

“PROCESSO E EQUIPAMENTO DE CURA LOCALIZADA DE RESINA TERMOSENSÍVEL E ESTEROLITOGRAFIA COM LASER NA REGIÃO ESPECTRAL DO INFRAVERMELHO PARA CONSTRUÇÃO DE PROTÓTIPOS”.

A presente patente trata do desenvolvimento de uma nova técnica de prototipagem rápida denominada esterolitografia destinada ao estudo e confecção de peças tridimensionais com geometrias desejadas, feitas através da interação do laser de CO<sub>2</sub>, com comprimento de onda de 10,6 $\mu$ m, com resinas termosensíveis de alta viscosidade, como resina epóxi. Esta técnica combina a computação gráfica, com um software especialmente desenvolvido, a ciência dos polímeros e a tecnologia do laser operando na região espectral do infravermelho.

A esterolitografia tem sido utilizada para reduzir em até 85% o tempo necessário para a confecção de moldes e modelos para fundição nas linhas de produção, injeção e modelos visuais ou designs, e também em testes para engenharia de produto. Portanto, trata-se de uma técnica auxiliar valiosa para empresas que desejam reduzir os custos e ganhar tempo para levar seus novos produtos ao sucesso do mercado.

Tradicionalmente o método de produção de protótipos é realizado com laser na região espectral do ultravioleta com comprimento de onda de 0,325 $\mu$ m, com o mesmo sendo aplicado em resinas fotossensíveis especiais, e da cura térmica diferente da resina epóxi com o Laser no infravermelho. A esterolitografia a laser na região espectral do ultravioleta utiliza lasers acoplados a sistemas opto-eletrônicos de precisão, conhecidos mundialmente como SLA (StereoLithography Apparatus). Os SLA são aparelhos comerciais de porte físico grande e modelos variados, os quais ocupam espaços considerados. Estes dispositivos, embora de custo muito elevado são capazes de

produzir peças tridimensionais de grande porte, cujo custo benefício, em função dos problemas técnicos que apresentam, são discutíveis.

As técnicas de esterolitografia ou prototipagem rápida produzem peças tridimensionais, em tempos reais bastante rápidos, de forma a poderem ser produzidas em séries, e com a vantagem de proporcionar a visualização das peças antes de suas execuções nas linhas de produção, permitindo a possibilidade de corrigir os possíveis erros dimensionais e outros que por ventura possam aparecer no desenho inicial. Ressalta-se que, embora a técnica tradicional esteja amplamente desenvolvida nas indústrias Norte Americanas e na Europa, ainda depara com dificuldades encontradas na confecção dos modelos devido ao problema de contração sofrida pela peça protótipo e ao tratamento ao qual é submetida após a cura, além de tratar-se de um processo que envolve custo elevado, tanto do equipamento empregado quanto da resina utilizada.

O maior problema que ocorre com o processo tradicional é a necessidade de um ajuste muito cauteloso para que as dimensões da peça não saiam das especificações, uma vez que, as resinas tratadas à luz ultravioleta se contraem na cura ou no processo de cura, além de, não curarem completamente com o laser aplicado, havendo necessidade de um tratamento adicional pós-cura que requer de 10 a 15% do tempo total do processo.

Devido a isso, e com a intenção de resolver e solucionar os problemas apresentados, com a aplicação do laser na região espectral do infravermelho foi idealizado e desenvolvido o processo inédito, objeto da presente patente, inicialmente para confecção de pequenas peças tridimensionais, estudando-se as características das resinas nacionais e suas reações na produção de pequenas peças quando aplicado o laser

de CO<sub>2</sub>, obtendo-se assim, um processo com cura imediata, sem contração da peça e eliminando o processo complementar de pós-cura.

A seguir faz-se referencia as figuras que acompanham este relatório descritivo, para melhor entendimento e ilustração do mesmo onde se vê:

5 A Figura 1 mostra a máquina piloto para confecção de protótipos pelo processo e equipamento de cura localizada de resina termosensível e esterolitografia com laser na região espectral do infravermelho, objeto da presente patente.

