



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

(11) BR 112016021614-8 B1



(22) Data do Depósito: 30/04/2014

(45) Data de Concessão: 17/08/2021

(54) Título: MÉTODO DE IMPRESSÃO TRIDIMENSIONAL (3D), MÉTODO PARA IDENTIFICAR COMO APLICAR UM AGENTE DE MODIFICAÇÃO DURANTE UM MÉTODO DE IMPRESSÃO TRIDIMENSIONAL (3D) E MÉTODO DE MODELAGEM COMPUTACIONAL PARA IDENTIFICAR COMO APLICAR UM AGENTE DE MODIFICAÇÃO DURANTE UM MÉTODO DE IMPRESSÃO TRIDIMENSIONAL (3D)

(51) Int.Cl.: B29C 64/165; B29C 64/182; B29C 64/209; B29C 64/214; B29C 64/227; (...).

(52) CPC: B29C 64/165; B29C 64/182; B29C 64/209; B29C 64/214; B29C 64/227; (...).

(73) Titular(es): HEWLETT-PACKARD DEVELOPMENT COMPANY, L.P..

(72) Inventor(es): KESHAVA A. PRASAD; DAVID H. DONOVAN; KRZYSZTOF NAUKA; ALI EMAMJOMEH; HUA TAN.

(86) Pedido PCT: PCT US2014036133 de 30/04/2014

(87) Publicação PCT: WO 2015/167520 de 05/11/2015

(85) Data do Início da Fase Nacional: 20/09/2016

(57) Resumo: MODELO COMPUTACIONAL E MÉTODOS DE IMPRESSÃO TRIDIMENSIONAL (3D). Em um método de modelagem computacional para identificar como aplicar um agente de modificação durante um método de impressão tridimensional (3D), um modelo de difusão térmica de uma camada de um objeto 3D a ser formada de uma parte de um material sinterizável usando o método de impressão 3D é criado. O modelo de difusão térmica é criado por um computador executando instruções legíveis por computador armazenadas em uma mídia de armazenamento não transitório tangível legível por computador. Uma quantidade do agente de modificação para ser aplicada seletivamente é calculada, pelo computador, com base no modelo de difusão térmica.

"MÉTODO DE IMPRESSÃO TRIDIMENSIONAL (3D), MÉTODO PARA IDENTIFICAR COMO APLICAR UM AGENTE DE MODIFICAÇÃO DURANTE UM MÉTODO DE IMPRESSÃO TRIDIMENSIONAL (3D) E MÉTODO DE MODELAGEM COMPUTACIONAL PARA IDENTIFICAR COMO APLICAR UM AGENTE DE MODIFICAÇÃO DURANTE UM MÉTODO DE IMPRESSÃO TRIDIMENSIONAL (3D)"

ANTECEDENTES

[001] Impressão tridimensional (3D) é um processo de impressão aditiva usado para fazer objetos sólidos tridimensionais a partir de um modelo digital. Impressão 3D frequentemente é usada em prototipagem rápida de produto, geração de molde e geração de molde mestre. Técnicas de impressão 3D são consideradas processos aditivos porque elas envolvem a aplicação de camadas sucessivas de material. Isto é ao contrário de processos de usinagem tradicionais, os quais frequentemente contam com a remoção de material para criar o objeto final. Materiais usados em impressão 3D frequentemente exigem cura ou fusão, a qual para alguns materiais pode ser executada usando extrusão ou sinterização ajudada por calor, e para outros materiais pode ser executada usando tecnologia de projeção de luz digital.

DESCRIÇÃO RESUMIDA DOS DESENHOS

[002] Recursos e vantagens de exemplos da presente divulgação se tornarão aparentes pela referência à descrição detalhada e desenhos a seguir, em que números de referência iguais correspondem a componentes similares, embora possivelmente não idênticos. Para o propósito de brevidade, números de referência ou recursos tendo uma

função descrita anteriormente podem ser ou não descritos em conexão com outros desenhos nos quais eles aparecem.

[003] A figura 1 é um fluxograma ilustrando um exemplo de um método de impressão 3D divulgado neste documento;

[004] As figuras 2A a 2F são vistas seccionais transversais das etapas envolvidas na(s) camada(s) de formação de um objeto 3D usando um exemplo do método de impressão 3D divulgado neste documento;

[005] A figura 3 é uma vista esquemática superior do material sinterizável no leito de fabricação da figura 2D, com um agente coalescente aplicado a uma parte do mesmo dentro de uma seção transversal da camada a ser formada e com um agente de modificação aplicado a uma outra parte do mesmo em um contorno de bordas;

[006] A figura 4 é uma vista de frente em perspectiva de parte do material sinterizável no leito de fabricação da figura 2D, com o agente coalescente aplicado em uma parte do mesmo dentro da seção transversal do objeto 3D a ser formado e com o agente de modificação aplicado em uma outra parte do mesmo no contorno de bordas e fora da seção transversal do objeto 3D;

[007] A figura 5 é uma vista isométrica simplificada de um exemplo de um sistema de impressão 3D que pode ser usado em um exemplo do método de impressão 3D tal como divulgado neste documento;

[008] As figuras 6A-6F são fotografias de uma parte formada usando um exemplo do agente de modificação divulgado neste documento (figura 6A) e de partes comparativas formadas com agentes de modificação comparativos (figuras 6B-6F);

[009] A figura 7 é um gráfico de comprimento de dente versus gotas de agente de modificação; e

[010] As figuras 8A a 8D são fotografias de partes formadas usando quantidades diferentes de um agente de modificação.

DESCRIÇÃO DETALHADA

[011] Exemplos do método de impressão tridimensional (3D) divulgado neste documento utilizam processamento de área de luz. Durante processamento de área de luz, uma camada total de um material sinterizável é exposta à radiação, mas somente uma região selecionada do material sinterizável é fundida e endurecida para se tornar uma camada de um objeto 3D. Nos exemplos divulgados neste documento, um agente coalescente é seletivamente depositado em contato com a região selecionada do material sinterizável. Em algumas instâncias, o(s) agente(s) coalescente(s) é(são) capaz(es) de penetrar na camada do material sinterizável. Em outras instâncias, o agente coalescente pode permanecer na superfície do material sinterizável. Este agente coalescente é capaz de absorver radiação e converter a radiação absorvida em energia térmica, a qual por sua vez funde ou sinteriza o material sinterizável que está em contato com o agente coalescente. Isto faz com que o material sinterizável seja sinterizado, fundido, ligado, curado, etc. para formar a camada do objeto 3D. Quando o termo cura é usado, ele pode significar cura, sinterização, fusão, ligação ou coisa parecida.

[012] Em algumas instâncias, constatou-se que a energia térmica pode se propagar para dentro de material sinterizável circundante. Isto pode resultar na subsequente

solidificação de área(s)/parte(s) do material sinterizável que não era(m) pretendida(s) para ser(m) solidificada(s), e este efeito é referido neste documento como vazamento de coalescência. Vazamento de coalescência pode resultar, por exemplo, em uma redução na precisão dimensional total de objetos tridimensionais gerados e/ou de desenvolvimento de parte dimensional. Por exemplo, acuidade de borda pode ser indesejavelmente grosseira, indefinida, etc. Os efeitos de vazamento de coalescência podem ser gerenciados ao entregar um exemplo do agente de modificação divulgado neste documento para parte(s) apropriada(s) do material sinterizável antes de exposição à radiação. Exemplos do agente de modificação servem para reduzir o grau de coalescência, ou impedir coalescência de uma parte do material sinterizável para a qual o agente de modificação tenha sido entregue ou tenha penetrado. Nos exemplos divulgados neste documento, como aplicar o agente de modificação (em termos de posição e/ou quantidade) também pode ser determinado antes de aplicar realmente o agente de modificação. Isto capacita uma pessoa para aprimorar os efeitos do agente de modificação, para produzir partes mais precisas dimensionalmente, para melhorar o acabamento de superfície de partes e/ou para potencialmente reduzir ou eliminar a necessidade de técnicas de pós-processamento, as quais de outro modo são usadas para abordar preocupações similares.

[013] Um exemplo do método de impressão 3D 100 está representado na figura 1. É para ser entendido que cada uma das etapas do método 100 mostrado na figura 1 será discutida detalhadamente neste documento, e em algumas

instâncias as figuras 2A a 2F e as figuras 3 e 4 serão discutidas em associação com a figura 1.

[014] Tal como mostrado com o número de referência 102, o método 100 inclui aplicar um material sinterizável. Um exemplo desta etapa 102 está mostrado em seção transversal na figura 2A. No exemplo mostrado na figura 2A, uma camada 10 do material sinterizável 16 foi depositada, tal como será discutido com mais detalhes a seguir.

[015] O material sinterizável 16 pode ser um pó, um líquido, uma pasta ou um gel. Exemplos do material sinterizável 16 incluem materiais termoplásticos semicristalinos com uma janela de processamento ampla de mais de 5 °C (isto é, a faixa de temperaturas entre o ponto de fusão e a temperatura de recristalização). Alguns exemplos específicos do material sinterizável 16 incluem poliamidas (por exemplo, náilon 11, náilon 12, náilon 6, náilon 8, náilon 9, náilon 66, náilon 612, náilon 812, náilon 912, etc.). Outros exemplos específicos do material sinterizável 16 incluem polietileno, tereftalato de polietileno (PET) e variação amorfa destes materiais. Ainda outros exemplos dos materiais sinterizáveis 16 adequados incluem poliestireno, poliacetais, polipropileno, policarbonato e misturas de quaisquer dois ou mais dos polímeros listados neste documento. Partículas de polímero de casca e núcleo destes materiais também podem ser usadas.

[016] Em um exemplo, o material sinterizável 16 inclui partículas de polímero dimensionadas de forma similar (por exemplo, partículas com o mesmo tamanho). Em um outro exemplo, o material sinterizável 16 inclui partículas de polímero dimensionadas diferentemente. Por exemplo, o

material sinterizável 16 pode incluir partículas tendo dois ou mais tamanhos diferentes. No exemplo mostrado na figura 2A, o material sinterizável 16 inclui uma pluralidade das partículas de polímero 16A, 16B, 16C contendo pelo menos três tamanhos de partículas diferentes. Embora as partículas de polímero 16A, 16B, 16C de três tamanhos diferentes estejam mostradas na figura 2A, é para ser entendido que qualquer número adicional de tamanhos de partículas pode ser acrescentado.

[017] No exemplo mostrado na figura 2A, o tamanho médio da primeira partícula de polímero 16A é maior que o tamanho médio da segunda partícula de polímero 16B, e o tamanho médio da segunda partícula de polímero 16B é maior que o tamanho médio da terceira partícula de polímero 16C. O termo "tamanho", tal como usado neste documento, se refere ao diâmetro de uma partícula esférica, ou o diâmetro médio de uma partícula não esférica (isto é, a média de múltiplos diâmetros através da partícula). De uma maneira geral, o tamanho médio de cada uma das primeiras, segundas e terceiras partículas 16A, 16B, 16C varia de 5 μm a cerca de 100 μm . Como um exemplo dos tamanhos diferentes para cada uma das partículas 16A, 16B, 16C, o tamanho médio da primeira partícula de polímero 16A pode ser maior que 50 μm , o tamanho médio da segunda partícula de polímero 16B pode estar entre 10 μm e 30 μm , e o tamanho médio da terceira partícula de polímero 16C pode ser igual ou menor que 10 μm .

[018] A forma das partículas 16A, 16B, 16C também pode ser a mesma ou diferente. Em um exemplo, as partículas 16A, 16B, 16C têm formas esféricas ou quase esféricas. As

partículas 16A, 16B, 16C que têm uma esfericidade de $>0,84$ são consideradas como sendo esféricas ou quase esféricas nos exemplos divulgados neste documento. Assim, quaisquer partículas 16A, 16B, 16C tendo uma esfericidade de $<0,84$ são não esféricas.

[019] Uma ou mais das partículas 16A, 16B, 16C também podem ser modificadas fisicamente, de maneira que a topografia de superfície das partículas 16A, 16B, 16C é alterada e/ou modificada quimicamente.

[020] É para ser entendido que o material sinterizável 16 pode incluir, além das partículas de polímero 16A, 16B, e/ou 16C, um agente de carregamento, um ajudante de fluxo ou combinações dos mesmos.

[021] Agente(s) de carregamento pode(m) ser acrescentado(s) para impedir tribocarregamento. Exemplos de agente(s) de carregamento adequado(s) incluem aminas alifáticas (que podem ser etoxiladas), amidas alifáticas, sais de amônio quaternário (por exemplo, cloreto de berrentrimônio ou cocamidopropil betaína), ésteres de ácido fosfórico, ésteres de polietilenoglicol ou polióis. Alguns agentes de carregamento disponíveis comercialmente adequados incluem HOSTASTAT® FA 38 (alquilamina etoxilada de base natural), HOSTASTAT® FE2 (éster de ácido graxo), e HOSTASTAT® HS 1 (sulfonato de alcano), cada um dos quais está disponível pela Clariant Int. Ltd.). Em um exemplo, o agente de carregamento é adicionado em uma quantidade variando de mais que 0% em peso a menos que 5% em peso com base na porcentagem total em peso das partículas de polímero.

[022] Ajudante(s) de fluxo pode(m) ser adicionado(s) para melhorar a fluxibilidade de revestimento do material sinterizável 16. Ajudante(s) de fluxo pode(m) ser particularmente desejável(eis) quando as partículas 16A, 16B e/ou 16C são menores que 25 µm em tamanho. O ajudante de fluxo melhora a fluxibilidade do material sinterizável 16 ao reduzir o atrito, o arrasto lateral e o desenvolvimento de tribocarregamento (ao aumentar a condutividade de partícula). Exemplos de ajudantes de fluxo adequados incluem trifosfato de cálcio (E341), celulose pulverizada (E460(ii)), estearato de magnésio (E470b), bicarbonato de sódio (E500), ferrocianeto de sódio (E535), ferrocianeto de potássio (E536), ferrocianeto de cálcio (E538), fosfato de osso (E542), silicato de sódio (E550), dióxido de silício (E551), silicato de cálcio (E552), triossilicato de magnésio (E553a), pó de talco (E553b), aluminossilicato de sódio (E554), silicato de potássio e alumínio (E555), aluminossilicato de cálcio (E556), bentonita (E558), silicato de alumínio (E559), ácido esteárico (E570), ou polidimetilsiloxano (E900). Em um exemplo, o ajudante de fluxo é adicionado em uma quantidade variando de mais que 0% em peso a menos que 5% em peso com base na porcentagem total em peso das partículas 16A, 16B e/ou 16C.

[023] No exemplo mostrado na figura 2A, um sistema de impressão 12 para formar o objeto 3D inclui um leito de fornecimento 14 (incluindo um fornecimento do material sinterizável 16), um pistão de entrega 18, um rolete 20, um leito de fabricação 22 (tendo uma superfície de contato 25) e um pistão de fabricação 24. Cada um destes elementos

físicos pode ser conectado operacionalmente a uma unidade central de processamento (não mostrada) do sistema de impressão 12. A unidade central de processamento (por exemplo, executando instruções legíveis por computador armazenadas em uma mídia de armazenamento tangível não transitório legível por computador) manipula e transforma dados representados como quantidades físicas (eletrônicas) dentro dos registradores e memórias da impressora a fim de controlar os elementos físicos para criar o objeto 3D. Os dados para a entrega seletiva do material sinterizável 16, do agente coalescente, etc. podem ser derivados de um modelo do objeto 3D a ser formado.

