



ESTRATÉGIAS DE CASCA PARA ACELERAR UM PROCESSO DE FERRAMENTAL RÁPIDO BASEADO EM SLS

Neri Volpato

Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná
CEFET-PR/DAMEC/NUPES
Av. Sete de Setembro, 3165
Curitiba – PR, CEP 80230-901
volpato@nupes.cefetpr.br

Resumo. Selective Laser Sintering (SLS) é uma das tecnologias de prototipagem rápida (Rapid Prototyping - RP) que apresenta um grande potencial para a área de ferramental rápido (Rapid Tooling - RT). Um dos processos de RT disponíveis comercialmente que utiliza esta tecnologia é denominado de RapidToolTM, permitindo a obtenção de insertos metálicos.

Devido a natureza geométrica dos insertos (macho e fêmea) de molde de injeção de plástico, que quando fechados podem ser aproximados a um bloco 3D 'maciço', o tempo de sinterização a laser num equipamento SLS é longo. Inicialmente, este artigo descreve sucintamente o princípio de funcionamento da tecnologia SLS e do processo RapidToolTM e então, apresenta o desenvolvimento de estratégias baseadas em cascas (shelling) com o objetivo de reduzir o tempo de processamento a laser. Para verificar a viabilidade da idéia, algumas estratégias são testadas experimentalmente e discussões e soluções são apresentadas para alguns problemas relacionados as alterações causadas no processo. Duas opções de cascas são consideradas aprovadas nestes testes.

Palavras-chave: prototipagem rápida, ferramental rápido, SLS, shelling

1. INTRODUÇÃO

A tecnologia de prototipagem rápida (*Rapid Prototyping* - RP) conhecida como *Selective Laser Sintering* (SLS) possui um grande potencial para a área de ferramental rápido (*Rapid Tooling* - RT). Isto é observado pois a tecnologia SLS possibilita o processamento de vários tipos de materiais em forma de pó, inclusive pós metálicos, e assim obter insertos de moldes diretamente na sua forma final.

Um dos processos de RT disponíveis comercialmente é denominado de *RapidToolTM*, comercializado atualmente pela empresa *3D Systems* (antiga *DTM Corporation*). Este processo permite a obtenção de insertos metálicos utilizando como matéria-prima a combinação de um pó metálico com um polímero. Através do processo SLS uma peça verde é obtida, sendo submetida a pós-processamento(s) em um forno para a sinterização e infiltração com um material de baixo ponto de fusão. O material final obtido é um composto sem porosidade.

O tempo de fabricação de insertos de moldes num equipamento SLS (peça verde) é longo.

Isto é observado pois os insertos, macho e cavidade, quando fechados se assemelham a um bloco tridimensional (3D) ‘maciço’ e, conseqüentemente, as áreas das seções bidimensionais (2D) a serem processadas pelo laser são grandes.

Partindo-se do princípio que a geometria externa de uma peça é aquela que deve ser produzida com precisão num processo de RP e o interior da peça não contribui para esta precisão, vários pesquisadores (Yu and Li,1995, Sabourin *et al*,1997, Li *et al*,1998, Chiu and Tan,1998, Feng *et al*,2000) têm sugerido o uso de técnicas de casca (*shelling*) para economizar tempo nos processos de RP. Observa-se porém que a aplicação desta idéia na fabricação de protótipos de peças de plástico com paredes finas não representa um ganho considerável. No entanto, a sua utilização na área de fabricação de insertos de moldes é promissora devido ao grande volume de material a ser processado.

Este artigo descreve rapidamente o princípio de funcionamento da tecnologia SLS e o processo *RapidTool™* e apresenta estratégias desenvolvidas para reduzir o tempo de processamento a laser envolvendo o princípio de cascas (*shelling*). Testes práticos de viabilidade destas estratégias são realizados e discussões e soluções são apresentadas para problemas relacionados com as alterações causadas no processo.