A Figura 2 mostra a formação dos protótipos camada a camada utilizando o processo e equipamento de cura localizada de resina termosensível e esterolitografia com laser na região espectral do infravermelho, objeto da presente patente. Onde as referencias (6,7) referem-se aos protótipos A e B respectivamente, a referencia (8) a altura do protótipo, a referencia (9) a espessura da camada, a referencia (10) a dimensão lateral da camada e a referencia (11) o comprimento do protótipo.

O processo e equipamento de cura localizada de resina termosensível e esterolitografia com laser na região espectral do infravermelho, objeto da presente patente, utiliza resinas termosensíveis como matéria prima e como produto final. Trata-se de um processo composto pelas seguintes etapas principais: (a) preparação da resina termosensível; (b) definição do modelo a ser executado através de um software próprio ou qualquer software disponível no mercado (CAD), em finas seções transversais ou por fatiamento do sólido ou peça; (c) determinação da trajetória do Laser através de microvetores de acordo com o desenho fatiado da peça; (d) efetivação da varredura do Laser pela superfície da resina, com velocidade variável, de acordo com o programa e as especificações já definidas; (e) efetivação da cura localizada nas áreas iluminadas pelo Laser, efetivando a solidificação da camada definida pelo fatiamento, cada vez que este

cobre ou desenha uma nova seção da peça; (f) repetição do processo para cada camada da peça definida pelo software até a obtenção da peça final.

A Preparação da resina termosensível (a), se faz da seguinte maneira. A amostra básica é composta de uma combinação apropriada de resina polimérica base, preferencialmente resina epóxi DER - Dow Epoxy Resin 383, agente de cura preferencialmente dietilenotriamina DEH20 e carga preferencialmente sílica em pó. A escolha da resina polimérica para utilização no processo de esterolitografia com o laser na região espectral do infravermelho leva em consideração as características de termosensibilidade, baixa viscosidade e baixa variação volumétrica durante o processo de cura, portanto, trata-se de um parâmetro importante do processo.

A preparação da resina epóxi é feita simplesmente adicionando o dietilenotriamina ao monômero seguindo os valores fornecidos pelo cálculo da relação estequiométrica. Para 100 partes de resina epóxi são adicionados 14 partes de agente de cura. Na adição da sílica o procedimento estequiométrico é o ponto de referência para o laser. A quantidade de sílica foi variada mantendo sempre as outras variáveis fixas, até a determinação do ponto ótimo entre os componentes monômero/agente de cura/carga: sendo preferencialmente resina epóxi 100 partes, dietilenotriamina 14 partes e sílica em pó 7 partes, ou seja, 100:14:7.

O equipamento utilizado para o processo de cura localizada de resina termosensível e esterolitografia com laser na região espectral do infravermelho, objeto da presente patente, é apresentado na Figura 1. A construção do sistema estereolitográfico consiste basicamente de um módulo de controle de varredura laser opto-eletrônico (1), um laser de CO<sub>2</sub> (2), um dispositivo desenvolvido para dispersão da

resina de alta viscosidade (3), uma plataforma elevadora (4) e um software próprio de apoio (5).

A seguir faz-se a descrição detalhada dos componentes do sistema de construção de protótipos na região espectral do infravermelho, utilizado no processo e equipamento de cura localizada de resina termosensível e esterolitografia com laser na região espectral do infravermelho, objeto da presente patente.

O Módulo de controle com sistema opto-eletrônico de varredura laser de alta precisão (1). Trata-se de um sistema que consiste de dois galvanômetros de varredura (X e Y), lentes de focalização e placas eletrônicas integradas de controle. O sistema possui uma lente de  $200\text{ mm}$ , que focaliza o feixe laser com um diâmetro de  $0,80\text{ mm}$ , e uma área de marcação de  $120 \times 120\text{ mm}$ . A ação sincronizada dos dois galvanômetros movimentam os espelhos que direcionam o feixe laser para localizações específicas na superfície do material de substrato em ambas direções X e Y. Um sofisticado programa *PC-Mark* de controle do laser, controla o movimento dos galvanômetros de acordo com o desenho selecionado pelo usuário. As duas placas de controle dos galvanômetros localizadas no sistema opto-eletrônico estão conectadas ao controle do computador através do HC/2 (*HelpCard*). A placa HC/2 controla os parâmetros do laser que especificam as características do laser e o movimento do feixe laser quando posicionado. Um objeto é feito em microvetores e o feixe laser se movimentam entre o ponto inicial e final do vetor.