[024] O pistão de entrega 18 e o pistão de fabricação 24 podem ser do mesmo tipo de pistão, mas são programados para deslocar em direções opostas. Em um exemplo, quando uma primeira camada do objeto 3D é para ser formada, o pistão de entrega 18 pode ser programado para empurrar uma quantidade predeterminada do material sinterizável 16 para fora da abertura no leito de fornecimento 14 e o pistão de fabricação 24 pode ser programado para deslocar na direção oposta à do pistão de entrega 18 a fim de aumentar a profundidade do leito de fabricação 22. O pistão de entrega 18 avançará o suficiente de tal maneira que, quando o rolete 20 empurra o material sinterizável 16 para o leito de fabricação 22 e para a superfície de contato 25, a profundidade do leito de fabricação 22 seja suficiente de tal maneira que uma camada 10 do material sinterizável 16 possa ser formada no leito 22. O rolete 20 é capaz de espalhar o material sinterizável 16 no leito de fabricação 22 para formar a camada 10, a qual é relativamente uniforme

em espessura. Em um exemplo, a espessura da camada 10 varia de cerca de 90 μm a cerca de 110 μm , contudo camadas mais finas ou mais grossas também podem ser usadas.

[025] É para ser entendido que o rolete 20 pode ser substituído por outras ferramentas, tais como uma lâmina que pode ser desejável para espalhar tipos diferentes de pós, ou por uma combinação de um rolete e uma lâmina.

[026] Após a camada 10 do material sinterizável 16 ser depositada no leito de fabricação 22, a camada 10 é exposta ao calor (tal como mostrado no número de referência 104 na figura 1 e na figura 2B). Aquecimento é executado para preaquecer o material sinterizável 16, e assim é desejável que a temperatura de aquecimento fique abaixo do ponto de fusão do material sinterizável 16. Como tal, a temperatura selecionada dependerá do material sinterizável 16 que é usado. Como exemplos, a temperatura de aquecimento pode ser de cerca de 5 °C a cerca de 50 °C abaixo do ponto de fusão do material sinterizável. Em um exemplo, a temperatura de aquecimento varia de cerca de 50 °C a cerca de 350 °C. Em um outro exemplo, a temperatura de aquecimento varia de cerca de 150 °C a cerca de 170 °C. Em um outro exemplo, todo ou parte do preaquecimento pode ser executado enquanto o material sinterizável 16 ainda está no leito de fornecimento 14.

[027] Preaquecimento da camada 10 do material sinterizável 16 pode ser executado usando qualquer fonte de calor adequada que exponha todo o material sinterizável 16 no leito de fabricação 22 ou no leito de fornecimento 14 ao calor. Exemplos da fonte de calor incluem uma fonte térmica de calor ou uma fonte de radiação de luz.

[028] Após preaquecer a camada 10, o agente coalescente é aplicado seletivamente em uma parte do material sinterizável 16 na camada 10, tal como mostrado no número de referência 106 na figura 1 e na figura 2C. Tal como ilustrado na figura 2C, o agente coalescente 28 pode ser dispensado de uma cabeça de impressão de jato de tinta 26. Embora uma única cabeça de impressão esteja mostrada na figura 2C, é para ser entendido que múltiplas cabeças de impressão podem ser usadas que se estendem sobre a largura do leito de fabricação 22. A cabeça de impressão 26 pode ser ligada a uma posição XY de deslocamento ou a um carro translacional (nenhum dos quais está mostrado) que desloca a cabeça de impressão 26 adjacente ao leito de fabricação 22 a fim de depositar o agente coalescente 28 em área(s) desejável(eis).

[029] A cabeça de impressão 26 pode ser programada para receber comandos da unidade central de processamento e para depositar o agente coalescente 28 de acordo com um padrão de uma seção transversal para a camada do objeto 3D que é para ser formado. Tal como usado neste documento, a seção transversal da camada do objeto a ser formado se refere à seção transversal que é paralela à superfície de contato 25. A cabeça de impressão 26 aplica seletivamente o agente coalescente 28 sobre essa(s) parte(s) 44 da camada 10 que é(são) para ser fundida(s) para se tornar a primeira camada do objeto 3D. Como um exemplo, se a primeira camada for para ser modelada tal como um cubo ou cilindro, o agente coalescente 28 será depositado em um padrão quadrangular ou em um padrão circular (a partir de uma vista superior), respectivamente, sobre pelo menos uma parte 44 da camada 10

do material sinterizável 16. No exemplo mostrado na figura 2C, o agente coalescente 28 é depositado em um padrão quadrangular sobre a parte 44 da camada 10 e não fora da parte 44.

[030] Alguns exemplos dos agentes coalescentes adequados 28 são dispersões à base de água incluindo um agente de ligação de absorção de radiação (isto é, um material ativo). O agente ativo pode ser um absorvedor de luz infravermelha, um absorvedor de luz infravermelha próxima ou um absorvedor de luz visível. Como um exemplo, o agente coalescente 28 pode ser uma formulação do tipo tinta incluindo negro de fumo como o material ativo. Um exemplo desta formulação do tipo tinta é conhecido comercialmente como CM997A disponível pela Hewlett-Packard Company. Exemplos de tintas incluindo realçadores de luz visível como o agente ativo são tinta colorida à base de corante e tinta colorida à base de pigmento. Exemplos de tintas coloridas à base de pigmentos incluem as tintas disponíveis comercialmente CE039A e CE042A da Hewlett-Packard Company.

[031] A natureza aquosa do agente coalescente 28 capacita o agente coalescente 28 para penetrar, pelo menos parcialmente, na camada 10 do material sinterizável 16. O material sinterizável 16 pode ser hidrofóbico, e a presença de um cossolvente e/ou de um surfactante no agente coalescente 28 pode ajudar na obtenção de comportamento de molhamento desejável.

[032] É para ser entendido que um único agente coalescente 28 pode ser aplicado seletivamente para formar a camada do objeto 3D, ou que múltiplos agentes

coalescentes 28 podem ser aplicados seletivamente para formar a camada do objeto 3D.

[033] Antes, concorrentemente ou após o agente coalescente 28 ser aplicado seletivamente sobre a(s) parte(s) desejada(s) 44, o agente de modificação é aplicado seletivamente sobre parte(s) diferente(s) do material sinterizável 16, tal como mostrado no número de referência 110 na figura 1. Um exemplo da aplicação seletiva do agente de modificação está mostrado esquematicamente na figura 2D, onde número de referência 29 representa o agente de modificação e o número de referência 42 representa as outras partes do material sinterizável 16 às quais o agente de modificação 29 é aplicado seletivamente.

[034] Pode ser desejável controlar a quantidade e/ou posicionamento do agente de modificação 29 que é aplicado ao material sinterizável 16. O agente de modificação 29 age como um refrigerante, o qual efetivamente remove energia e mantém o material sinterizável 16 em uma temperatura que impede cura ou retarda a sinterização, derretimento, fusão e/ou cura do material sinterizável 16. Como tal, antes de realmente aplicar seletivamente o agente de modificação 29, o método 100 inclui adicionalmente determinar como aplicar seletivamente o agente de modificação 29. Isto está mostrado no número de referência 108 na figura 1.

[035] A determinação para verificar como aplicar seletivamente o agente de modificação 29 pode incluir determinar onde aplicar o agente de modificação 29 e/ou determinar quanto aplicar o agente de modificação 29. Estas determinações podem ser feitas usando uma característica de difusão térmica do material sinterizável 16, uma camada a

ser formada do material sinterizável 16 (isto é, a camada ou parte sinterizada) ou combinações das mesmas. A característica de difusão térmica pode ser uma escala de tempo/tempo característico de difusão térmica, uma escala de comprimento/comprimento característico de difusão térmica, um perfil de temperaturas e/ou um perfil de energia.

[036] Tempos e comprimentos característicos se referem ao tempo aproximado ou distância exigida para um sistema se recuperar de uma perturbação. Frequentemente eles são definidos como o tempo ou distância para uma perturbação ser reduzido para $1/e$ (~37%) da perturbação inicial. Na prática, frequentemente eles são usados para significar o tempo ou distância em que uma perturbação tem um efeito significativo. A escala de tempo de difusão térmica de uma maneira geral se refere ao tempo gasto para o material sinterizável estabilizar (aproximar de seu valor de equilíbrio) em temperatura após energia ter sido adicionada ou removida de uma área adjacente de material. A escala de comprimento de difusão térmica de uma maneira geral se refere à distância a partir da borda de parte ou superfície de construção que experimenta um aumento de temperatura significativo por causa da presença do material sinterizado quente. Como exemplos, a distância pode ser horizontal ou vertical com relação à localização do material sinterizado. Exemplos de uma mudança ou aumento de temperatura significativo incluem i) uma elevação de temperatura de cerca de 25% da diferença entre a temperatura de parte/camada sinterizada e a temperatura de material sinterizável circundante, ou ii) 25% da diferença entre a

temperatura normal do material sinterizável circundante 16 e a temperatura de fusão do material sinterizável 16. As escalas de tempo e/ou de comprimento de difusão térmica podem ser medidas empiricamente, ou derivadas de respectivos coeficientes de difusão térmica ou diferenças de temperatura no sistema. Os coeficientes de difusão térmica propriamente ditos podem ser determinados empiricamente ou estimados a partir de valores de materiais similares ou por meio de métodos de modelagem química.

[037] O perfil de temperaturas e/ou de energia de uma maneira geral se refere às diferenças de temperatura e/ou de energia exibidas pelo material sinterizável 16 ou pela parte/camada sinterizada com ou sem um agente 28 e/ou 29 aplicado à mesma. Como exemplos, estas diferenças podem ser observadas antes de exposição à radiação (por exemplo, por causa de evaporação de agente de modificação) ou após exposição à radiação (por exemplo, por causa de migração de energia). O perfil de temperaturas e/ou perfil de energia podem ser gerados usando o modelo térmico, ou podem ser uma estimativa de um perfil de temperaturas ou de energia. Tal como será descrito com mais detalhes a seguir, a estimativa do perfil de temperaturas ou de energia pode ser baseada na manipulação dos dados de imagens usados para formar as camadas de partes 3D. Calcular a variação local a partir de valores médios da região circundante fornece uma estimativa grosseira das diferenças de temperatura e/ou de energia na camada/parte sinterizada onde o agente de coalescência 28 é aplicado e não aplicado.

[038] Em alguns dos exemplos divulgados neste documento, a quantidade e/ou posição apropriadas do agente

de modificação 29 podem ser determinadas usando um modelo térmico dependente de tempo do processo de sinterização. Em um exemplo, o modelo térmico propriamente dito pode ser usado para calcular diretamente a quantidade de agente de modificação e/ou identificar a posição de agente de modificação. Em um outro exemplo, o modelo térmico é usado para gerar um perfil de temperaturas ou de energia, o qual pode ser usado por um algoritmo de correção para gerar um padrão (por exemplo, localização e/ou quantidade) para aplicar o agente de modificação 29. Ainda em outros exemplos, um ou mais modelos térmicos podem ser usados para identificar escalas de tempo e/ou de comprimento típicas de difusão térmica. Acredita-se que a escala de comprimento e/ou a escala de tempo típicas podem então ser usadas para calcular a quantidade de agente de modificação e/ou determinar a posição de agente de modificação, sem exigir modelagem total da geometria exata do objeto 3D a ser formado. Em outros exemplos divulgados neste documento, a quantidade e/ou a posição apropriadas do agente de modificação 29 podem ser determinadas empiricamente.

[039] Nos exemplos envolvendo o modelo térmico dependente de tempo do processo de sinterização, é para ser entendido que o modelo térmico pode ser gerado usando um método de modelagem computacional. O método de modelagem computacional é executado por um computador (incluindo componentes de hardware tais como um processador) desempenhando/executando instruções legíveis por computador que são armazenadas em uma mídia tangível não transitória legível por computador. Um exemplo do software de modelagem computacional é o Abaqus FEA versão 6.13. Em qualquer um

dos exemplos divulgados neste documento, a mídia legível por computador pode incluir qualquer uma de muitas mídias físicas tais como, por exemplo, mídias eletrônicas, magnéticas, óticas, eletromagnéticas ou semicondutoras. Exemplos mais específicos de mídias legíveis por computador adequadas incluem unidades rígidas, uma memória de acesso aleatório (RAM), uma memória somente de leitura (ROM), uma memória somente de leitura programável e apagável (EPROM), ou um CD, DVD portátil, ou unidade flash.

[040] É para ser entendido que o método de modelagem computacional ou qualquer um dos métodos baseados em computador para determinar como aplicar o agente de modificação 29 pode ser virtualizado e configurado em um Computador em Nuvem (isto é, em um ambiente de computação baseado em Internet). Por exemplo, o equipamento de computação pode ser acessado como um serviço de plataforma em nuvem, ou PaaS (Plataforma como um Serviço), utilizando infraestrutura de nuvem em vez de hospedar equipamento de computação em um prédio físico. A infraestrutura de nuvem, conhecida como IaaS (Infraestrutura como um Serviço), tipicamente utiliza um ambiente de virtualização de plataforma como um serviço, o que pode incluir componentes tais como o processador, base de dados, servidor e outro equipamento de computação.

[041] O computador recebe características (por exemplo, como entradas de um usuário) que são suficientes para construir o modelo térmico. Estas características dizem respeito ao material sinterizável 16 sendo modelado (por exemplo, o tipo de pó, condutividade térmica em temperaturas diferentes, capacidade térmica e densidade),

ao número de camadas, à espessura das camadas, ao tipo de agente de coalescência 28 sendo modelado, a uma temperatura estabelecida do leito de fabricação 22 e ao tempo para construir uma camada particular. Em um exemplo, a densidade, capacidade térmica e a difusibilidade térmica são fornecidas para ambos material sinterizável não sinterizado 16 e o material sinterizado. A mudança de capacidade térmica entre o material sinterizável não sinterizado 16 e o material sinterizado pode ser amplamente por causa da mudança de densidade entre os materiais, e assim um único valor de capacidade térmica pode ser adequado. Ainda outros exemplos de características que podem ser introduzidas no computador são a energia liberada quando a camada se solidifica a partir de um estado fundido, a temperatura na qual o material sinterizável 16 e o agente coalescente 28 são entregues para o leito de fabricação 22, e/ou as entradas ou perdas de energia esperadas da(s) superfície(s) de borda do volume de construção. Para alguns materiais sinterizáveis 16, qualquer um ou todos estes parâmetros/características podem variar com temperatura. Pode ser desejável incluir o comportamento dependente de temperatura, por exemplo, se os parâmetros mudarem mais que 10% dentro da faixa de temperaturas experimentada durante o processo de construção.

[042] As características introduzidas também podem incluir as diferenças em temperatura, capacidade térmica específica e difusibilidade térmica entre o material sinterizável 16 na parte 44 (a ser curada) e na parte 42 (a ser não curada). Por exemplo, uma entrada adequada pode

descrever a diferença em radiação convertida em calor pelas regiões não sinterizadas (por exemplo, a parte 42) versus a(s) parte(s) 44 com o agente coalescente 28 que converterá(ão) mais da radiação em calor. Esta entrada pode ser uma medição empírica da diferença de temperatura entre a(s) parte(s) curada(s)/sinterizada(s) 44 e a(s) parte(s) não curada(s)/não sinterizada(s) 42. Outras características gerais podem incluir uma maior capacidade térmica específica e uma menor difusibilidade térmica na(s) parte(s) 42 do que na(s) parte(s) 44.

[043] Todas estas características são usadas pelo computador (executando um programa de software adequado) para construir um modelo térmico da camada ou objeto. Uma análise de elementos finitos ou outra técnica de modelagem pode ser usada para identificar os gradientes térmicos que se desenvolvem em volta da camada ou do objeto ao longo de uma escala de tempo de interesse. Em um exemplo, a escala de tempo de interesse é o tempo exigido para construir uma ou várias camadas. Os gradientes térmicos que se desenvolvem em volta da camada/parte ao longo da escala de tempo de interesse identificam a escala de comprimento de difusão térmica para um modelo térmico particular. A escala de tempo de difusão térmica pode ser determinada ao gerar um modelo térmico com números diferentes de camadas de partes que devem ser formadas, e identificar o modelo que deve ser executado após a adição de uma camada de material para convergência do modelo térmico para previsões estáveis em uma camada particular.