2. O PROCESSO SLS

O processo SLS foi desenvolvido na Universidade do Texas, em Austin (EUA). A primeira máquina foi comercializada em 1989. Este processo usa matéria-prima em forma de pó, que é sinterizado através de um laser (Fig. 1). Como nos demais processos de RP, o processo se inicia com o modelo geométrico 3D CAD da peça, que é transformado em um formato STL (aproximação da superfície do modelo por pequenos triângulos em 2D). A partir deste modelo, uma ‘pilha’ de seções transversais 2D é gerada como resultando de um ‘fatiamento’ numérico. A construção física da peça se inicia com o material sendo espalhado e nivelado por um rolo no equipamento SLS. O laser com um diâmetro em torno de 0.4mm então ‘varre’ a superfície do pó, sinterizando (fundindo) de acordo com a geometria do contorno 2D da peça. A plataforma que suporta a peça então desce um incremento igual a espessura da camada fatiada no CAD e uma nova camada de material é espalhada sobre a anterior. A energia do laser é especificada de forma a processar o material da camada atual e uni-la à camada anterior. Este ciclo é repetido até que todo o componente seja produzido.

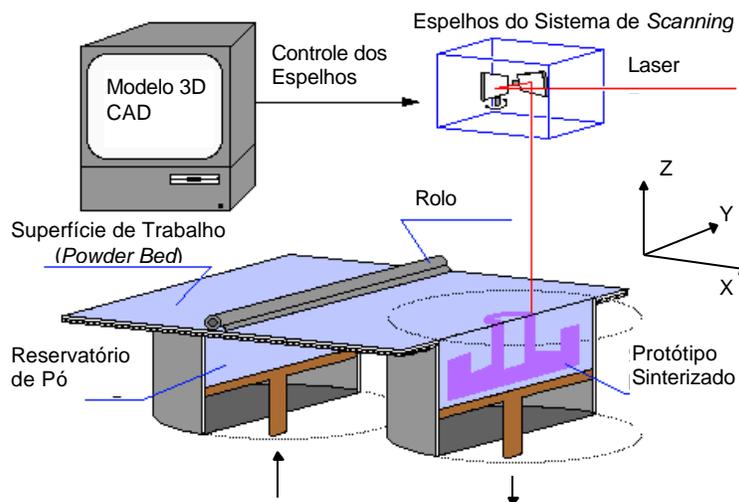


Figura 1. Princípio de funcionamento da tecnologia SLS (Beaman *et al*, 1997)

O material não processado tem uma função importante no processo SLS, atuando como um suporte natural para a(s) peça(s), eliminando a necessidade de se projetar suportes adicionais para a(s) mesma(s).

Na tecnologia SLS o processo de varredura (*scanning*) do laser é composto principalmente de deslocamentos lineares de vai-e-vêm, realizado em passes paralelos ao longo do eixo X (direção de movimentação principal do laser) com incrementos no o eixo Y (a disposição dos eixos está esquematizada na Fig. 1). O eixo Z corresponde à direção de incrementos das camadas. Este processo de varredura é denominado de *raster*. O laser pode também percorrer o contorno da geometria 2D de cada camada numa operação chamada *outline*.

De uma forma geral, o tempo requerido para a fabricação de uma peça nesta tecnologia depende principalmente do seu tamanho, mais especificamente do volume de material a ser processado, sendo independente da complexidade geométrica da mesma.

Uma grande vantagem deste processo é a variedade de materiais que pode ser processada: diferentes tipos de polímeros, cera, alguns metais e cerâmicas, ou a combinação destes (Beaman *et al*, 1997). O processo SLS permite obter diretamente o protótipo desejado ou então fabricar insertos de um molde de injeção que será utilizado para a obtenção do referido protótipo. Entre as vantagens específicas deste processo à fabricação de insertos de injeção pode-se citar a possibilidade de incorporar canais de refrigeração de acordo com a geometria do inserto, bem como de outros detalhes de projeto (canais de distribuição, pontos de injeção, etc.) e a possibilidade de obtenção de detalhes difíceis de serem usinados.

3. O PROCESSO RAPIDTOOL™

O processo *RapidTool™* descrito neste trabalho utiliza o material *RapidSteel 2.0 (RS2)* que, em seu estágio inicial, é uma mistura de aço inox 316 em forma de pó esférico com um ligante polimérico. Este material possui um tamanho médio de partículas de 34 µm (Nelson, 1998).