O Laser de  $\text{CO}_2$ , é um modelo comercial, série 48-5-28 modelo *Synrad*, para o comprimento de onda  $10,6\ \mu\text{m}$ , potência nominal de  $50\text{ W}$ , diâmetro do feixe laser de  $3,5\text{ mm}$ , operando no modo  $\text{TEM}_{00}$ , unidade UC 1000 que controla a potência

de saída do feixe laser e um sistema de refrigeração que mantém a cavidade do laser entre 18 e 25°C de mínima e máxima temperatura.

O Dispositivo de dispersão da resina: (3), trata-se de dispositivo acoplado ao conjunto eletro-mecânico, operando em sincronismo com a deposição da resina e funcionamento do laser. Este dispositivo é responsável pelo espalhamento e planicidade da camada a ser irradiada pelo laser através do módulo de controle.

A Mesa elevadora (4) é um conjunto eletro-mecânico de precisão, com deslocamento no eixo z (axial), acoplada a um motor de controle de passo de deslocamento de 10µm, com a finalidade de determinar a construção das camadas do protótipo. Acoplada ao conjunto eletro-mecânico de precisão é disposta uma plataforma utilizada para fixação do substrato, preferencialmente em teflon, para a deposição da resina a ser modulada.

O Software próprio *de apoio trata-se de um* programa computacional, desenvolvido especificamente para o processo, onde o mesmo controla o deslocamento da mesa elevadora e o movimento do dispositivo de dispersão da resina, em sincronismo com o laser e com o módulo de controle.

O equipamento como constituído acima produz protótipos em várias formas geométricas, os quais podem ser obtidos de forma inédita, fora da prototipagem de fotosensibilidade, de acordo com os protótipos A (6) e B (7) da Figura 2.

O sistema como descrito acima permite que os protótipos (6,7) sejam construídos da seguinte maneira:

- inicialmente, depois de preparar a amostra, define-se o modelo gráfico com o uso de um programa modelador de sólidos (CAD), passando pela fase de processamento dos dados, com a conversão do desenho em finas seções transversais (fatiamento do

sólido). O objeto é discretizado em microvetores que determinam a trajetória do feixe laser em toda seção do desenho. Para esta finalidade o módulo de controle é programado para definição destes microvetores, que no fundo são responsáveis diretos pela geometria e confecção da peça. Importante citar que, as dimensões da  
5 peça a ser construída, coincidem com as dimensões reais do protótipo construído.

- uma vez dimensionado, a construção do protótipo escolhido inicia-se pela irradiação do feixe do laser, através do sistema, em sincronia com o módulo de controle. O laser de CO<sub>2</sub> opera dentro da faixa de 10 – 20 watt contínuos com diâmetro de feixe de 0,80 mm, em comprimento de onda fixo 10,6µm e taxa de repetição de 35ms.

10 - a luz laser passa então pelo módulo de controle, que tem a função específica e importante de dirigir, focalizar e varrer a superfície da resina termosensível, com velocidade variável, de acordo com as especificações previstas pelo programa do módulo de controle.

- As áreas iluminadas pelo laser curam, ou seja, solidificam uma camada, e uma nova  
15 camada de resina cobre a camada curada e o feixe laser, desenha uma nova seção que cura e se adere a anterior. Neste processo pode-se controlar e variar a espessura da camada que esta sendo curada de acordo com as previsões geométricas preestabelecidas. Para a resina epóxi a resolução espacial da camada obtida está em concordância com as dimensões do feixe laser efetuando a cura localizada. Este  
20 processo é repetido automaticamente até se completar a peça.