[044] As temperaturas nas proximidades da camada ou do objeto enquanto ele está sendo fabricado podem ser

estimadas com base no modelo (por exemplo, usando o(s) gradiente(s) térmico(s)). Como tal, o modelo térmico é usado para determinar a localização e sincronismo de fluxos de calor na camada ou objeto sendo construído e em volta dele. Mais particularmente, o excesso de temperatura (ΔT) do material sinterizado 16 na parte 42 (onde cura não é desejável) que está acima da temperatura estabelecida do leito de fabricação 22 representa excesso de energia evoluída da camada ou objeto. O excesso de temperatura pode ser determinado ao subtrair a temperatura estabelecida do leito de fabricação da temperatura do material sinterizado 16 na parte 42 de acordo com o modelo térmico ou uma medição empírica (feita usando um dispositivo de medição de temperatura de alta resolução, tal como uma câmera IR).

[045] Esta diferença de temperatura (ΔT) pode ser convertida em uma quantidade de excesso de energia usando a capacidade térmica específica (C_{pSM}), densidade (den_{SM}) e volume (vol_{SM}) do material sinterizável não sinterizado 16, tal como mostrado na equação 1:

$$\text{Excesso de Energia} = C_{pSM} * vol_{SM} * den_{SM} * \Delta T \quad (\text{equação 1})$$

O excesso de energia para a parte total 42 pode ser identificado. Como tal, um mapa de excesso de energia em volta da camada ou do objeto pode ser gerado por meio deste método.

[046] O excesso de energia é equivalente a uma quantidade de energia a ser removida (isto é, energia removida) pelo agente de modificação 29. Como tal, o excesso de energia pode ser convertido em uma quantidade do agente de modificação 29 que é apropriada para remover esta

quantidade de energia. Usando o mapa de excesso de energia e os valores de quantidades de agente de modificação convertidas, um mapa das quantidades desejadas do agente de modificação 29 em volta da camada ou do objeto pode ser gerado. Como tal, com este exemplo, tanto a posição quanto a quantidade do agente de modificação 29 a ser usado podem ser determinadas.

[047] A conversão de energia em excesso/removida para quantidade de agente de modificação pode ser realizada usando a capacidade térmica específica (C_{pMA}) do agente de modificação 29 para elevar sua temperatura da temperatura de aplicação (T_{apl-MA}) para o ponto de ebulição (T_{ebu-MA}), mais o calor de vaporização (H_{vap-MA}) do agente de modificação 29. A conversão do excesso de energia na quantidade do agente de modificação 29 está mostrada na equação 2 ou 3:

Energia Removida = $C_{pMA} * (T_{ebu-MA} - T_{apl-MA}) + H_{vap-MA} * vol.$
de agente de modificação (equação 2)

Vol. de agente de modificação = $(Energia\ Removida) / (C_{pMA} * (T_{ebu-MA} - T_{apl-MA}) + H_{vap-MA})$ (equação 3)

[048] A temperatura de aplicação (T_{apl-MA}) do agente de modificação 29 pode ser a temperatura ambiente (de cerca de 18 °C a cerca de 22°C), uma temperatura controlada pela cabeça de impressão 26' (ver a figura 2D) ou por outro dispositivo de aplicação (por exemplo, uma temperatura de aquecimento ou de operação de uma cabeça de impressão de jato de tinta), ou uma temperatura típica que o agente de modificação 29 alcança, à medida que ele é entregue para o leito de fabricação aquecido 22 do sistema 12. A soma dos termos de energia de aquecimento e de vaporização multiplicada pelo volume do fluido de modificação 29 é

igual à energia total que o agente de modificação 29 removerá do sistema (isto é, a energia removida).

[049] É para ser entendido que, após o agente de modificação 29 ser aplicado ao material sinterizável aquecido 16, o agente de modificação 29 evapora e remove energia do material sinterizável 16. A evaporação pode ser na ordem de alguns décimos de um segundo, o que pode resultar em remoção significativa antes da aplicação da energia de cura (isto é, a radiação R, ver a figura 2E). Isto pode criar uma região fria para a qual energia migrará ao longo do tempo. Em outras palavras, a energia pode difundir de volta para a(s) parte(s) 42 que foi(foram) resfriada(s) pelo agente de modificação 29 (resultando em uma perda de resfriamento local). Esta migração secundária de energia (em termos de quantidade) pode ser estimada por meio de métodos de modelagem ou empíricos. Então, a quantidade de energia a ser removida (isto é, energia removida na equação 3 acima) pode ser aumentada por esta quantidade para compensar este efeito.

[050] Para determinar a quantidade de energia resultando de migração secundária usando o modelo térmico, pode ser permitido que o modelo térmico seja executado com um tempo de atraso desejado após a aplicação do agente de modificação 29. O agente de modificação 29 pode ser incorporado ao modelo como uma remoção simples de energia em um instante no tempo, ou como um submodelo envolvendo evaporação e outros comportamentos de fluido.

[051] Para determinar a quantidade de energia resultando de migração secundária usando um método empírico, as medições de temperatura descritas no método

empírico a seguir podem ser feitas seguintes a um atraso após a aplicação de radiação.

[052] Um exemplo de um método empírico para determinar como aplicar o agente de modificação 29 será descrito agora. A partir deste método empírico, uma tabela da quantidade de agente de modificação versus mudança de temperatura efetuada pela quantidade de agente de modificação 29 pode ser construída. A mudança de temperatura se refere a uma diferença entre a temperatura do material sinterizável 16 (sem ter qualquer agente coalescente 28 ou agente de modificação 29 no mesmo) após ser exposto à radiação e à temperatura do material sinterizável 16 (tendo o agente de modificação 29 no mesmo) após ser exposto à radiação. Neste exemplo, quaisquer medições de temperatura podem ser executadas com qualquer dispositivo de temperatura adequado, tal como uma câmera infravermelha (IR), um sensor de temperatura IR ou termopar de massa baixa.

[053] Neste exemplo do método, a tabela pode ser construída ao aplicar quantidades diferentes do agente de modificação 29 em respectivas áreas do material sinterizável 16, e não aplicar o agente de modificação 29 em uma área do material sinterizável 16. O material sinterizável total 16 pode então ser exposto à radiação. A área sem o agente de modificação 29 exposta à radiação é referida como uma área de referência, e as áreas com as quantidades diferentes do agente de modificação 29 expostas à radiação são referidas como áreas de testes. A temperatura da área de referência e das áreas de testes podem ser medidas. Cada área de teste que recebeu agente de

modificação após receber radiação deve ter uma temperatura menor que a da área de referência. Para uma área de teste particular, a redução de temperatura quando comparada com a da área de referência é o efeito da quantidade associada de agente de modificação. As mudanças de temperatura podem ser calculadas e correlacionadas com as quantidades diferentes do agente de modificação 29 que são usadas para gerar a tabela. Em aplicações de impressão 3D subsequentes usando o mesmo ou um material sinterizável similar 16 e o agente de modificação 29, a tabela pode ser referenciada para determinar a quantidade do agente de modificação 29 a usar para efetuar uma mudança de temperatura desejada.

[054] Ainda em um outro exemplo, a escala de comprimento de difusão térmica pode ser determinada empiricamente. Neste exemplo, uma camada/parte de teste é usada. A camada/parte de teste é constituída do mesmo material sinterizável 16 e do mesmo agente coalescente 28 que é para ser usado para o objeto/camada 3D real. Para a camada/parte de teste, o agente coalescente 28 pode ser aplicado em uma geometria simples, tal como um quadrado, ou em geometria similar à de objetos 3D reais. O tamanho da parte de teste deve ser grande quando comparado com a escala de comprimento determinada de difusão térmica, por exemplo, pelo menos três vezes o tamanho. Em um exemplo, meia polegada (12,7 milímetros) pode ser um tamanho suficiente. Entretanto, se a escala de comprimento determinada for maior que $1/3$ do tamanho de objeto, o teste deve ser feito usando um tamanho de parte de teste maior. O agente de modificação 29 não é usado para a camada/parte de teste. Após aplicação do agente coalescente 28 e

exposição à radiação, a camada/parte de teste é formada. A posição do material coalescente 28 ao formar a camada/parte de teste é comparada com a extensão real do material 16 sinterizando na camada/parte de teste. Durante esta comparação, a camada/parte de teste é examinada com relação a qualquer material sinterizado indesejável localizado além/fora do contorno de bordas do material coalescente aplicado 28. O comprimento do material sinterizado indesejável é medido. Este valor, ou este valor multiplicado por um fator de correção escalar, é a escala de comprimento estimada que pode ser usada em outros exemplos. Se a geometria de objeto 3D real tiver sido usada, a região de material sinterizado indesejável pode ser usada para estimar a localização para o agente de modificação 29 durante formação do objeto/camada 3D real.

[055] Ao formar subsequentemente o objeto/camada 3D real, o agente coalescente 28 pode ser aplicado na mesma posição e o agente de modificação 29 pode ser aplicado ao longo da escala de comprimento estimada. O uso do agente de modificação 29 próximo ao contorno de bordas 27 pode reduzir a temperatura do material sinterizável 16 dentro da(s) parte(s) 42 nas bordas da camada a ser formada, mas também pode reduzir a qualidade de sinterização ou fusão dentro da(s) parte(s) 44 ao longo do contorno de bordas 27. Esta perda de energia dentro da seção transversal da camada pode ser compensada ao aumentar a quantidade do agente coalescente 28 dentro da(s) parte(s) 44.

[056] Ainda adicionalmente, o modelo térmico também pode prever que o interior de uma camada/parte está muito quente (isto é, excesso de energia está presente). Este

aumento de energia dentro da seção transversal da camada/parte pode ser compensado ao diminuir a quantidade do agente coalescente 28 dentro da(s) parte(s) 44 e/ou aumentar uma quantidade do agente de modificação 29 dentro da(s) parte(s) 44. Neste exemplo, a quantidade do agente de modificação 29 a adicionar pode ser calculada usando a equação 3, exceto que nesta instância a energia removida é o excesso de energia na localização particular dentro da seção transversal da camada/parte.

[057] A quantidade aumentada ou diminuída do agente coalescente 28 pode ser determinada em um modo análogo a determinar quanto agente de modificação 29 aplicar seletivamente. Por exemplo, os valores de temperatura delta do modelo térmico podem ser convertidos em uma quantidade de energia e, usando uma tabela modelada ou empírica de quantidade de agente coalescente versus energia absorvida, a quantidade adicional de agente coalescente 28 pode ser determinada.

[058] Para concentrações do agente coalescente 28 baixas o suficiente em que a Lei de Beer (absorção $A = \epsilon lc$ = coeficiente de absorção * comprimento de caminho * concentração) se aplica, a quantidade do agente coalescente 28 exigida terá uma relação linear com a mudança de temperatura desejada. Para concentrações mais altas do agente coalescente 28, a eficiência de absorção pode ser reduzida, e agente coalescente 28 adicional pode ser necessário para efetuar a mudança desejada. Isto pode ser modelado ou determinado empiricamente ao comparar temperaturas após radiação ser aplicada às partes do material sinterizável 16 coberto com quantidades diferentes

de agente coalescente. Uma solução baseada em modelo pode precisar incorporar o efeito de resfriamento de evaporar quaisquer solventes voláteis dispensados como parte do agente coalescente 28, além do comportamento de absorção do agente coalescente 28, e perdas radioativas ou convectivas da superfície do leito de fabricação 22.

[059] Em outros exemplos, o computador pode incluir um algoritmo de correção. Usando o algoritmo de correção, uma imagem modificada pode ser gerada para corrigir os dados em função dos efeitos de difusão térmica para cada imagem de camada do objeto 3D a ser formado.

[060] De uma maneira geral, o algoritmo de correção utiliza informação de forma 3D para a imagem de camada e um perfil de temperaturas/energia associado com a forma 3D para gerar um padrão (incluindo informação de localização e/ou de quantidade) para aplicar o agente de modificação 29. A informação de forma 3D pode incluir informação a respeito de uma camada, de várias camadas ou da parte total, e também pode incluir valor(s) que é(são) indicativo(s) da aplicação seletiva do agente coalescente 28. Por exemplo, pode existir uma quantidade variando espacialmente do agente coalescente 28 que é usada no modelo térmico ou usada na manipulação da informação de forma 3D.

[061] Nestes exemplos, a informação de forma 3D pode ser fornecida para o modelo térmico e o perfil de temperaturas/energia pode ser gerado automaticamente. Alternativamente, a manipulação da informação de forma 3D (descrita a seguir) pode ser usada para gerar uma estimativa do perfil de temperaturas/energia (na forma de

um mapa de variação de temperatura/energia local) sem usar um modelo térmico.

[062] Em um exemplo usando manipulação da informação de forma 3D, o mapa de variação de temperatura/energia local na região desenvolvida pode ser construído a partir da imagem de camada 3D com base em uma técnica de cálculo de média espacial. No exemplo seguinte é assumido que a imagem de camada original é composta, ou pode ser convertida em dados com valores positivos descrevendo a(s) parte(s) 44 que deve(m) receber o agente coalescente 28, e um valor de zero descrevendo a(s) parte(s) 42 não recebendo o agente coalescente 28. É para ser entendido, entretanto, que os valores podem ser comutados, se desejável. Estas convenções de valores são usadas para o propósito de clareza neste exemplo. É para ser entendido que outras convenções de valores e operações matemáticas podem ser empregadas para alcançar o resultado pretendido.

[063] O raio da imagem de camada na qual uma média pode ser obtida pode ser determinado por meio do comprimento característico de difusão térmica descoberto no modelo térmico ou por meio de medição empírica de crescimento de parte em excesso. Esta medição empírica pode ser executada ao construir partes de comprimentos nominais usando o agente coalescente 28, e representar graficamente o erro dimensional após exposição à radiação (quando o agente de modificação 29 não é usado) versus o tamanho nominal. Neste exemplo, a intercessão da melhor linha de encaixe com o eixo Y (parte de comprimento 0) deve ser aproximadamente o comprimento característico. Esta medição empírica também pode ser executada tal como descrito anteriormente para a

escala de comprimento (por exemplo, com a camada/parte de teste).

[064] Um mapa grosseiro de temperatura local/teor de energia pode ser calculado em cada localização (isto é, pixel) ao calcular a média dos valores de todos os pixels dentro do raio dessa localização. Cálculo de média pode ser executado usando uma função Gaussiana de cálculo de média, ou alguma outra função de cálculo de média adequada. A diferença entre o valor de pixel original e o valor médio calculado de todos os pixels dentro do raio especificado indica a quantidade de desequilíbrio de energia que pode ser corrigida para usar o agente de modificação 29 nessa localização de pixel. Mais particularmente, quando o valor de pixel médio calculado excede o valor de pixel real (por exemplo, uma diferença negativa), isto indica que o resfriamento pelo agente de modificação 29 é desejável. Quando o valor de pixel real excede o valor de pixel médio calculado (por exemplo, uma diferença positiva), isto indica que o agente de modificação 29 não deve ser usado, ou que uma quantidade adicional do agente coalescente 28 pode ser aplicada à localização. O valor de diferença positivo pode ser acrescentado diretamente ao valor de pixel original para modificar a quantidade do agente coalescente 28, multiplicado por um fator de ajuste escalar, ou usado como o índice em uma tabela de pesquisa para descobrir uma quantidade para adicionar ao valor de pixel original. Para o agente de modificação 29, o valor de diferença negativo pode ser usado diretamente, multiplicado por um fator de ajuste escalar, ou usado como o índice em uma tabela de pesquisa para descobrir uma quantidade

adequada. A partir dos valores de diferenças, o padrão para aplicar o agente coalescente 28 e/ou o agente de modificação 29 pode ser produzido.