O processo utilizando RS2 é constituído de três etapas principais. A Fig. 2 apresenta, esquematicamente, o que ocorre com as partículas em cada uma destas etapas. Na primeira etapa, a peça ‘verde’ (*Green Part* - peça sinterizada pelo laser que necessita pós-processamento) é produzida no equipamento SLS. Na segunda etapa, a peça é levada a um forno com atmosfera controlada (30% hidrogênio e 70% nitrogênio) onde o polímero é queimado (decomposto) e ocorre a sinterização entre as partículas metálicas. A peça sinterizada é denominada de ‘*brown part*’, por estar num estágio intermediário. A etapa final é também realizada em um forno, onde uma quantidade pré-determinada de bronze se funde e infiltra por capilaridade no inserto, obtendo-se um componente sólido. O material final RS2 é então um composto com 60% de aço inox e 40% de bronze. Operações de acabamento são necessárias no final do processo para se obter o inserto dentro das especificações dimensionais requeridas.

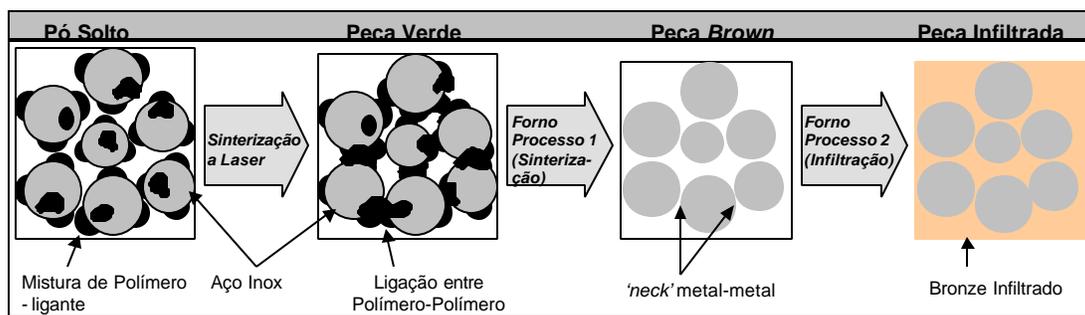


Figura 2. Etapas do processo *RapidTool™* usando RS2

Os insertos metálicos para molde de injeção de plástico obtidos por este processo podem ser utilizados na obtenção de protótipos funcionais, com as mesmas características mecânicas das peças obtidas com as ferramentas de produção. Em alguns casos o material RS2 pode ser usado em ferramentas de pré-produção. Nelson (1998) menciona que insertos deste material podem produzir mais de 100000 peças injetadas com a maioria dos polímeros.

É importante observar que recentemente foi lançado um novo material denominado de LASERFORM ST100 (aço inox 420 magnético), apresentando algumas vantagens em relação ao RS2. A principal diferença do processo com este novo material é que o pós-processamento no forno foi reduzido a um único ciclo, englobando sinterização e infiltração. Este novo material encurtou em um dia o tempo de obtenção dos insertos, que pode variar de 2 a 5 dias, dependendo do tamanho do inserto. O autor acredita que as mesmas técnicas aqui testadas podem ser aplicadas a este novo material.

4. ESTRATÉGIA DE CASCA APLICADA À FABRICAÇÃO DE INSERTOS

Como mencionado anteriormente, os insertos de um molde de injeção (macho e cavidade) podem ser considerados como um bloco ‘maciço’ quando analisado sobre a ótica de fabricação utilizando a tecnologia SLS (Fig. 3). Desta forma este setor específico, pode se beneficiar consideravelmente da estratégia de casca, devido ao grande volume de material a ser processado.

A idéia de se utilizar casca consiste em transformar a geometria original do inserto em uma casca, com uma espessura determinada, criando-se assim duas regiões, a casca externa e o interior (*core* - Fig. 3). A idéia se baseia no princípio que somente a superfície externa do inserto é responsável pela precisão do mesmo e assim deve ser processada com parâmetros mais refinados. O interior pode ser processado com uma condição mais grosseira.