- os parâmetros citados encontram-se na Tabela 1, bem como exemplos de protótipos construídos (Figura 2).

**Tabela 1** – Parâmetros do laser, composição do material e resolução espacial do protótipo.

variáveis	Parâmetros	Geometria	
		Protótipo A	Protótipo B
CO <sub>2</sub> Laser (λ=10.6μm)	energia $E_p = P \cdot t_d$ [m J]	10,06	8,66
	potência P [W]	20	20
	Diâmetro do feixe laser $2\omega$ [mm]	0,80	0,80
Sistema opto-eletrônico	Velocidade de varredura $v$ [mm/s]	1595,0	1755,0
	Tempo de interação $t_i$ [μ s]	503	456
	Taxa de repetição [m s]	35	35
	Número de passadas laser [x passes]	12	15
Composição Da amostra	DER 383 (diglicidil eter of bisfenol A) [partes]	10	10
	DEH*20 (dietileno triamina) [partes]	1,4	1,4
	Sílica em pó [partes]	0,7	0,54
Resolução espacial (produto final)	Espessura da camada [μ m]	140	140
	Largura da camada [m m]	0,9	1,20
	Altura da peça [m m]	5,5	5,8
	Comprimento da peça [m m]	16,0	13,5

5 O processo e equipamento de cura localizada de resina termosensível e esterolitografia com laser na região espectral do infravermelho, objeto da presente patente, resulta em inúmeras vantagens, na sua utilização e solução de problemas crônicos dos processos tradicionais de prototipagens com lasers e resinas fotossensíveis, dentre as quais podemos citar:

10 A obtenção de protótipos tridimensionais para resinas termosensíveis, aplicando o laser no infravermelho, dantes nunca utilizados, constituindo-se então numa nova descoberta de processo estereolitográfico.

- Solução do problema crônico de processos anteriormente conhecidos, relacionados com a contração da amostra. Os processos tradicionais dispõem de

custos extras para solucionar este problema. Em nosso caso, o processo não envolve contração da amostra, minimizando muito o custo.

- 5 • Eliminação do tratamento pós-cura. Enquanto no processo tradicional há necessidade de cura adicional e operacional, envolvendo tempo e gasto, no nosso processo, a cura é imediata e completa.
- Investimento 5 vezes menor do que o tradicional, e ocupação de espaço de trabalho reduzido, quando comparado com as máquinas SLA, por exemplo.
- Utilização de resinas termosensíveis comuns, tipo epóxi, poliéster, de baixo custo, comparadas com as resinas suíças, geralmente utilizadas no processo 10 tradicional.
- O controle do processo seletivo espacial, que envolve a cura localizada, podendo ser feito teoricamente, apresentando uma concordância muito boa com resultados experimentais, o que é muito difícil de se obter quando se trata de processo térmico, uma vez que as amostras são confeccionadas com uma 15 combinação de uma agente de cura e fundamentalmente a sílica em pó, que funciona como absorvedor de calor controlado.
- A composição da amostra utilizada é um avanço científico e de inovação tecnológica, que permite o controle da região espacial, em 3 dimensões, a ser curada para se poder construir o protótipo.
- 20 • O protótipo obtido neste processo, assim como os tradicionais apresentam também alta rigidez mecânica com muito boa resolução espacial.

Assim, por todas as características acima descritas de inovação tecnológica, funcionalidade, versatilidade de obtenção de peças, redução de custos e vantagens na utilização, podemos notar claramente que o “PROCESSO E



EQUIPAMENTO DE CURA LOCALIZADA DE RESINA TERMOSENSÍVEL E ESTEROLITOGRAFIA COM LASER NA REGIÃO ESPECTRAL DO INFRAVERMELHO PARA CONSTRUÇÃO DE PROTÓTIPOS”, objeto da presente patente, trata-se de um processo e de um equipamento que reúnem condições para

5 merecer o Privilégio de Patente de Invenção.