[065] É para ser entendido que o algoritmo de correção pode resultar em diferenças tanto positivas quanto negativas em partes diferentes da imagem de camada. Nestas instâncias, as quantidades para ambos agente de modificação 29 e agente coalescente 28 podem ser ajustadas. Quando todas as diferenças positivas são obtidas, o uso do agente de modificação 29 pode não ser desejável.

[066] A imagem corrigida final (isto é, o resultado de subtração de imagem média calculada ou a imagem modificada por resultados de modelo térmico) pode ser sombreada, isto é, convertida em um padrão espacial de pontos correspondendo à informação de intensidade na imagem corrigida.

[067] Dependendo do tamanho relativo do tempo de fabricação de camada e do tempo característico para relaxação térmica (resfriamento por exposição à radiação), pode ser desejável executar o algoritmo de correção ao calcular a média de múltiplas camadas da geometria de objeto 3D, em vez de uma camada única.

[068] Se a posição desejada e/ou quantidade do agente de modificação 29 é/são ou não determinada(s) por meio de modelagem ou empiricamente, após a determinação ser feita, o agente de modificação 29 é aplicado seletivamente na(s) parte(s) desejada(s) 42, ou em algumas instâncias na(s) parte(s) 44 do material sinterizável 16 (tal como mostrado no número de referência 110 da figura 1 e na figura 2D).

[069] Nos exemplos divulgados neste documento, o agente de modificação 29 inclui um surfactante, um cossolvente, água e opcionalmente um biocida. Em alguns exemplos, o agente de modificação 29 consiste destes componentes, e sem outros componentes. Constatou-se que esta combinação particular de componentes reduz ou impede efetivamente o vazamento de coalescência, em parte, porque a água e cossolvente fornecem resfriamento evaporativo para o material sinterizável 16 nas proximidades do mesmo (por exemplo, em contato térmico com ele). Acredita-se que evaporação de 1,3 miligramas por cm^2 do agente de modificação 29 pode remover até 3 Joules de energia por cm^2 do material sinterizável 16. Esta perda de energia é suficiente para impedir o material sinterizável 16 de aquecer e curar (por exemplo, o que pode exigir 4 a 5 Joules por cm^2 por camada de 100 micros do material sinterizável 16).

[070] Além disso, o cossolvente que é usado no agente de modificação 29 tem uma difusibilidade térmica menor que a da água. Como tal, o cossolvente exibe menos transferência de calor que a água. Esta característica torna o agente de modificação 29 como sendo capaz de reduzir o fluxo de energia do material sinterizado para o ambiente não sinterizado tendo o agente de modificação 29 no mesmo. Como tal, o agente de modificação 29 ajuda a reduzir migração não desejada de energia.

[071] Portanto, o agente de modificação 29 divulgado neste documento pode reduzir ou impedir efetivamente a cura do material sinterizável 16 quando o material de

sinterização 16 estiver em contato térmico com o agente de modificação 29.

[072] A quantidade total de cossolvente presente no agente de modificação 29 varia de cerca de 5,0% em peso até 30% em peso com relação ao peso total do agente de modificação 29. Tal como mencionado anteriormente, cossolventes adequados têm pelo menos uma difusibilidade térmica menor que a da água. Em alguns exemplos, também pode ser desejável que o(s) cossolvente(s) tenha(m) um ponto de ebulição maior que 230 °C. Exemplos de cossolventes adequados e de algumas de suas propriedades físicas são fornecidos na Tabela 1.

Tabela 1 - Cossolventes de Agentes de Modificação

Solvente	Difusibilidade Térmica (mm ² /s)	Condutividade Térmica (W/(m*K))	Calor Específico (J/(g*K))	Densidade (g/m ³)	Ponto de Ebulição (°C)	Ponto de Fulgor (°C)
Água	0,162	0,680	4,19	1,00E+06	100	N/A
Trimetilolpropano	0,145	0,256	1,58	1,12E+06	296	148
Glicerol	0,093	0,285	2,43	1,26E+06	290	160
1,2,4-Butanotriol	0,044	0,199	3,70	1,22E+06	304	154
1,5-Pentanodiol	0,069	0,211	3,08	9,94E+05	239	129
1,4-Butanodiol	0,105	0,211	1,99	1,01E+06	228	106
2-Pirrolidinona	0,088	0,194	1,97	1,12E+06	245	136
2-Hidroxietil-2-Pirrolidinona	sem dados	sem dados	sem dados	1,16E+06	296	133
Tripropileno	0,082	0,165	1,97	1,02E+06	265	143

Glicol (TPG)						
Dipropileno Glicol	0,075	0,167	2,18	1,02E+06	232	124
Tetraetileno Glicol	0,078	0,191	2,18	1,12E+06	328	177
Trietileno Glicol	0,080	0,196	2,18	1,13E+06	288	166
Éter de Metil de Tripropileno Glicol	0,075	0,154	2,12	9,63E+05	243	121
Éter de n- Butil de Trietileno Glicol	0,076	0,160	2,13	9,90E+05	289	156

Acredita-se que combinações dos cossolventes listados na Tabela 1 também possam ser usadas.

[073] O agente de modificação 29 também inclui o surfactante. O tipo e quantidade de surfactante podem ser selecionados de tal maneira que um ângulo de contato com uma linha de contato do material sinterizável 16 é menor que 90°. Em algumas instâncias, o ângulo de contato pode ser menor que 45°, o que pode ser desejável para assegurar o molhamento do material sinterizável 16 com o agente de modificação 29.

[074] Os componentes do agente de modificação 29 podem ser misturados conjuntamente, e então a quantidade de surfactante pode ser ajustada para alcançar o ângulo de contato desejável. Constatou-se que a quantidade adequada

de surfactante pode variar dependendo em parte da resistência do surfactante e/ou se uma combinação de surfactantes é usada. Em um exemplo, a quantidade de surfactante pode ser de até cerca de 1,5% em peso com relação ao peso total do agente de modificação 29. Exemplos de surfactantes adequados incluem um agente molhante autoemulsificável não iônico baseado em química de diol acetilênico (por exemplo, SURFYNOL®SEF da Air Products and Chemicals, Inc.), um fluorosurfactante não iônico etoxilado baseado em perfluoro (CHEMGUARD® S-550-100 da Tyco Fire & Security GMBH LLC), um fluorosurfactante não iônico (por exemplo, fluorosurfactantes CAPSTONE® da DuPont, conhecidos anteriormente como ZONYL FSO) e combinações dos mesmos.

[075] Tal como observado anteriormente, o agente de modificação 29 também inclui, em algumas instâncias, o biocida. Quando parte do agente de modificação 29, o biocida está presente em uma quantidade variando de cerca de 0,01% em peso a cerca de 0,2% em peso com relação ao peso total do agente de modificação 29. Um exemplo de um biocida adequado é uma solução aquosa de 1,2-benzisotiazolina-3-ona (por exemplo, PROXEL® GXL da Arch Chemicals, Inc.).

[076] O restante do agente de modificação 29 é água. Como tal, a quantidade de água pode variar dependendo das quantidades de surfactante, cossolvente e, em algumas instâncias, de biocida que estão incluídas. Em um exemplo, a quantidade de água varia de cerca de 70% em peso a cerca de 95% em peso do peso total do agente de modificação 29.

[077] O agente de modificação 29 pode ser aplicado seletivamente em um modo similar ao do agente coalescente

28. Em um exemplo, o agente de modificação 29 pode ser aplicado ao mesmo tempo que o agente coalescente 28 é dispensado, usando uma única passagem ou usando múltiplas passagens. Em um outro exemplo, o agente de modificação 29 pode ser aplicado antes ou após o agente coalescente 28 ser dispensado.

[078] Tal como representado na figura 2D, o agente de modificação 29 pode ser dispensado a partir de uma cabeça de impressão de jato de tinta 26'. Embora uma única cabeça de impressão esteja mostrada na figura 2D, é para ser entendido que múltiplas cabeças de impressão podem ser usadas que se estendem sobre a largura do leito de fabricação 22. A cabeça de impressão 26' pode ser fixada a uma posição XY de deslocamento ou a um carro translacional (nenhum dos quais está mostrado) que desloca a cabeça de impressão 26' adjacente ao leito de fabricação 22 a fim de depositar o agente de modificação em área(s) desejável(eis). A cabeça de impressão 26' pode ser programada para receber comandos da unidade central de processamento e para depositar o agente de modificação 29 na(s) parte(s) desejada(s) 44 e/ou 42.

[079] Em um exemplo, pode ser desejável aprimorar, refinar, uniformizar, etc. a(s) borda(s) da camada do objeto 3D que está sendo formado. Neste exemplo, o agente coalescente 28 pode ser aplicado seletivamente de acordo com o padrão da seção transversal (que é paralela à superfície de contato 25) para a camada do objeto 3D, e o agente de modificação 29 pode ser aplicado seletivamente ao longo de pelo menos parte de um contorno de bordas 27 dessa seção transversal. Um exemplo disto está mostrado na figura

2D (vista seccional transversal lateral do sistema 12) e na figura 3 (vista superior do material sinterizável 16 no leito de fabricação 22). No exemplo mostrado nestas figuras, a forma da camada de objeto 3D a ser formada é um prisma retangular, e o padrão da seção transversal que é paralela à superfície de contato 25 é um quadrado ou retângulo tendo o contorno de bordas 27. O material sinterizável 16 dentro do contorno de bordas 27 é a parte 44 sobre a qual o agente coalescente 28 é aplicado seletivamente. O material sinterizável 16 posicionado entre o contorno de bordas 27 e as bordas do leito de fabricação 22 está fora do padrão da seção transversal para a camada a ser formada, e assim é a parte 42 sobre a qual o agente de modificação 29 é aplicado seletivamente.

[080] Referindo-se de maneira resumida à figura 4, uma vista frontal em perspectiva de um tanto de cada uma das duas partes 42 e 44 está representada. A vista na figura 4 ilustra parte do material sinterizável 16 após o agente coalescente 28 e o agente de modificação 29 serem aplicados ao mesmo. Tal como representado, o agente coalescente 28 pode penetrar pelo menos em alguns dos vazios 31 entre as partículas 16A, 16B, 16C do material sinterizável 16 dentro da parte 44. De forma similar, o agente de modificação 29 pode penetrar pelo menos em alguns dos vazios 31' entre as partículas 16A, 16B, 16C do material sinterizável 16 dentro da parte 42 fora do contorno de bordas 27. Em outros exemplos, o agente coalescente 28 e/ou o agente de modificação 29 não podem penetrar nos vazios 31, 31', mas podem se espalhar sobre a superfície exposta da camada 10 do material sinterizável 16. No exemplo mostrado nas

figuras 2D, 3 e 4, o agente de modificação 29 é capaz de impedir cura (fusão, sinterização, etc.) da parte 42 do material sinterizável 16, enquanto que o agente coalescente 28 é capaz de aprimorar cura (fusão, sinterização, etc.) da parte 44 do material sinterizável 16.

[081] Em um outro exemplo, pode ser desejável reduzir a quantidade de energia (ou temperatura) dentro do padrão da seção transversal (que é paralela à superfície de contato 25) para a camada do objeto 3D. Neste exemplo, o agente coalescente 28 pode ser aplicado seletivamente de acordo com o padrão da seção transversal (que é paralela à superfície de contato 25) para a camada do objeto 3D, mas a quantidade pode ser diminuída para reduzir a quantidade de energia nas áreas desejadas. Alternativamente, neste exemplo, o agente coalescente 28 pode ser aplicado seletivamente de acordo com o padrão da seção transversal (que é paralela à superfície de contato 25) para a camada do objeto 3D, e o agente de modificação 29 pode ser aplicado seletivamente dentro de pelo menos uma parte dessa seção transversal a fim de reduzir a quantidade de energia nas áreas desejadas. Como tal, o agente de modificação 29 pode ser aplicado a toda ou a um pedaço da parte 44 do material sinterizável 16 na qual o agente coalescente 28 é aplicado. Como um exemplo, o agente de modificação 29 pode ser aplicado no centro da parte 44, ou perto dele, do material sinterizável 16 que exibe uma temperatura mais alta durante cura, e pode não ser aplicado perto do contorno de bordas 27 da parte 44 do material sinterizável 16.

[082] Após o agente coalescente 28 e o agente de modificação 29 serem aplicados seletivamente nas partes desejadas 44 e 42, respectivamente, a camada total 10 do material sinterizável 16 é exposta à radiação R. Isto está mostrado no número de referência 112 da figura 1 e na figura 2E.

[083] A radiação R é emitida por uma fonte de radiação 30, tal como uma lâmpada de cura IR, IR próximo, UV ou visível, diodos emissores de luz (LED) IR, IR próximo, UV, ou visível, ou lasers com comprimentos de onda específicos. A fonte de radiação 30 usada dependerá, pelo menos em parte, do tipo de agente coalescente 28 que é usado. A fonte de radiação 30 pode ser fixada, por exemplo, a um carro que também retém a(s) cabeça(s) de impressão 26, 26'. O carro pode deslocar a fonte de radiação 30 para uma posição que fica adjacente ao leito de fabricação 22. A fonte de radiação 30 pode ser programada para receber comandos da unidade central de processamento e para expor a camada 10, incluindo o agente coalescente 28 e o agente de modificação 29, à radiação R. A duração de tempo em que a radiação R é aplicada, ou tempo de exposição à energia, pode ser dependente, por exemplo, de uma ou mais de: características da fonte de radiação 30, características do material sinterizável 16 e/ou características do agente coalescente 28.

[084] O tempo entre aplicação seletiva do agente coalescente 28 e do agente de modificação 29 e exposição à radiação pode variar em qualquer lugar a partir de 0,05 segundo a cerca de 6 segundos. A fim de alcançar o efeito de resfriamento desejado provocado pelo agente de

modificação 29 divulgado neste documento, o tempo entre aplicação e exposição à radiação pode ser diminuído e/ou a quantidade do agente de modificação 29 pode ser aumentada. Fazer ajustes de tempo e/ou de quantidade assegura que a temperatura das partes selecionadas permanece diminuída durante um tempo suficiente para impedir cura na(s) parte(s) 42, enquanto que cura acontece na(s) parte(s) 44. Isto é desejável porque, quando a(s) parte(s) 42 está(ão) mais fria(s) do que seu ambiente por causa de evaporação, a migração de energia para a(s) parte(s) 42 pode ocorrer ao longo do tempo.

[085] O agente coalescente 28 aprimora a absorção da radiação R, converte a radiação absorvida em energia térmica, e promove a transferência da energia térmica para o material sinterizável 16 nas proximidades do mesmo (isto é, o material sinterizável 16 dentro de contato térmico do agente de coalescência 28). Em um exemplo, o agente coalescente 28 eleva suficientemente a temperatura do material sinterizável 16 na parte 44 para acima do(s) ponto(s) de fusão, permitindo que aconteça cura (por exemplo, sinterização, ligação, fusão, etc.) das partículas 16A, 16B, 16C.

[086] Ainda adicionalmente, é para ser entendido que as partes 42 do material sinterizável 16 que não têm o agente coalescente 28, aplicado a elas, mas têm o agente de modificação 29 aplicado a elas, absorvem alguma energia. Entretanto, o agente de modificação 29 pode difundir a energia absorvida para o material sinterizável 16 adjacente mais lentamente, e evaporação do agente de modificação 29 remove energia. Como tal, nestas instâncias, as partículas

16A, 16B, 16C dentro da(s) parte(s) 42 de uma maneira geral não excedem o(s) ponto(s) de fusão das partículas 16A, 16B, 16C e não são curadas.

