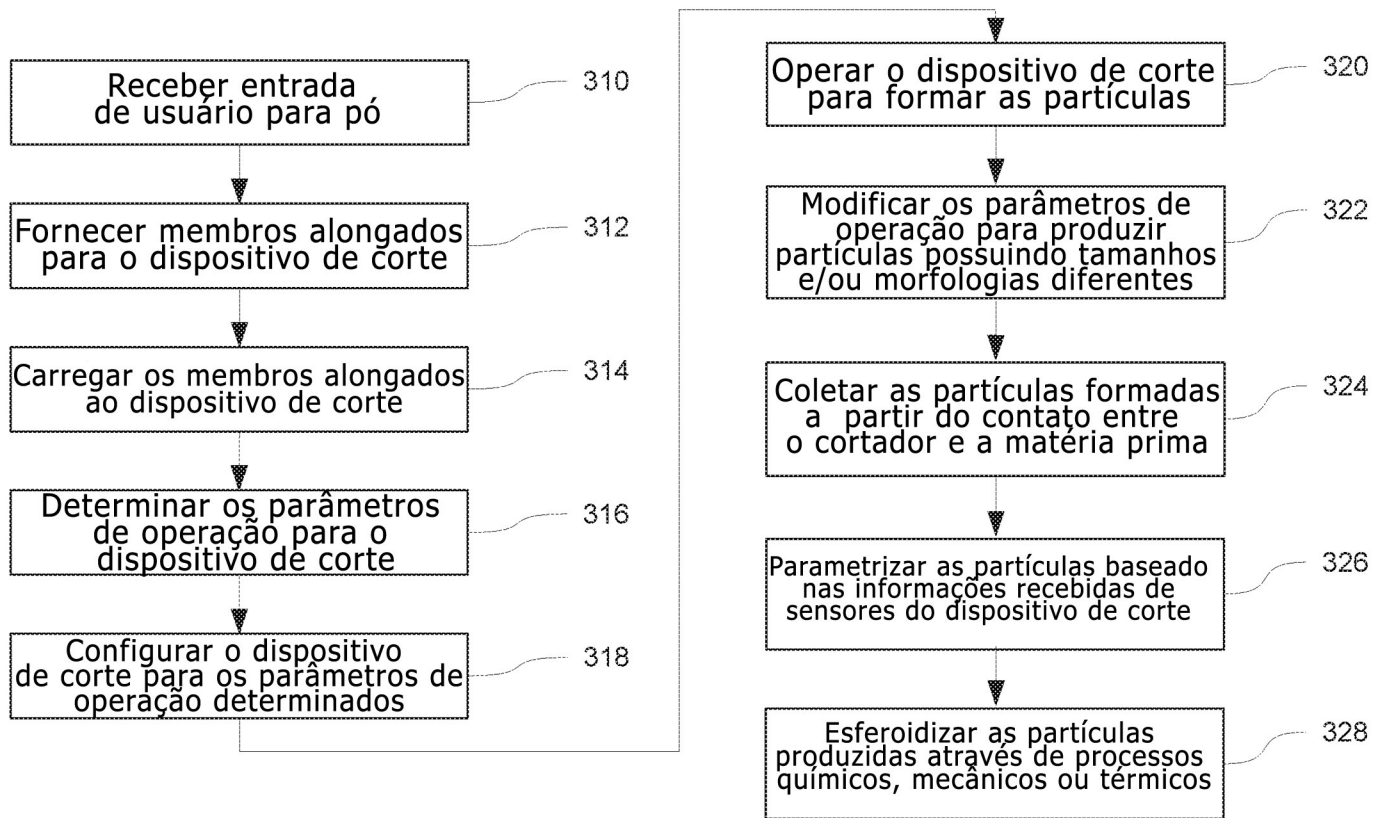


Fig 3

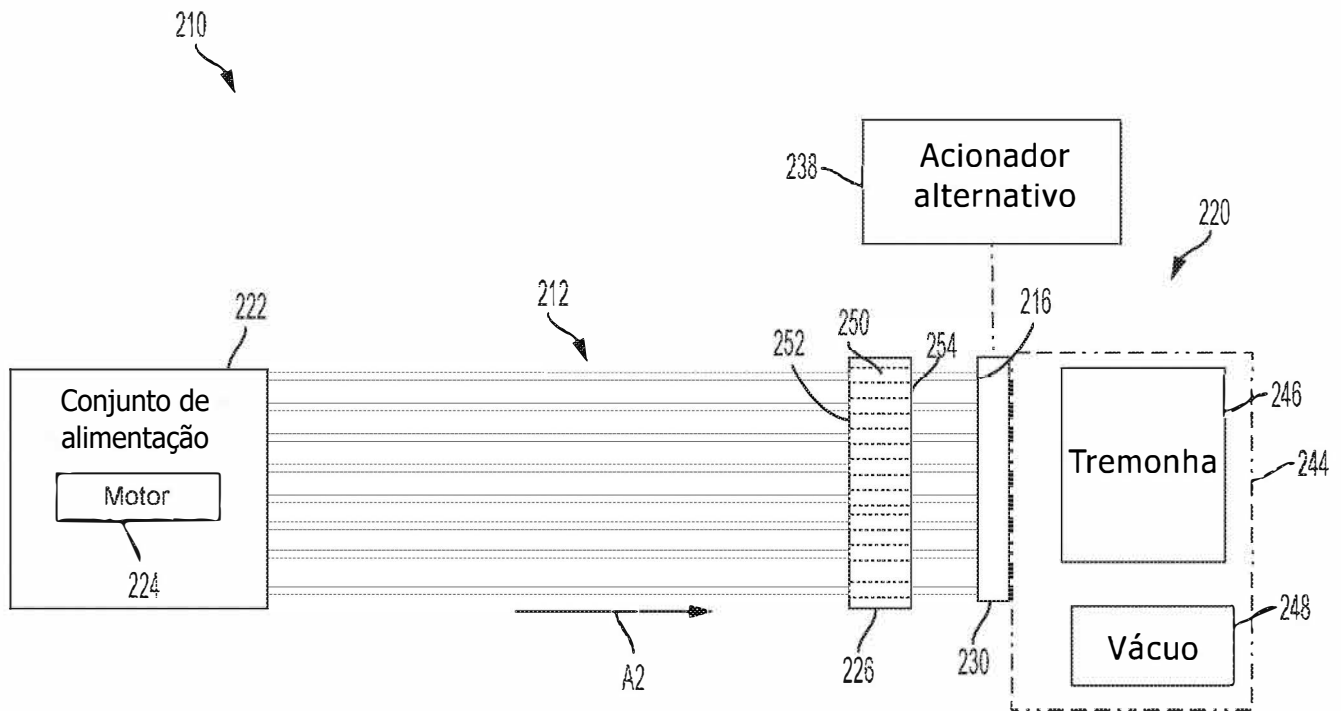


Fig 4A

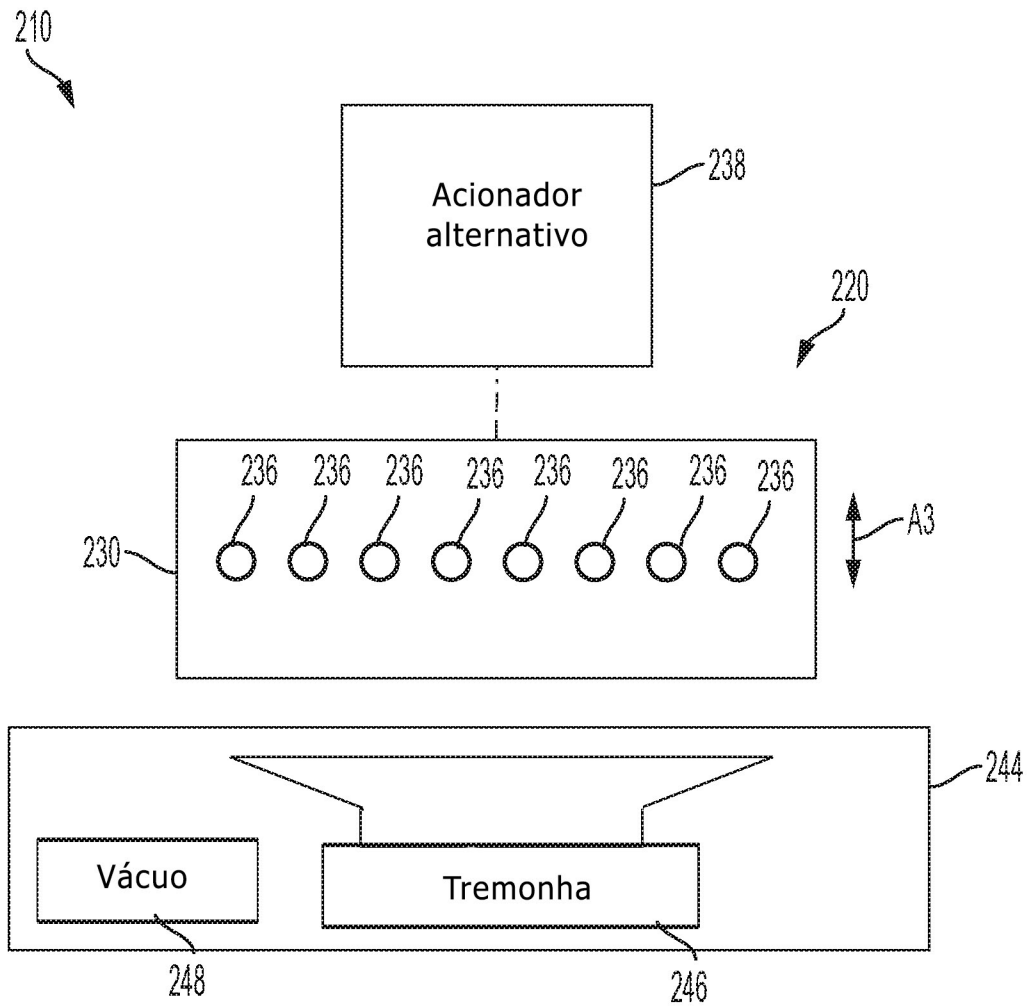


Fig 4B

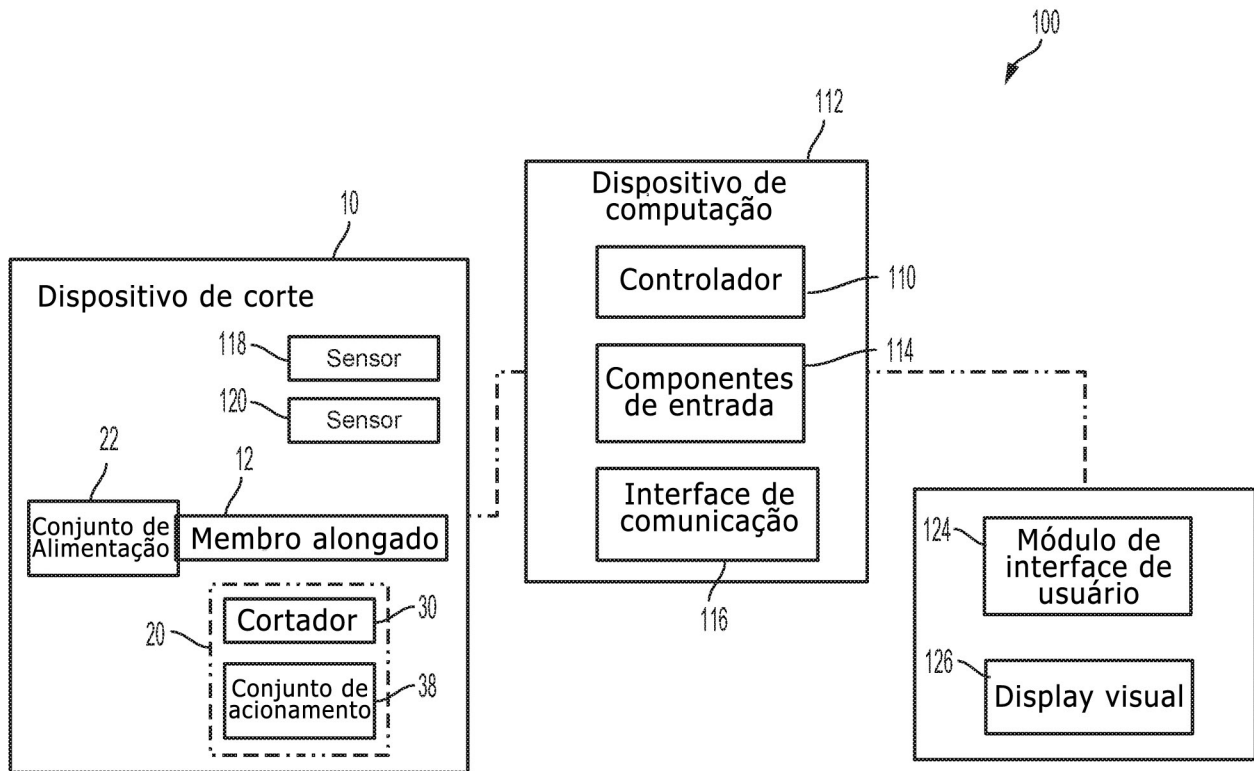


Fig 5

Máquina de produção de pó 610

Entrada de tamanho alvo de partícula

	Tamanho(μm)	%
Partícula 1	612 <input type="text" value="20"/>	614 <input type="text" value="25"/>
Partícula 2	612 <input type="text" value="40"/>	614 <input type="text" value="50"/>
Partícula 3	612 <input type="text" value="80"/>	614 <input type="text" value="25"/>