## REIVINDICAÇÕES

1 - “PROCESSO E EQUIPAMENTO DE CURA LOCALIZADA DE RESINA TERMOSENSÍVEL E ESTEROLITOGRAFIA COM LASER NA REGIÃO ESPECTRAL DO INFRAVERMELHO PARA CONSTRUÇÃO DE PROTÓTIPOS”,

5 processo *caracterizado por* ser composto pelas seguintes etapas principais: (a) preparação da resina termosensível ; (b) definição do modelo a ser executado através de um software próprio ou qualquer software disponível no mercado (CAD), em finas seções transversais ou por fatiamento do sólido ou peça; (c) determinação da trajetória do Laser através de microvetores de acordo com o desenho fatiado da peça; (d)

10 efetivação da varredura do Laser pela superfície da resina, com velocidade variável, de acordo com o programa e as especificações já definidas; (e) efetivação da cura localizada nas áreas iluminadas pelo Laser, efetivando a solidificação da camada definida pelo fatiamento, cada vez que este cobre ou desenha uma nova seção da peça; (f) repetição do processo para cada camada da peça definida pelo software até a

15 obtenção da peça final.

2 - “PROCESSO E EQUIPAMENTO DE CURA LOCALIZADA DE RESINA TERMOSENSÍVEL E ESTEROLITOGRAFIA COM LASER NA REGIÃO ESPECTRAL DO INFRAVERMELHO PARA CONSTRUÇÃO DE PROTÓTIPOS”,

equipamento *caracterizado por* ser um sistema estereolitográfico consistindo

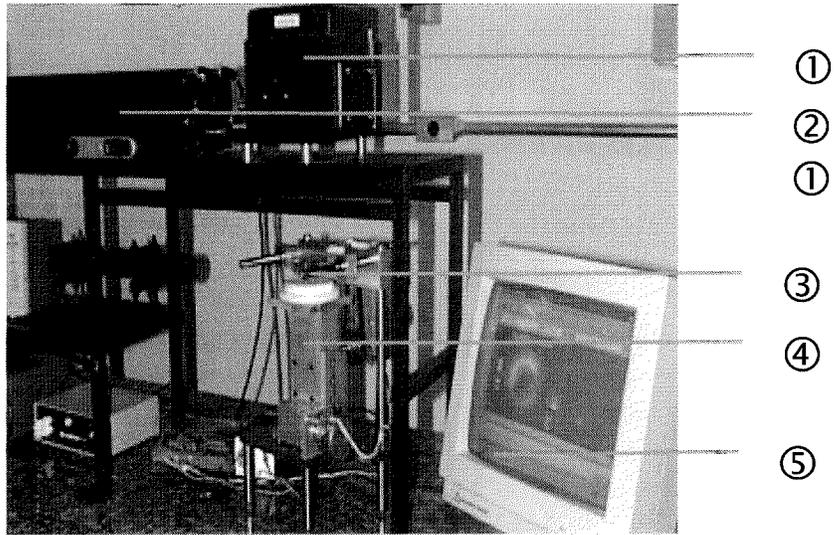
20 basicamente de um módulo de controle de varredura laser opto-eletrônico (1), um laser de CO<sub>2</sub> (2), um dispositivo desenvolvido para dispersão da resina de alta viscosidade (3), uma plataforma elevadora (4) e um software próprio de apoio (5).