[087] Exposição à radiação R forma uma camada 32 do objeto 3D 40 (ver a figura 2F) a ser formado.

[088] As etapas 102 a 112 da figura 1 (mostradas e descritas com referência para as figuras 2A a 2F) podem ser repetidas tantas vezes quanto desejável para criar as camadas subsequentes 34, 36, 38 (figura 2F) e para formar no final o objeto 3D 40. É para ser entendido que calor absorvido durante a aplicação de energia por uma parte do material sinterizável 16 no qual agente coalescente 28 tenha sido entregue pode se propagar para uma camada solidificada anteriormente, tal como a camada 32, fazendo com que pelo menos parte dessa camada seja aquecida para acima de seu ponto de fusão. Este efeito ajuda a criar uma união entre camadas forte entre camadas adjacentes do objeto 3D 40.

[089] A figura 2F ilustra um exemplo do objeto 3D 40 no leito de fabricação 22. É para ser entendido, entretanto, que as camadas 34, 36, 38 formadas subsequentemente podem ter qualquer forma e/ou espessura desejáveis e podem ser iguais ou diferentes de qualquer outra camada 32, 34, 36, 38 dependendo do tamanho, forma, etc. do objeto 3D 40 que é para ser formado.

[090] Tal como ilustrado na figura 2F, as camadas subsequentes 34, 36, 38 estão formadas, o pistão de entrega 18 está empurrado para mais próximo da abertura do leito de entrega 14, e o fornecimento do material sinterizável 16 no leito de entrega 14 está reduzido (comparado, por exemplo,

com o da figura 2A no início do método). O pistão de fabricação 24 está empurrado para mais longe da abertura do leito de fabricação 22 a fim de acomodar a(s) camada(s) subsequente(s) de material sinterizável 16, o agente coalescente 28 aplicado seletivamente e o agente de modificação 29 aplicado seletivamente. Uma vez que pelo menos parte do material sinterizável 16 permanece não curado após cada camada 32, 34, 36, 38 ser formada, o objeto 3D 40 é circundado pelo menos parcialmente pelo material sinterizável não curado 16 e pelo agente de modificação 29 no leito de fabricação 22.

[091] Quando o objeto 3D 40 está completo, ele pode ser removido do leito de fabricação 22, e o material sinterizável não curado 16 e o agente de modificação 29 podem ser separados um do outro. Isto pode ser realizado por meio de lavagem com água. O material sinterizável não curado 16 pode ser lavado e então reutilizado.

[092] Referindo-se agora à figura 5, um outro exemplo do sistema de impressão 12' está representado. O sistema 12' inclui uma unidade central de processamento 46 que controla a operação geral do sistema de impressão aditiva 12'. Como um exemplo, a unidade central de processamento 46 pode ser um controlador baseado em microprocessador que é acoplado a uma memória 50, por exemplo, por meio de um barramento de comunicações (não mostrado). A memória 50 armazena as instruções legíveis por computador 48. A unidade central de processamento 46 pode executar as instruções 48, e assim pode controlar operação do sistema 12' de acordo com as instruções 48.

[093] Neste exemplo, o sistema de impressão 12' inclui um distribuidor de agente coalescente 26 para entregar seletivamente o agente coalescente 28 para a(s) parte(s) 44 da camada (não mostrada nesta figura) do material sinterizável 16 fornecido sobre um componente de suporte 58. Neste exemplo, o sistema de impressão 12' também inclui um distribuidor de agente de modificação 26' para entregar seletivamente o agente de modificação 29 para outra(s) parte(s) 42 e/ou para a(s) parte(s) 44 da camada (não mostrada nesta figura) do material sinterizável 16 fornecido sobre um componente de suporte 58.

[094] Em um exemplo, o componente de suporte 58 tem dimensões variando de cerca de 10 cm por 10 cm até cerca de 100 cm por 100 cm, contudo o componente de suporte 58 pode ter dimensões maiores ou menores dependendo do objeto 3D 40 que é para ser formado.

[095] A unidade central de processamento 46 controla a entrega seletiva do agente coalescente 28 e do agente de modificação 29 para a camada do material sinterizável 16 de acordo com os dados de controle de entrega 52.

[096] No exemplo mostrado na figura 5, é para ser entendido que os distribuidores 26, 26' são cabeças de impressão, tais como cabeças de impressão térmicas ou cabeças de impressão de jato de tinta piezoelétricas. As cabeças de impressão 26, 26' podem ser cabeças de impressão de gotas sob demanda ou cabeças de impressão de gotas contínuas.

[097] As cabeças de impressão 26, 26' podem ser usadas para entregar seletivamente o agente coalescente 28 e o agente de modificação 29, respectivamente, quando na forma

de um fluido adequado. Tal como descrito anteriormente, cada agente coalescente 28 e agente de modificação 29 inclui um veículo, tal como água, cossolvente(s), surfactante(s), etc., para capacitá-lo para ser entregue por meio das cabeças de impressão 26, 26'.

[098] Em um exemplo a cabeça de impressão 26, 26' pode ser selecionada para entregar gotas do agente coalescente 28 e do agente de modificação 29 em uma resolução variando de cerca de 180 pontos por polegada (DPI) a cerca de 1.200 DPI. Em outros exemplos, a cabeça de impressão 26, 26' pode ser selecionada para ser capaz de entregar gotas do agente coalescente 28 e do agente de modificação 29 em uma resolução maior ou menor. A velocidade de gota pode variar de cerca de 8 m/s a cerca de 24 m/s e a frequência de disparo pode variar de cerca de 1 kHz a cerca de 48 kHz. Em um exemplo, pode ser desejável que 0,3-1,0 miligrama/cm² do agente de modificação 29 seja entregue em partes selecionadas por camada do objeto sendo construído.

[099] Cada cabeça de impressão 26, 26' pode incluir um conjunto de bicos através dos quais a cabeça de impressão 26, 26' é capaz de seletivamente ejetar gotas de fluido. Em um exemplo, cada gota pode estar na ordem de cerca de 6 picolitros (pL) por gota a cerca de 10 picolitros (pL) por gota, embora seja considerado que um tamanho de gota maior ou menor pode ser usado. Em alguns exemplos, as cabeças de impressão 26, 26' são capazes de entregar gotas de tamanhos variáveis.

[0100] As cabeças de impressão 26, 26' podem ser uma parte integral do sistema de impressão 12', ou elas podem ser substituíveis por usuário. Quando as cabeças de

impressão 26, 26' são substituíveis por usuário, elas podem ser inseríveis de modo removível em um receptor de distribuidor ou módulo de interface adequado (não mostrado).

[0101] Em um outro exemplo do sistema de impressão 12', uma única cabeça de impressão de jato de tinta pode ser usada para entregar seletivamente tanto o agente coalescente 28 quanto o agente de modificação 29. Por exemplo, um primeiro conjunto de bicos de cabeça de impressão da cabeça de impressão pode ser configurado para entregar o agente coalescente 28, e um segundo conjunto de bicos de cabeça de impressão da cabeça de impressão pode ser configurado para entregar o agente de modificação 29.

[0102] Tal como mostrado na figura 5, cada um dos distribuidores 26, 26' tem um comprimento que o capacita para se estender sobre a largura total do componente de suporte 58 em uma configuração de matriz de página ampla. Em um exemplo, a configuração de matriz de página ampla é alcançada por meio de um arranjo adequado de múltiplas cabeças de impressão. Em um outro exemplo, a configuração de matriz de página ampla é alcançada por meio de uma única cabeça de impressão com um conjunto de bicos tendo um comprimento para capacitá-los para se estender sobre a largura do componente de suporte 58. Em outros exemplos do sistema de impressão 12', os distribuidores 26, 26' podem ter um comprimento menor que não os capacitam para se estenderem sobre a largura total do componente de suporte 58.

[0103] Embora não mostrado na figura 5, é para ser entendido que os distribuidores 26, 26' podem ser montados

em um carro móvel para capacitá-los para deslocar bidirecionalmente por todo o comprimento do componente de suporte 58 ao longo do eixo y ilustrado. Isto capacita entrega seletiva do agente coalescente 28 e do agente de modificação 29 através da largura e comprimento totais do componente de suporte 58 em uma única passagem. Em outros exemplos, os distribuidores 26, 26' podem ser fixados enquanto que o componente de suporte 58 é configurado para deslocar em relação a eles.

[0104] Tal como usado neste documento, o termo 'largura' de uma maneira geral denota a dimensão menor no plano paralelo aos eixos X e Y mostrados na figura 5, e o termo 'comprimento' denota a dimensão maior neste plano. Entretanto, é para ser entendido que em outros exemplos o termo 'largura' pode ser permutável com o termo 'comprimento'. Como um exemplo, os distribuidores 26, 26' podem ter um comprimento que os capacita para se estender sobre o comprimento total do componente de suporte 58, enquanto que o carro móvel pode deslocar bidirecionalmente através da largura do componente de suporte 58.

[0105] Em exemplos em que os distribuidores 26, 26' têm um comprimento menor que não os capacitam para se estender sobre a largura total do componente de suporte 58, os distribuidores 26, 26' também podem ser móveis bidirecionalmente através da largura do componente de suporte 58 no eixo X ilustrado. Esta configuração capacita entrega seletiva do agente coalescente 28 e do agente de modificação 29 através da largura e comprimento totais do componente de suporte 58 usando múltiplas passagens.

[0106] Os distribuidores 26, 26' podem incluir nos mesmos respectivamente um fornecimento do agente coalescente 28 e do agente de modificação 29, ou podem ser respectivamente conectados de modo operacional a um fornecimento separado do agente coalescente 28 e do agente de modificação 29.

[0107] Tal como mostrado na figura 5, o sistema de impressão 12' também inclui um distribuidor de material sinterizável 56. Este distribuidor 56 é usado para fornecer a camada (por exemplo, a camada 10) do material sinterizável 16 sobre o componente de suporte 58. Distribuidores de materiais sinterizáveis adequados 56 podem incluir, por exemplo, uma lâmina raspadora, um rolete ou combinações dos mesmos.

[0108] O material sinterizável 16 pode ser fornecido para o distribuidor de material sinterizável 56 por meio de uma tremonha ou de outro sistema de entrega adequado. No exemplo mostrado, o distribuidor de material sinterizável 56 é deslocado por todo o comprimento (eixo Y) do componente de suporte 58 para depositar uma camada do material sinterizável 16. Tal como descrito anteriormente, uma primeira camada do material sinterizável 16 será depositada sobre o componente de suporte 58, enquanto que camadas subsequentes do material sinterizável 16 serão depositadas sobre uma camada depositada anteriormente (e solidificada).

[0109] É para ser entendido adicionalmente que o componente de suporte 58 também pode ser móvel ao longo do eixo Z. Em um exemplo, o componente de suporte 58 é deslocado na direção Z de tal maneira que, à medida que

novas camadas do material sinterizável 16 são depositadas, uma folga predeterminada é mantida entre a superfície da camada formada mais recentemente e a superfície inferior dos distribuidores 26, 26'. Em outros exemplos, entretanto, o componente de suporte 58 pode ser fixado ao longo do eixo Z e o distribuidor 26 pode ser móvel ao longo do eixo Z.

[0110] Similar ao sistema 12, o sistema 12' também inclui a fonte de radiação 30 para aplicar energia à camada depositada do material sinterizável 16, do agente coalescente 28 e do agente de modificação 28 para causar a solidificação da(s) parte(s) 44 do material sinterizável 16. Qualquer uma das fontes de radiação 30 descritas anteriormente pode ser usada. Em um exemplo, a fonte de radiação 30 é uma única fonte de energia que é capaz de aplicar uniformemente energia aos materiais depositados, e em um outro exemplo a fonte de radiação 30 inclui um conjunto de fontes de energia para aplicar uniformemente energia aos materiais depositados.

[0111] Nos exemplos divulgados neste documento, a fonte de radiação 30 é configurada para aplicar energia à superfície total do material sinterizável depositado 16 em um modo substancialmente uniforme. Este tipo de fonte de radiação 30 pode ser referido como uma fonte de energia não focalizada. Expor a camada total à energia simultaneamente pode ajudar a aumentar a velocidade na qual um objeto tridimensional pode ser gerado.

[0112] Embora não mostrado, é para ser entendido que a fonte de radiação 30 pode ser montada no carro móvel ou pode ficar em uma posição fixa.

[0113] A unidade central de processamento 46 pode controlar a fonte de radiação 30. A quantidade de energia aplicada pode ser de acordo com os dados de controle de entrega 52.

[0114] O sistema 12' também pode incluir um pré-aquecedor 60 que é usado para preaquecer o material sinterizável depositado 16 (tal como mostrado e descrito com referência para a figura 2B). O uso do pré-aquecedor 60 pode ajudar a reduzir a quantidade de energia que tem que ser aplicada pela fonte de radiação 30.

[0115] Para ilustrar adicionalmente a presente divulgação, exemplos são dados neste documento. É para ser entendido que estes exemplos são fornecidos para propósitos ilustrativos e não são para ser interpretados como limitando o escopo da presente divulgação.

EXEMPLO 1

[0116] Um agente de modificação de exemplo (Exemplo) e vários agentes de modificação comparativos (Comp. 1 - Comp. 5) foram preparados. As formulações (denotadas por IF) estão mostradas na Tabela 2.

Tabela 2

Componentes	IF7 Exemplo	IF Comp. 1	IF4 Comp. 2	IF6 Comp. 3	IF8 Comp. 4	IF9 Comp. 5
	Porcentagem em Peso					
Fosfato de potássio dibásico tri-hidratado (K ₂ HPO ₄ -3H ₂ O)	0	0	27,5	0	0	0
Iodeto de	0	20	0	0	20	20

Potássio (KI)						
Tripropileno glicol	0	0	0	50	20	10
2-Hidroxietyl-2-Pirrolidinona	8	6	6	0	0	0
1,6-Hexanodiol	0	3	3	0	0	0
2-Pirrolidinona (2-P)	0	7	7	0	0	0
Tetraetilenoglicol	0	3	3	0	0	0
Glicerol	0	0	0	0	0	10
SURFYNOL® SEF	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
CHEMGUARD® S 550-L-100	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
CRODAFOS® N-3	0	1	1	1	1	1
PROXEL® GXL	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Água Desionizada	Balanço	Balanço	Balanço	Balanço	Balanço	Balanço

[0117] Partes simétricas foram formadas usando processamento de área de luz. Uma camada de 100 µm do material sinterizável poliamida 12 PA2200 disponível da Electro Optical Systems GmbH foi aplicada. A tinta HP CM991A disponível da Hewlett Packard Company foi aplicada como um agente coalescente com uma impressora a jato de tinta sobre o material sinterizável no padrão da parte. Os agentes de modificação de exemplo e de exemplos comparativos foram aplicados ao material sinterizável nas bordas de metade do padrão. As configurações de impressora incluíram um ponto de referência de leito de fabricação de

160 °C e um tempo de ciclo de camada de 20 segundos. 40 camadas de material foram depositadas, modeladas e curadas.

[0118] As partes formadas foram expostas à limpeza em água ensaboada com uma escova de dente para remover material sinterizável não sinterizado e para avaliar o desempenho dos agentes de modificação.

[0119] Fotografias das partes após limpeza estão mostradas nas figuras 6A a 6F. A Tabela 3 liga as figuras às várias partes e ao agente de modificação usado durante fabricação das respectivas partes.