Figura 3. Princípio de casca (*shelling*) aplicado a insertos de moldes

Duas estratégias básicas podem ser visualizadas na área de fabricação de insertos, casca fechada e casca aberta (Fig. 3). A casca fechada é gerada primeiro criando-se uma geometria equidistante (*offsetting*) da superfície externa do inserto (espessura da casca) e então subtraindo-a da geometria sólida original. Neste caso, um volume de material no interior do inserto é gerado e deve ser processado de alguma forma (ou não). A geometria da casca aberta é obtida de uma forma semelhante mas o volume do interior não é gerado pois a superfície do fundo do inserto é removida no momento da criação da casca. Neste caso, o material não processado pode ser facilmente removido do interior da casca após o processo SLS, resultando somente em uma casca sólida para ser pós-processada. A função de *offsetting* pode ser facilmente realizada na maioria dos sistemas CAD e também por sistemas que trabalham diretamente com arquivos STL (tipo *Magics* da empresa *Materialise*).

A opção de casca fechada representa a menor alteração nas etapas normais do processo *RapidToolTM*, pois o material do interior vai servir de preenchimento, não necessitando de etapa adicional de pós-processamento. No entanto, um gradiente de densidade pode ocorrer entre o material do interior e o material da casca, podendo causar problemas de distorções e deformações devido a diferentes contrações durante a sinterização no forno. Devido ao fato que somente o polímero é processado durante a exposição do laser, a variação de densidade entre a casca e o pó não processado é pequena. Considerando que distorções podem ocorrer, alguns tipos de suporte internos como pilares e arcadas podem ser testados, com a opção inclusive de se deixar o pó não processado junto com estes suportes. Uma desvantagem de se usar suporte interno é que torna-se necessário operações adicionais na geometria do inserto no CAD e também o volume de material

processado aumenta, reduzindo-se assim o ganho de tempo. Desta forma, o uso de suporte deve ser eliminado ou mantido ao mínimo.

Uma outra opção para suportar a peça e também reduzir o gradiente de densidade dentro do inserto é processar o material do interior com uma condição grosseira. Uma condição grosseira seria uma combinação de parâmetros de processamento SLS (potência do laser, velocidade, espaçamento na varredura, etc.) que permite obter um material verde com a mesma densidade do material normalmente processado, mas de forma bem mais rápida. É esperado que a opção de se processar o material do interior não seja tão efetiva em economia de tempo como nos casos onde este material não é processado.

A estratégia de casca aberta possibilita uma redução maior no tempo de máquina SLS do que a casca fechada pois um menor volume de material é processado. Devido ao fato do material do interior ser removido, os insertos ficam mais leves e fáceis de serem manipulados, o que pode ter uma aplicação especial na fabricação de insertos grandes e pesados. Uma desvantagem desta opção é a necessidade de se inserir mais uma etapa no pós-processamento para o preenchimento da casca com algum material de suporte, obtendo-se um inserto maciço. No entanto, um ponto positivo de se ter uma casca aberta neste estágio é a possibilidade do uso de canais de refrigeração mais detalhados antes do preenchimento final. É especulado que os mesmos materiais de preenchimento usado em molde obtidos por spray de metal podem ser utilizado com RS2 (ligas de bismuto e estanho, resinas epoxi modificada com pó de alumínio e outros).

Um ponto que deve ser levado em conta no desenvolvimento de estratégias é a fragilidade do material RS2 em manter a forma de regiões das peças que não possuem suporte durante as etapas de forno. Este fato é importante pois pode inviabilizar a estratégia de casca aberta. É necessário então o desenvolvimento de um método de suportar estas regiões durante as etapas de forno. Este método foi desenvolvido com sucesso, combinando parte do processo de fundição tradicional com o *RapidToolTM* (Volpato *et al*, 2001). O suporte utiliza areia de fundição misturada com um ligante que é facilmente ‘compactada’ no interior da casca. Uma vez que o ligante é curado este material se constitui num suporte adequado para manter a forma da peça.