Entrada de informação do pó 616

Volume total (cm^3)

Massa total (g)

Entrada de informação da matéria prima

Diâmetro (μm) 618

Material

Alumínio
Aço inoxidável
Liga de níquel
Titânio

Fig 6A

Máquina de produção de pó 630

Estatísticas acumulativas

Volume médio de partícula(μm^3)

Diâmetro médio de partícula(μm)

Esfericidade

} 632

Programa/ estatísticas de pó


Volume total (cm^3)

Massa total (g)

} 634

Tempo restante 636

Porcentagem completa



62%

Fig 6B

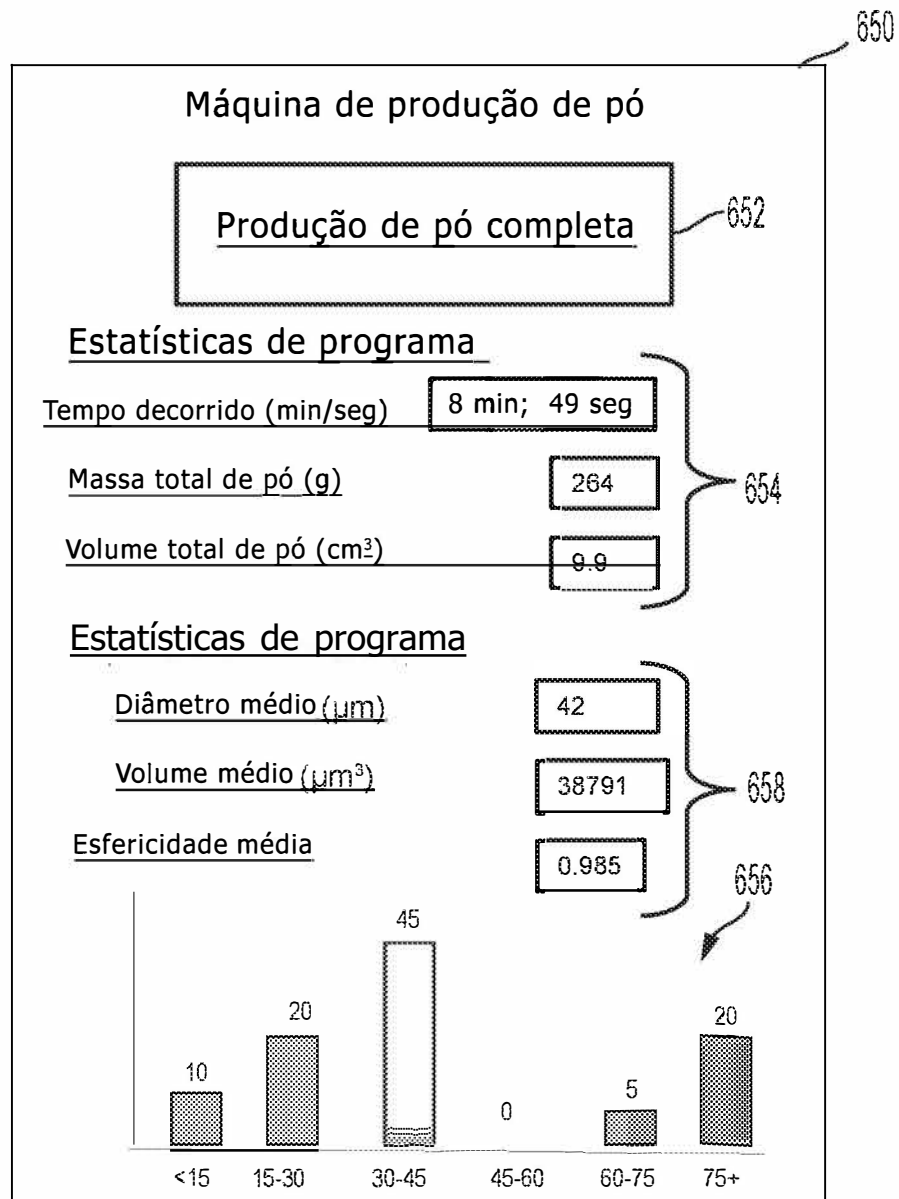


Fig 6C