Tabela 3

Parte e Agente de Modificação Usado	Figura
Parte de Exemplo formada usando Exemplo IF7	6A
Parte Comp. 1 formada usando Comp. 1 IF	6B
Parte Comp. 2 formada usando Comp. 2 IF4	6C
Parte Comp. 3 formada usando Comp. 3 IF6	6D
Parte Comp. 4 formada usando Comp. 4 IF8	6E
Parte Comp. 5 formada usando Comp. 5 IF9	6F

[0120] Os respectivos agentes de modificação foram aplicados ao longo da borda inferior e dentro do entalhe de forma quadrangular durante a fabricação de cada uma das partes. Ao comparar as figuras 6A a 6F, está claro que a Parte de Exemplo (figura 6A, formada com o agente de modificação de exemplo consistindo de água, cossolvente com uma difusibilidade térmica desejável e em uma faixa desejada, e surfactantes) tinha a menor quantidade do material sinterizável 16 nas partes onde o agente de modificação tinha sido aplicado. As partes comparativas (figuras 6B-6F), formuladas com sais e/ou uma quantidade alta (maior que 30% em peso) de cossolvente(s) não

clarearam o entalhe igualmente. Particularmente, o material sinterizável não sinterizado endurece (isto é, acumula) dentro do entalhe nas partes comparativas.

[0121] Após a avaliação, cada uma das partes foi também exposta a jato de areia para limpeza mais severa. Resultados similares a esses mostrados nas figuras 6A a 6F foram obtidos.

EXEMPLO 2

[0122] Um agente de modificação incluindo cerca de 90% em peso de água e cerca de 8% em peso de éter de glicol foi preparado.

[0123] Uma camada de 100 µm do material sinterizável poliamida 12 PA2200 disponível da Electro Optical Systems GmbH foi aplicada. A tinta HP CM991A disponível da Hewlett Packard Company foi aplicada como um agente coalescente com uma impressora a jato de tinta no material sinterizável no padrão da parte. O agente de modificação, em uma quantidade variando de 0 mg/cm² por camada a 1,3 mg/cm² por camada, foi aplicado ao material sinterizável nas bordas de respectivas formas de dentes de serra. As configurações de impressora incluíram um ponto de referência de leito de fabricação de 160 °C e um tempo de ciclo de camada de 20 segundos. 40 camadas de material foram depositadas, modeladas e curadas.

[0124] O comprimento de dente em mm foi medido após a parte ser formada para avaliar o efeito da quantidade de agente de modificação. A figura 7 ilustra um gráfico do comprimento de dente versus a quantidade de agente de modificação. Ele mostra que 1,3 mg/cm² do agente de modificação pode fornecer resfriamento demais e reduzir

indesejavelmente o comprimento padrão. Estes resultados demonstram que pode ser desejável determinar a quantidade de agente de modificação para aplicar usando os exemplos divulgados neste documento.

[0125] As figuras 8A a 8D são fotografias da parte formada neste exemplo. A figura 8A mostra o dente de serra sem agente de modificação (isto é, 0 mg/cm² por camada) aplicado em sua borda. A figura 8B mostra o dente de serra com agente de modificação aplicado em volta de sua borda e se estendendo por 2 mm além da extremidade do dente em uma quantidade de 0,33 mg/cm² por camada. A figura 8C mostra o dente de serra com agente de modificação aplicado em sua borda em uma quantidade de 0,66 mg/cm² por camada. A figura 8D mostra o dente de serra com agente de modificação aplicado em sua borda em uma quantidade 1,3 mg/cm² por camada. A região preta do dente de serra indica a área marcada com agente coalescente, a qual representa as dimensões desejadas do recurso. Existe mais material sinterizado branco não desejado presente na borda do dente de serra na figura 8A quando comparada com as figuras 8B-8D. As figuras 8B a 8D representam quantidades crescentes (0,33, 0,66, 1,33 mg/cm²) de agente de modificação depositado perto da região de agente coalescente. A quantidade de material sinterizado branco não desejado está reduzida em cada imagem consecutiva.

EXEMPLO 3

[0126] O agente de modificação do Exemplo 2 também foi usado neste Exemplo.

[0127] Uma camada de 100 µm do material sinterizável poliamida 12 PA2200 disponível da Electro Optical Systems

GmbH foi aplicado. A tinta HP CM991A disponível da Hewlett Packard Company foi aplicada como um agente coalescente com uma impressora a jato de tinta no material sinterizável no padrão da parte. O agente de modificação foi aplicado, em quantidades de 0, 0,66 e 1,33 mg/cm² por camada, ao material sinterizável nas bordas de respectivas formas de dentes de serra. As configurações de impressora incluíram um ponto de referência de leito de fabricação de 160 °C e um tempo de ciclo de camada de 20 segundos. 40 camadas de material foram depositadas, modeladas e curadas. Um tempo de atraso de 2 segundos ou de 4 segundos foi introduzido antes da cura.

[0128] O comprimento de dente em mm foi medido após a parte ser formada para avaliar o efeito da quantidade de agente de modificação e atraso em cura. Estes resultados estão mostrados na Tabela 4.

Tabela 4

Parte	Atraso Antes da Cura (s)	Agente de Modificação (mg/cm²)	Comprimento de Recurso Medido (mm)
Exemplo Comp. 1	2	0	2,40
Exemplo 2	2	0,66	2,32
Exemplo 3	2	1,33	2,15
Exemplo Comp. 4	4	0	2,45
Exemplo 5	4	0,66	2,33
Exemplo 6	4	1,33	2,28

[0129] A partir dos resultados na Tabela 4, o uso do agente de modificação tal como o oposto a nenhum agente de modificação reduz o comprimento de dente. Isto indica que

material sinterizável indesejável endurece nas bordas do dente quando agente de modificação não é usado. Além do mais, quando a mesma quantidade de agente de modificação foi usada, o atraso menor na cura resultou em comprimentos de dentes ligeiramente reduzidos quando comparados aos de atraso maior na cura (comparar Exemplo 2 com Exemplo 5 e Exemplo 3 com Exemplo 6).

[0130] Os exemplos do agente de modificação 29 divulgados neste documento podem reduzir efetivamente material sinterizável indesejável endurecendo no contorno de bordas 27 ou perto dele, podem reduzir vazamento de coalescência, e/ou podem reduzir o nível de cura e/ou impedir cura do material sinterizável 16 no contorno de bordas 27, ou perto dele, dentro da(s) parte(s) 42.

[0131] Referência por todo o relatório descritivo para "um exemplo", "um outro exemplo" e assim por diante significa que um elemento particular (por exemplo, recurso, estrutura e/ou característica) descrito em conexão com o exemplo está incluído em pelo menos um exemplo descrito neste documento, e pode estar ou não presente em outros exemplos. Além do mais, é para ser entendido que os elementos descritos para qualquer exemplo podem ser combinados em qualquer modo adequado nos vários exemplos a não ser que o contexto dite claramente de outro modo.

[0132] É para ser entendido que as faixas fornecidas neste documento incluem a faixa relatada e qualquer valor ou subfaixa dentro da faixa relatada. Por exemplo, uma faixa de cerca de 50 °C a cerca de 350 °C deve ser interpretada para incluir não somente os limites relatados explicitamente de cerca de 50 °C a cerca de 350 °C, mas

também para incluir valores individuais, tais como 57 °C, 95 °C, 125 °C, 250 °C, etc., e subfaixas, tais como de cerca de 70 °C a cerca de 225 °C, de cerca de 60 °C a cerca de 170 °C, etc. Além disso, quando “de cerca de” é utilizado para descrever um valor, isto é pretendido para abranger variações secundárias (até +/- 10%) do valor relatado.

[0133] Ao descrever e reivindicar os exemplos divulgados neste documento, as formas singulares “um”, “uma”, “o” e “a” incluem plurais referentes a não ser que o contexto dite claramente de outro modo.

[0134] Embora vários exemplos tenham sido descritos detalhadamente, estará aparente para os versados na técnica que os exemplos divulgados podem ser modificados. Portanto, a descrição anterior é para ser considerada não limitativa.

REIVINDICAÇÕES

1. Método de impressão tridimensional (3D) (100), **caracterizado** pelo fato de que compreende:

aplicar um material sinterizável (16);

aquecer o material sinterizável (16) para uma temperatura variando de 50 °C a 350 °C;

aplicar seletivamente um agente coalescente (28) a uma parte do material sinterizável (16);

determinar como aplicar seletivamente um agente de modificação (29) a uma outra parte do material sinterizável (16) usando

i) uma característica de difusão térmica do material sinterizável (16),

ii) uma característica de difusão térmica de uma camada a ser formada de parte do material sinterizável (16), ou

iii) uma característica de difusão térmica de ambos de i) e ii),

em que a característica de difusão térmica é uma escala de tempo ou característica de tempo de difusão térmica; uma escala de comprimento ou comprimento de característica de difusão térmica; um perfil de temperatura; e/ou um perfil de energia; eem que o agente de modificação inclui:

de 70% em peso a 95% em peso de água;

de 5% em peso até 30% em peso de um cossolvente tendo uma difusibilidade térmica menor que a da água;

um surfactante; e

opcionalmente um biocida;

aplicar seletivamente a quantidade do agente de modificação (29) a uma outra parte do material sinterizável (16); e

expor o material sinterizável (16) à radiação, pelo que o agente coalescente (28) cura pelo menos parcialmente a parte do material sinterizável (16) nas proximidades do agente coalescente (28), e o agente de modificação (29) reduz ou impede cura da outra parte do material sinterizável nas proximidades do agente de modificação (29).

2. Método de impressão 3D (100), de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que determinar é executado ao:

criar, por meio de um computador executando instruções legíveis por computador armazenadas em uma mídia de armazenamento não transitório tangível legível por computador, um modelo de difusão térmica da camada a ser formada do material sinterizável; e

calcular, pelo computador, uma quantidade do agente de modificação (29) para ser aplicada seletivamente com base no modelo de difusão térmica.

3. Método de impressão 3D (100), de acordo com a reivindicação 2, **caracterizado** pelo fato de que a camada é para ser formada da parte do material sinterizável (16), e em que calcular inclui:

a partir do modelo de difusão térmica, determinar um excesso de temperatura da outra parte do material sinterizável que está acima de uma temperatura estabelecida para um leito de fabricação;

converter o excesso de temperatura para uma quantidade de excesso de energia; e

converter a quantidade de excesso de energia para a quantidade do agente de modificação (29) que é efetiva para remover o excesso de energia.

4. Método de impressão 3D (100), de acordo com a reivindicação 3, **caracterizado** pelo fato de que a quantidade de excesso de energia é aumentada para considerar migração secundária de energia para a outra parte do material sinterizável (16).

5. Método de impressão 3D (100), de acordo com a reivindicação 3, **caracterizado** pelo fato de que compreende adicionalmente determinar uma quantidade ajustada do agente coalescente (28) para aplicar dentro de um contorno de bordas da parte ou dentro da parte para compensar perda de energia.

6. Método de impressão 3D (100), de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que determinar envolve determinar empiricamente uma quantidade do agente de modificação e uma mudança de temperatura efetuada pela quantidade do agente de modificação (29).

7. Método de impressão 3D (100), de acordo com a reivindicação 6, **caracterizado** pelo fato de que determinar empiricamente envolve:

expor o material sinterizável (16), sem qualquer agente coalescente (28) ou agente de modificação (29) no mesmo, à radiação para formar uma área de referência;

medir uma temperatura da área de referência;

expor o material sinterizável (16), com a quantidade do agente de modificação (29) no mesmo, à radiação para formar uma área de teste;

medir a temperatura da área de teste;

determinar uma diferença em temperatura entre a área de teste e a área de referência; e

associar a quantidade do agente de modificação (29) com a diferença em temperatura.

8. Método de impressão 3D (100), de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que determinar envolve:

estimar uma escala de comprimento de difusão térmica usando uma camada curada tendo sido formada com um mesmo tipo de material sinterizável (16), uma mesma posição para o agente coalescente (28) aplicado seletivamente, e sem o agente de modificação (29); e

identificar pelo menos uma localização para a aplicação seletiva do agente de modificação (29) a partir da escala de comprimento.

9. Método de impressão 3D (100), de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que determinar é executado ao:

receber, por meio de um computador executando instruções legíveis por computador armazenadas em uma mídia de armazenamento não transitório tangível legível por computador, informação de forma 3D a respeito da camada a ser formada do material sinterizável (16);

gerar, pelo computador, um perfil de energia ou de temperaturas para a camada a ser formada da parte do material sinterizável; e

a partir da informação de forma 3D e do perfil de energia ou de temperaturas, gerar, pelo computador, um padrão para a aplicação seletiva do agente de modificação (29).

10. Método de impressão 3D (100), de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que o material sinterizável (16) é aplicado sobre uma superfície de contato, e em que o método compreende adicionalmente:

aplicar seletivamente o agente coalescente (28) sobre a parte do material sinterizável (16) em um padrão de uma seção transversal de uma camada de um objeto tridimensional a ser formado, a seção transversal sendo paralela à superfície de contato; e

aplicar seletivamente o agente de modificação (29) sobre a outra parte do material sinterizável (16) em um contorno de bordas de pelo menos parte da seção transversal.

11. Método para identificar como aplicar um agente de modificação (29) durante um método de impressão tridimensional (3D), como definido em qualquer uma das reivindicações 1 a 10, o método **caracterizado** pelo fato de que compreende:

receber, por meio de um computador executando instruções legíveis por computador armazenadas em uma mídia de armazenamento não transitório tangível legível por computador, informação de forma 3D a respeito de uma camada a ser formada de uma parte de um material sinterizável (16), a informação de forma 3D incluindo um valor indicativo da aplicação seletiva de um agente coalescente (28) ao material sinterizável (16);

gerar, pelo computador, um perfil de energia ou de temperaturas para a camada a ser formada da parte do material sinterizável (16) usando um modelo térmico;

a partir do modelo térmico, determinando um excesso de temperatura de uma outra porção do material sinterizável (16) onde a cura do material sinterizável (16) não é desejável para formar a camada a partir da porção do material sinterizável (16), em que o excesso de temperatura compreende uma diferença entre uma temperatura estabelecida para um leito de fabricação e a temperatura de outra porção do material sinterizável (16) de acordo com o modelo térmico;

converter o excesso de temperatura a uma quantidade de excesso de energia usando uma capacidade térmica específica, densidade e volume de outra porção do material sinterizável (16) e converter a quantidade do excesso de energia para a quantidade do agente de modificação (29) que é efetivamente para remover o excesso de energia; e

a partir da informação de forma 3D e do perfil de energia ou de temperaturas, gerar, pelo computador, um padrão para aplicação seletiva do agente de modificação (29) com relação à camada a ser formada.

12. Método, de acordo com a reivindicação 11, **caracterizado** pelo fato de que compreende adicionalmente gerar, pelo computador, um valor de modificação para ajustar o valor indicativo da aplicação seletiva do agente coalescente (28).

13. Método de modelagem computacional para identificar como aplicar um agente de modificação (29) durante um método de impressão tridimensional (3D), o

método de impressão, como definido em qualquer uma das reivindicações 1 a 10, usando um modelo térmico dependente do tempo do processo de sinterização, o método de modelagem computacional, **caracterizado** pelo fato de que compreende:

criar, por meio de um computador executando instruções legíveis por computador armazenadas em uma mídia de armazenamento não transitório tangível legível por computador, um modelo de difusão térmica de uma camada de um objeto tridimensional a ser formada de uma parte de um material sinterizável (16) usando o método de impressão 3D; e

calcular, pelo computador, uma quantidade do agente de modificação (29) para ser aplicada seletivamente em uma outra porção do material sinterizável (16), onde a cura do material sinterizável (16) não é desejável para formar a camada a partir da porção do material sinterizável (16), com base no modelo de difusão térmica, em que calcular inclui:

a partir do modelo de difusão térmica, determinar um excesso de temperatura de outra porção do material sinterizável (16), em que o excesso de temperatura compreende uma diferença entre uma temperatura estabelecida para um leito de fabricação e a temperatura de outra porção do material sinterizável (16) de acordo com o modelo de difusão térmico;

converter o excesso de temperatura a uma quantidade de excesso de energia usando uma capacidade térmica específica, densidade e volume de outra porção do material sinterizável (16) e converter a quantidade do excesso de

energia para a quantidade do agente de modificação (29) que é efetivamente para remover o excesso de energia.