3 - “PROCESSO E EQUIPAMENTO DE CURA LOCALIZADA DE RESINA TERMOSENSÍVEL E ESTEROLITOGRAFIA COM LASER NA REGIÃO

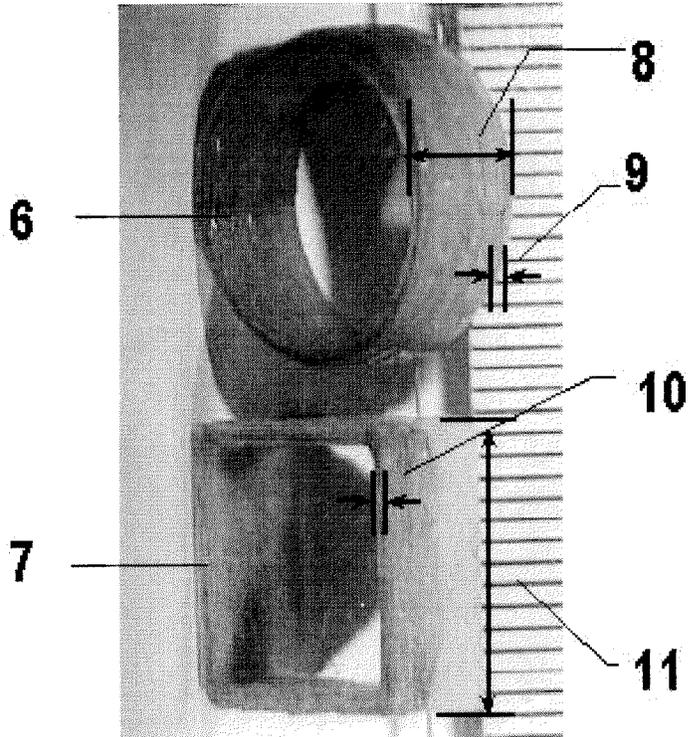
## ESPECTRAL DO INFRAVERMELHO PARA CONSTRUÇÃO DE PROTÓTIPOS”,

de acordo com a reivindicação 1, *caracterizado pela* resina ser composta de uma combinação apropriada de resina polimérica base, preferencialmente resina epóxi, agente de cura preferencialmente dietilenotriamina e carga preferencialmente sílica em

- 5 pó, onde a preparação da resina epóxi é feita simplesmente adicionando dietilenotriamina ao monômero seguindo os valores fornecidos pelo cálculo da relação estequiométrica; sendo preferencialmente mais não exclusivamente, para 100 partes de resina epóxi, adicionados 14 partes de agente de cura, e a adição da sílica no procedimento estequiométrico como o ponto de referência para o laser; onde o ponto
- 10 ótimo entre os componentes monômero/agente de cura/carga, é preferencialmente a combinação resina epóxi 100 partes, dietilenotriamina 14 partes e sílica em pó 7 partes, ou seja, 100:14:7, garantindo uma resina de baixa viscosidade e baixa variação volumétrica durante o processo de cura.



**Figura 1**



**Figura 2**

## RESUMO

“PROCESSO E EQUIPAMENTO DE CURA LOCALIZADA DE RESINA TERMOSENSÍVEL E ESTEROLITOGRAFIA COM LASER NA REGIÃO ESPECTRAL DO INFRAVERMELHO PARA CONSTRUÇÃO DE PROTÓTIPOS”.

5 Nova técnica de prototipagem rápida denominada esterolitografia destinada ao estudo e confecção de peças tridimensionais com geometrias desejadas, feitas através da interação do laser de CO<sub>2</sub>, com comprimento de onda de 10,6μm, com resinas termosensíveis de alta viscosidade, como resina epóxi. Esta técnica combina a computação gráfica, com um software especialmente desenvolvido, a ciência dos

10 polímeros e a tecnologia do laser operando na região espectral do infravermelho. Onde o processo é composto pelas seguintes etapas principais: (a) preparação da resina termosensível ; (b) definição do modelo a ser executado através de um software próprio ou qualquer software disponível no mercado (CAD), em finas seções transversais ou por fatiamento do sólido ou peça; (c) determinação da trajetória do Laser através de

15 microvetores de acordo com o desenho fatiado da peça; (d) efetivação da varredura do Laser pela superfície da resina, com velocidade variável, de acordo com o programa e as especificações já definidas; (e) efetivação da cura localizada nas áreas iluminadas pelo Laser, efetivando a solidificação da camada definida pelo fatiamento, cada vez que este cobre ou desenha uma nova seção da peça; (f) repetição do processo para cada camada

20 da peça definida pelo software até a obtenção da peça final. E onde o equipamento trata-se de um sistema estereolitográfico consistindo basicamente de um módulo de controle de varredura laser opto-eletrônico (1), um laser de CO<sub>2</sub> (2), um dispositivo desenvolvido para dispersão da resina de alta viscosidade (3), uma plataforma elevadora (4) e um software próprio de apoio (5).