Outro ponto que deve ser considerado é o efeito da alteração geométrica do inserto em forma de casca nas condições de processamento a laser do material. Figura 4 representa a alteração no comprimento do vetor de varredura do laser (preenchimento em *raster*) causada pela estratégia de casca. O comprimento do vetor muda bruscamente de longo para curto nas regiões 1 e 2. Nestas regiões o material é processado a uma temperatura mais elevada pois a densidade de energia aplicada pelo laser é maior devido ao menor tempo para o calor se dissipar entre uma passada e outra do laser. Além disso, o número de posicionamentos e também de liga e desliga do laser é aumentado, podendo comprometer a precisão da peça devido ao limite de precisão do sistema de *scanning* do equipamento SLS. Estes pontos devem ser observados nos experimentos projetados para testar a viabilidade das estratégias de casca.

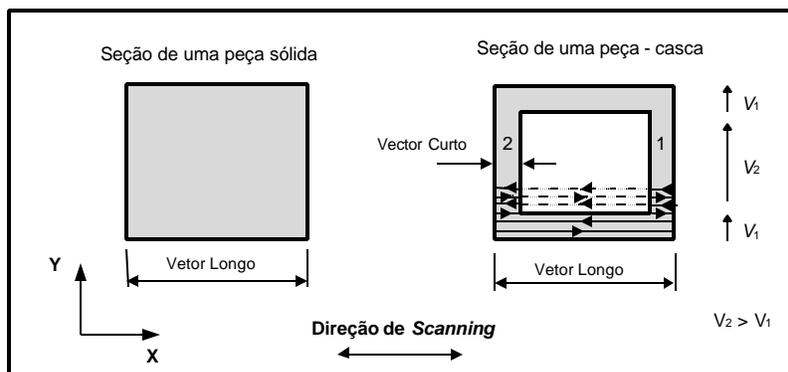


Figura 4. Alteração no processo de *scanning* causada pela geometria da estratégia de casca

5. EXPERIMENTOS – TESTES DE VIABILIDADE

Para se testar as estratégias de casca uma geometria genérica foi definida simulando um macho de um molde, como pode ser visto na Fig. 5. As variações testadas podem ser observadas nos cortes apresentados na Fig. 5a até d. A Tab. 1 apresenta um sumário das estratégias testadas com as condições de processamento da casca e do interior. A espessura da casca testada foi de 4,5mm, com algumas variações nos testes 6, 7 e 8. O inserto do teste 1 foi produzido pelo método usual (em sólido), para ser usado como referência. O teste 2 representa uma casca fechada sem nenhum apoio interno extra, somente o pó não processado foi deixado no interior. O teste 3 é semelhante ao teste 2 mas o material do interior foi retirado através de uns furos na base da peça. Na estratégia 4, pilares circulares de 3mm de diâmetro espaçado 9,5mm em X e Y foram usados como suporte interno e o material não processado foi deixado entre os pilares. O teste 5 é semelhante ao teste 4 sendo que o material não processado foi retirado do interior. No teste 6 uma arcada foi utilizada como suporte obtendo-se assim uma espessura de casca variável, sendo o material não processado deixando no interior do inserto. No teste 7 o material do interior foi processado com uma condição grosseira e a espessura da casca foi reduzida para 2mm. Isto é possível pois a resistência da peça verde como um todo é aumentada com o interior também processado. O teste 8 é uma variação do teste 7, sendo o interior também processado com uma condição grosseira mas a casca é obtida através do passe de contorno (*outline*). A espessura da casca é gerada somente pelo diâmetro do feixe de laser (0,4mm). O teste 9 representa a estratégia de casca aberta, utilizando o suporte de areia com ligante. A direção X na Fig. 5 é a direção de varredura do laser e a direção Z é a de construção das camadas.