14. Método de modelagem computacional, de acordo com a reivindicação 13, **caracterizado** pelo fato de que:

o modelo de difusão térmica identifica um excesso de energia fora de um contorno de bordas da camada; e

o cálculo converte o excesso de energia para a quantidade do agente de modificação para ser aplicada seletivamente.

15. Método de modelagem computacional, de acordo com a reivindicação 13, **caracterizado** pelo fato de que compreende adicionalmente determinar uma quantidade de um agente coalescente (28) para aplicar dentro de um contorno de bordas da parte ou dentro da parte.

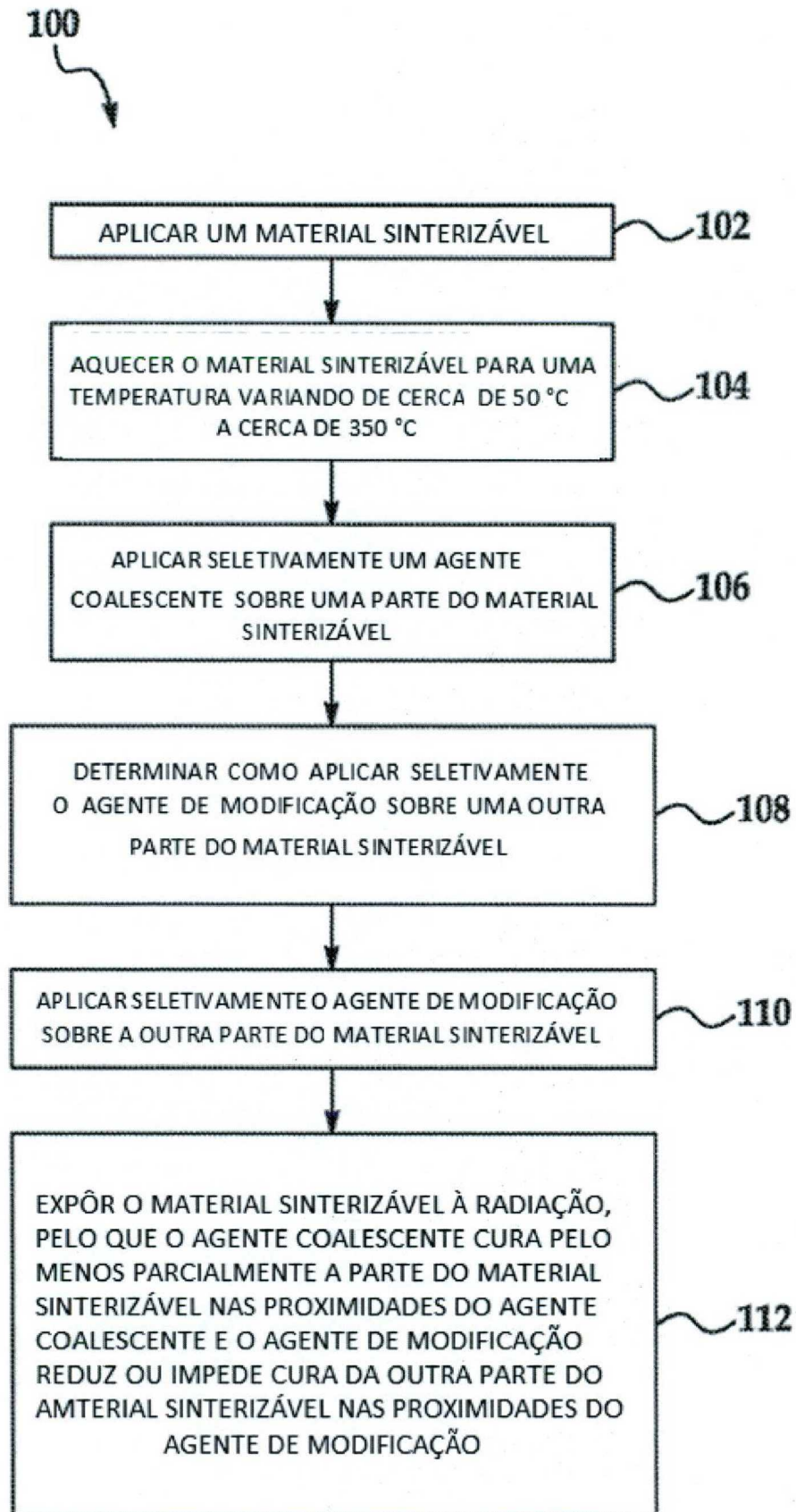
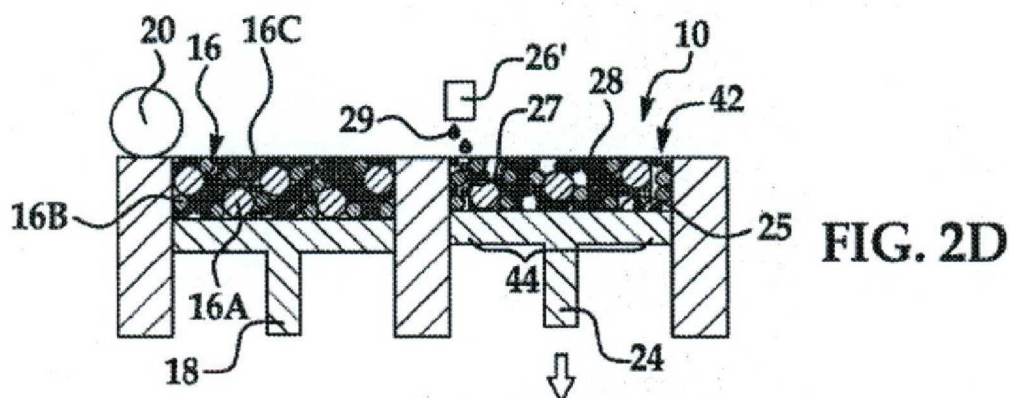
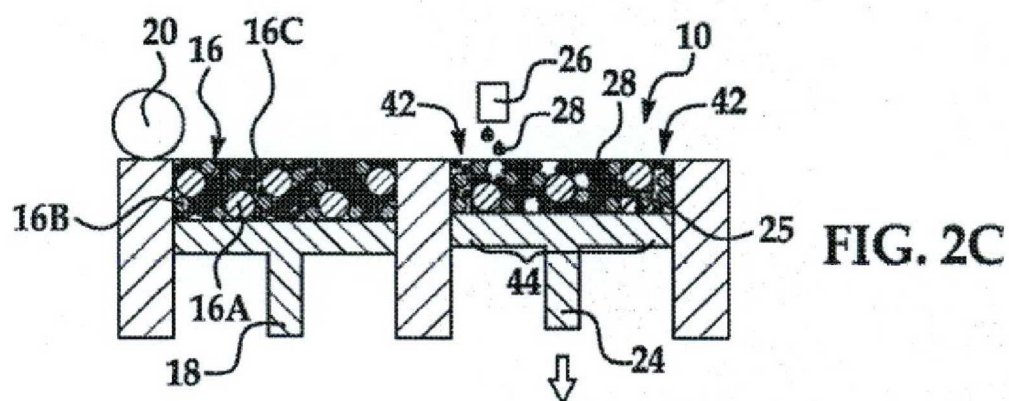
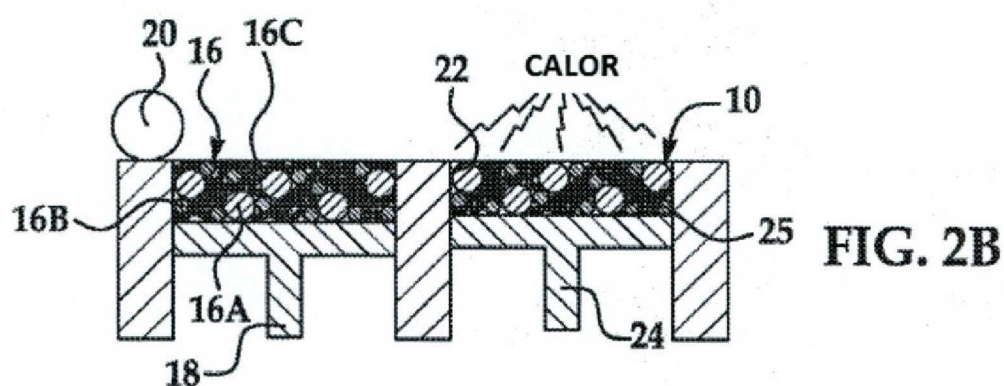
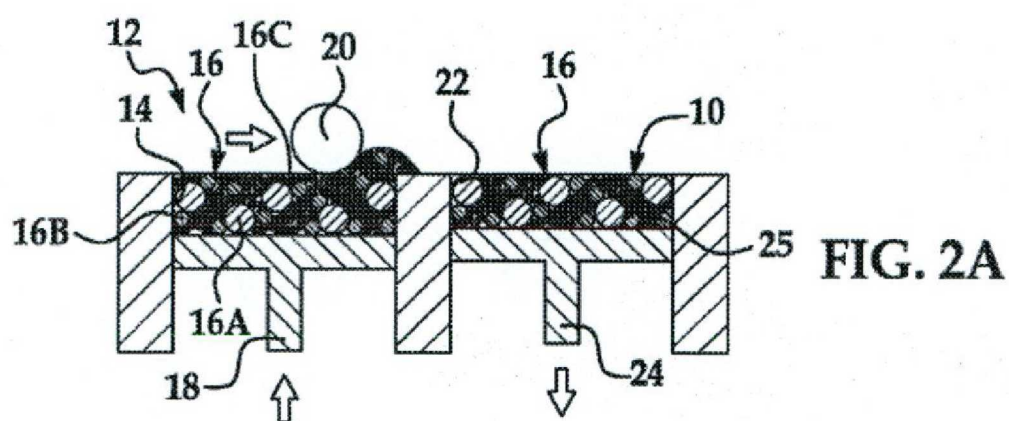


FIG. 1



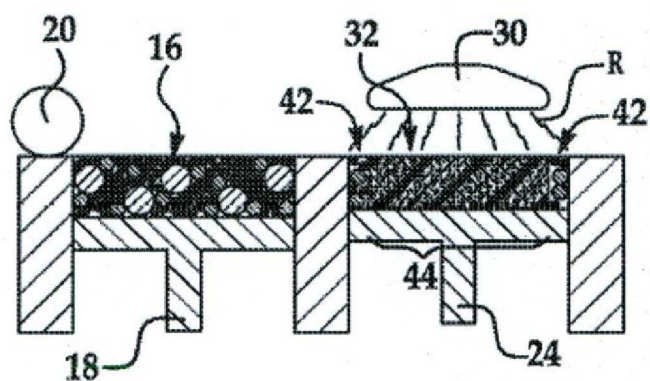


FIG. 2E

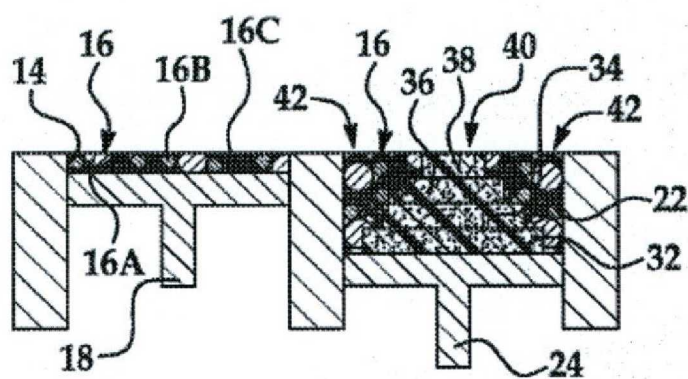


FIG. 2F

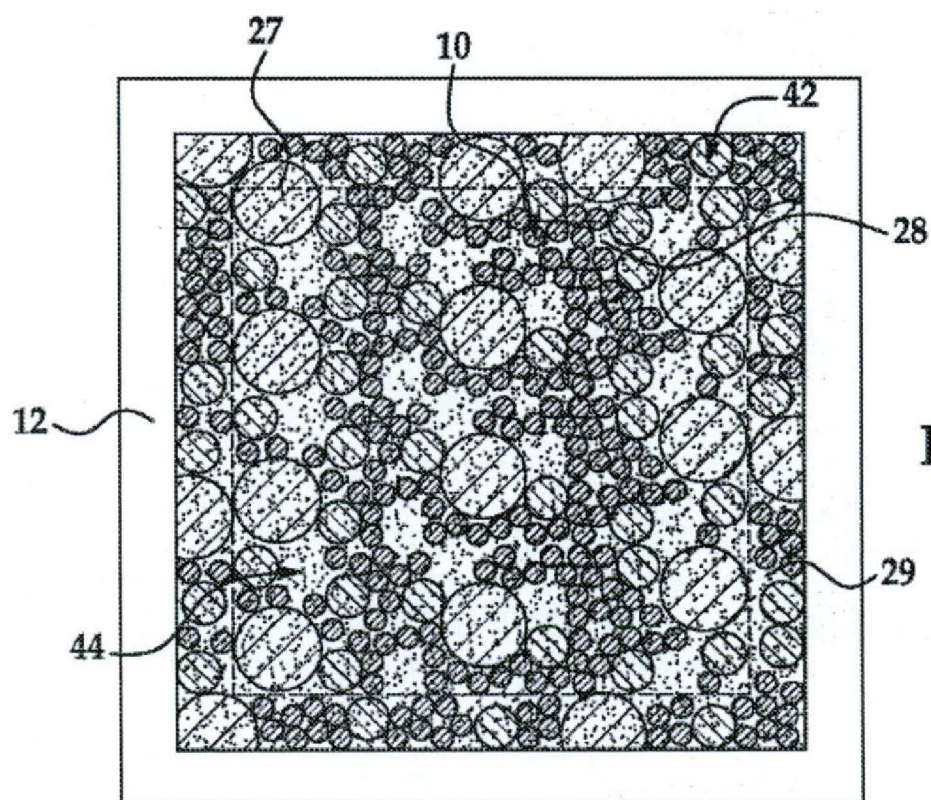


FIG. 3

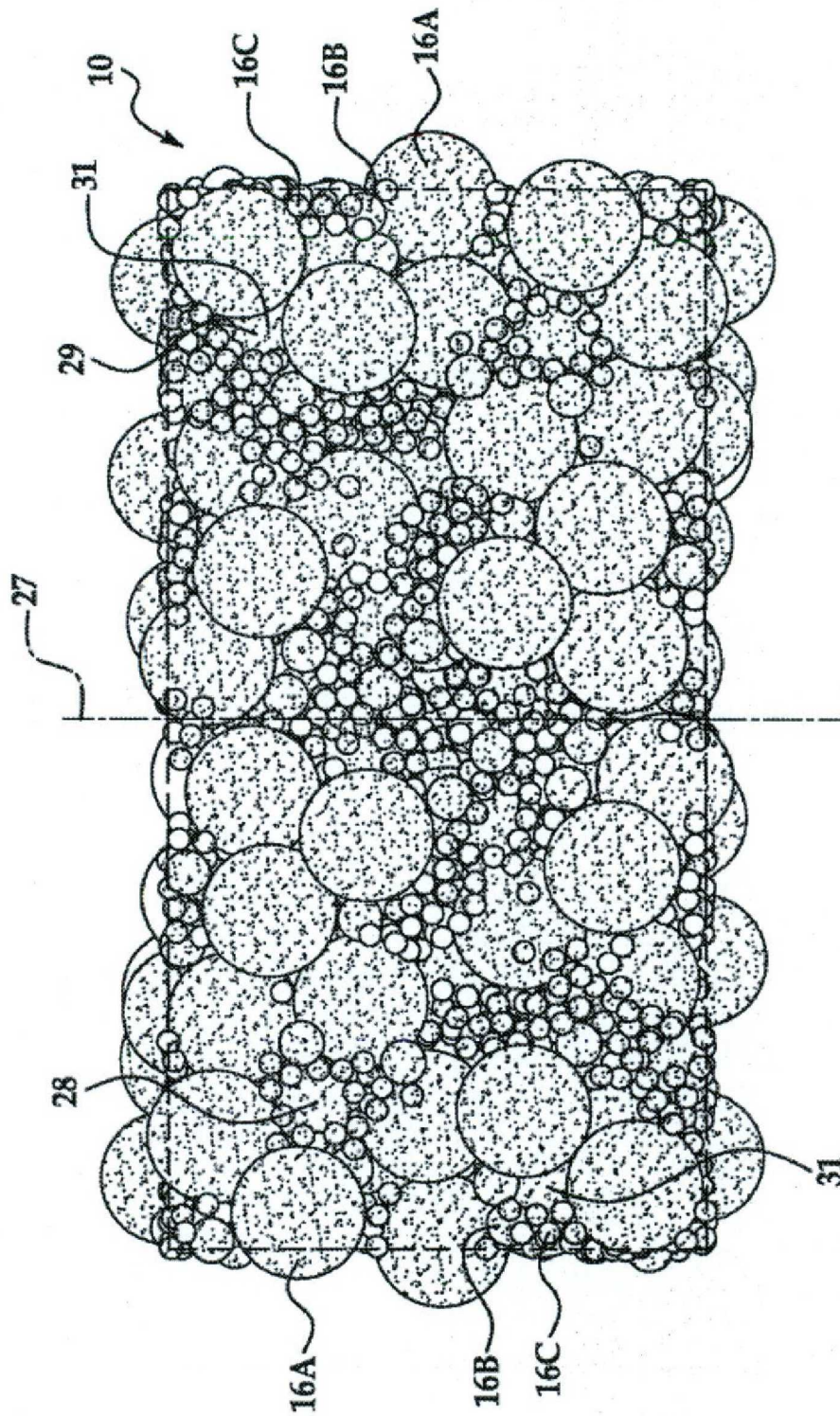


FIG. 4

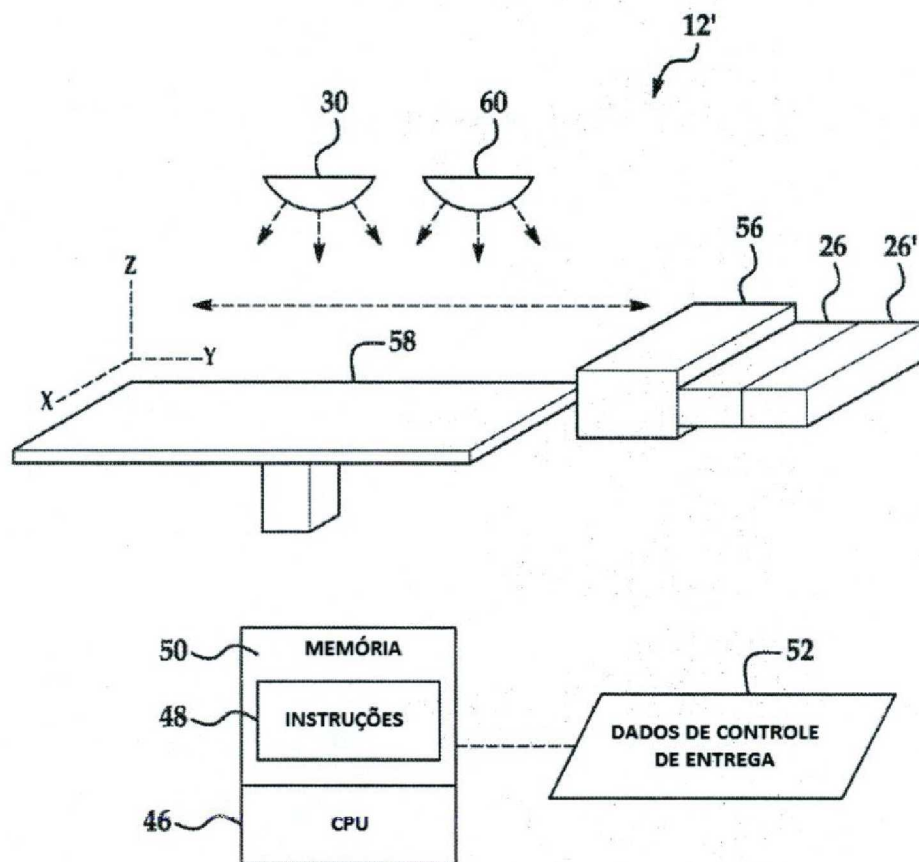


FIG. 5

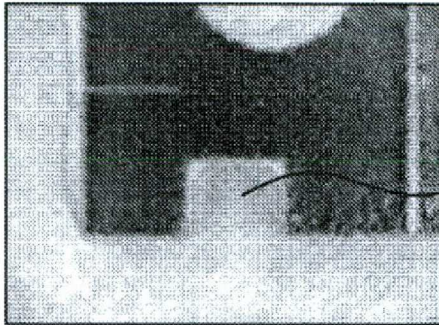


FIG. 6A

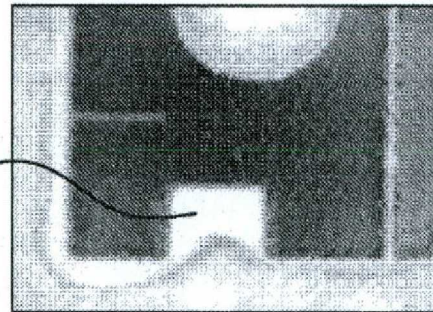


FIG. 6D

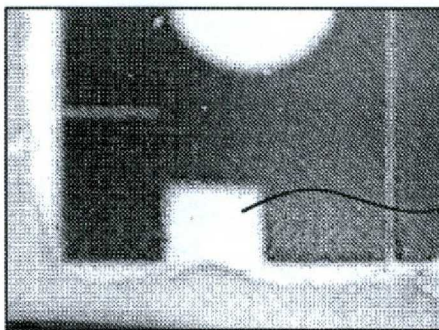


FIG. 6B

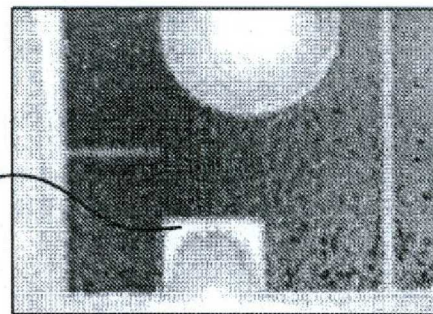


FIG. 6E

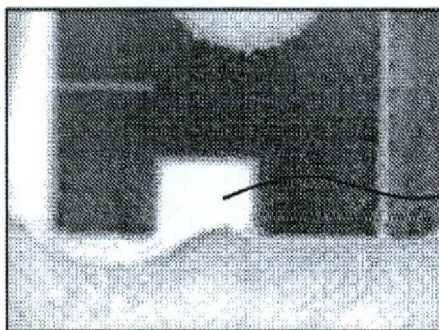


FIG. 6C

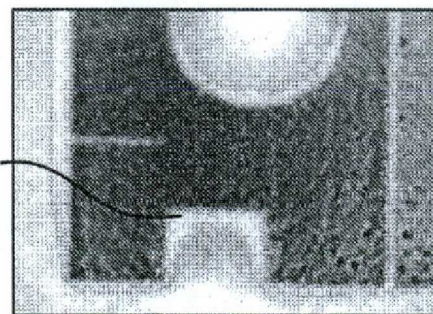


FIG. 6F

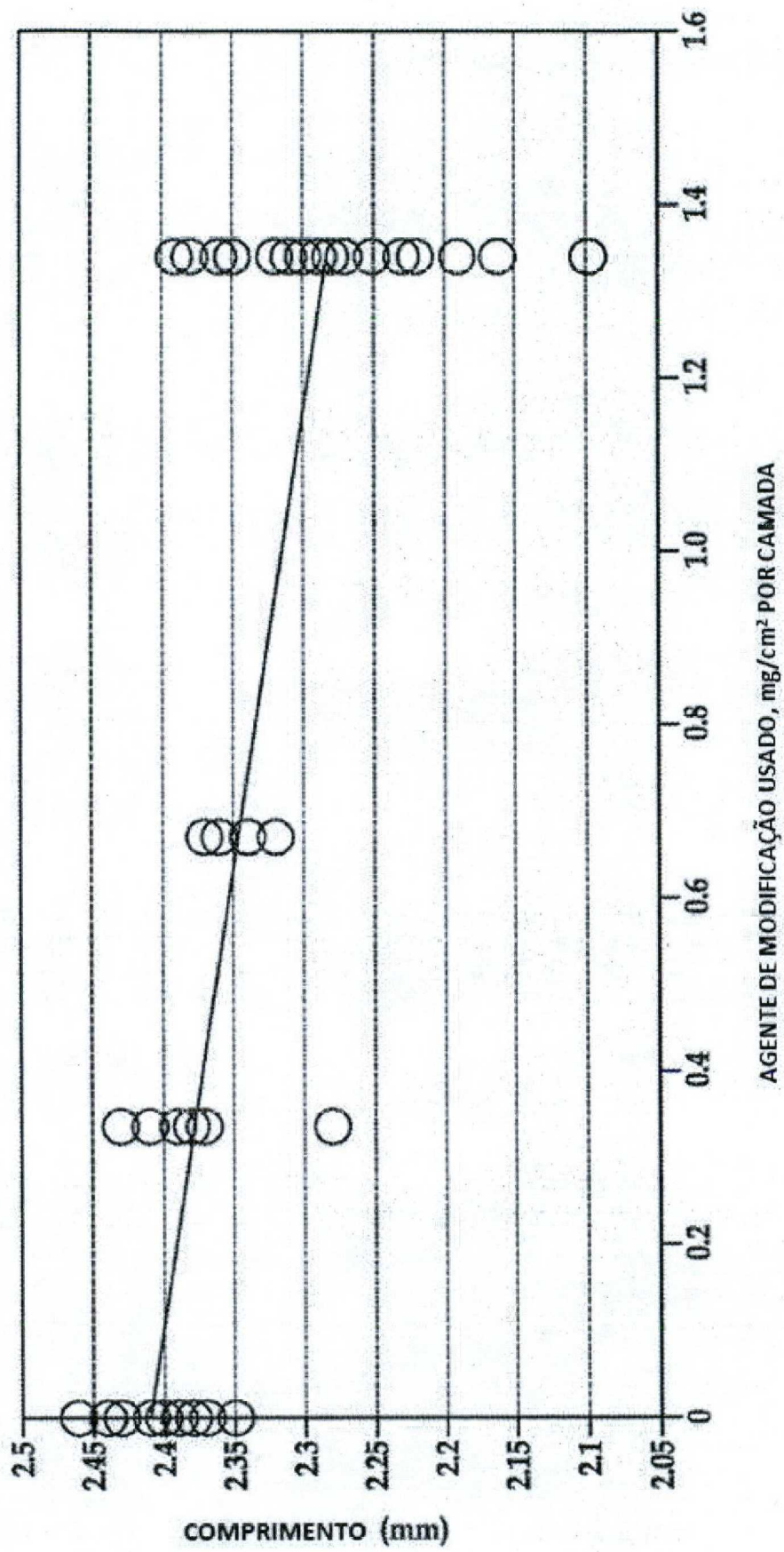


FIG. 7

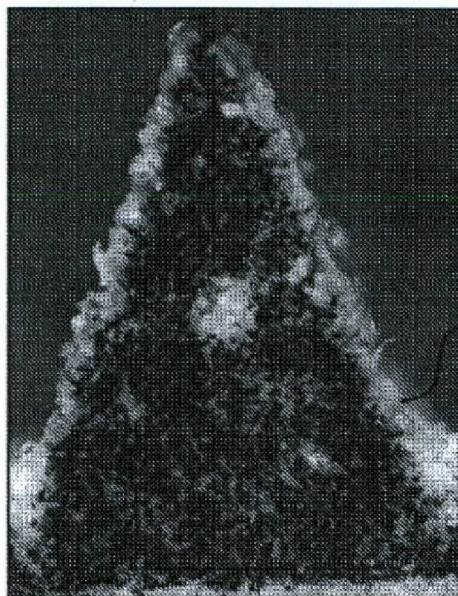


FIG. 8A

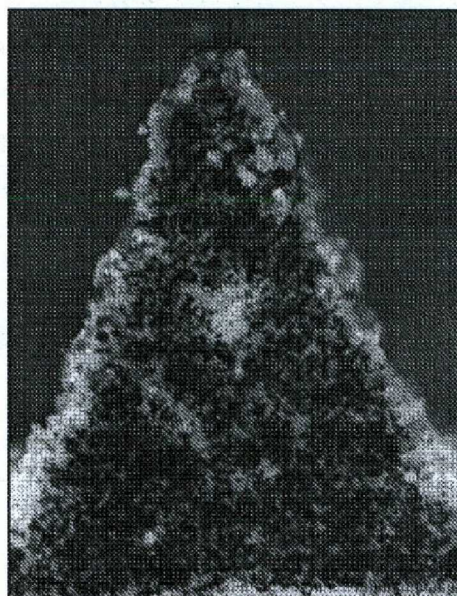


FIG. 8B

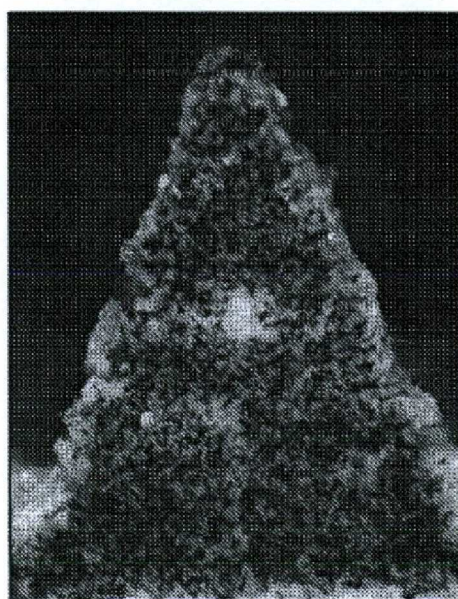


FIG. 8C

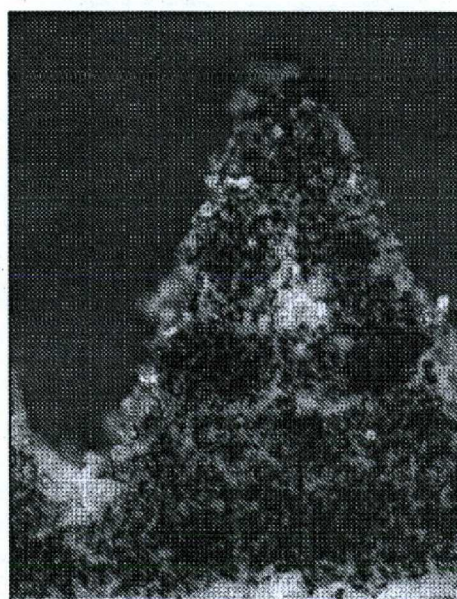


FIG. 8D