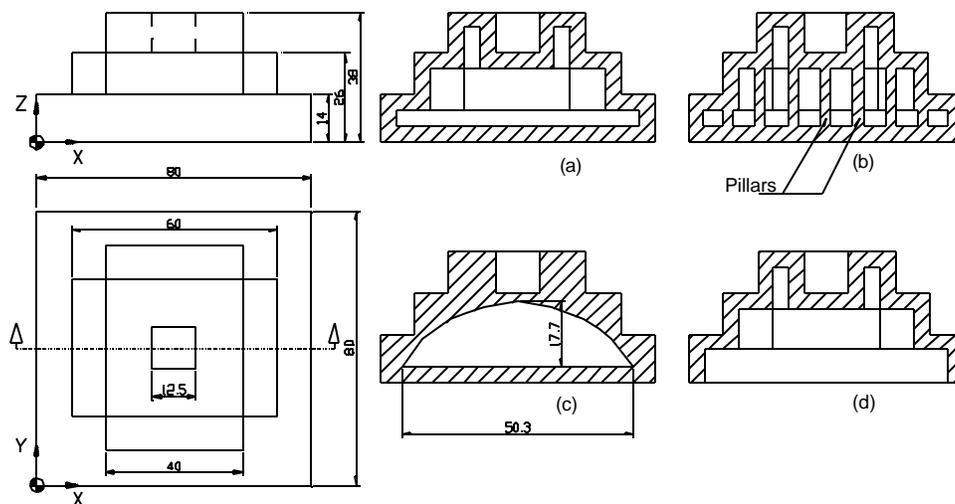


Figura 5. Geometria da peça para teste das estratégias de casca projetadas

As peças foram fabricadas em uma máquina SLS comercializada pela antiga empresa DTM, denominada *SinterStation 2000*. A condição normal de processamento significa usar as condições recomendadas pelo fabricante para este equipamento, que são: potência do laser (P) igual 20Watts, velocidade de deslocamento do laser (U) igual a 1524mm/s, espaçamento entre as passadas do laser (s) igual a 0,076mm e espessura de camada (t) igual a 0,076mm. A condição de contorno (*outline*) recomendada utiliza $P=40$ Watts e $U=310$ mm/s. A condição grosseira definida usa $P=40$ Watts e $s=0,16$ mm, sendo os demais parâmetros iguais a condição normal. Esta configuração grosseira permite a obtenção de um material processado com a mesma densidade da condição normal na metade do tempo (Volpato, 2001).

Os ciclos de pós-processamento foram os recomendados. Para a sinterização o forno é aquecido a uma taxa de 120°C/hora até 1050°C, é mantido nesta temperatura por 3horas e após resfriado a uma taxa de 180°C/hora. O ciclo de infiltração é semelhante ao de sinterização, mas a temperatura máxima é de 1120°C.

Tabela 1. Sumário dos testes realizados para testar a viabilidade de se usar cascas

Teste	Estratégias	Espessura da Camada	Parâmetros de Processamento da Casca	Parâmetros de Processamento do Interior
1		N/A ¹	N/A ¹	N/A ¹
2		4,5mm	Condição Normal	Pó não processado (deixado)
3		4,5mm	Condição Normal	Pó removido
4		4,5mm	Condição Normal	Pilares de 3mm diâmetro, 9,5mm afastados, pó deixado
5		4,5mm	Condição Normal	Pilares de 3mm diâmetro, 9,5mm afastados, pó removido
6		Variável ²	Condição Normal	Um arco enquadrado no interior da peça, pó deixado
7		2,0mm	Condição Normal	Condição grosseira ($P=40W$, $s=0,16mm$)
8		$\approx 0,4mm$	Condição <i>Outline</i> ($P=20Watts$, $U=310mm/s$)	Condição grosseira ($P=40W$, $s=0,16mm$)
9		4,5mm	Condição Normal	Casca suportada durante sinterização com areia e ligante (Zircônia + ligante)

1: Não se aplica; 2: Figura 5c

As estratégias foram avaliadas em relação ao tempo de processamento SLS utilizando-se um programa para estimar este tempo que replica as etapas de processamento na máquina (Volpato, 2001). As peças foram medidas utilizando-se uma máquina de medir por coordenadas, sendo analisados os possíveis desvios das paredes laterais (nas regiões onde há variação do tamanho dos vetores – Fig. 4) e também a deformação sofrida no topo das peças durante as etapas de pós-processamento no forno. Um rugosímetro foi utilizado para estudar a rugosidade superficial da estratégia utilizando o processamento grosseiro (teste 8) em relação a condição normal.

6. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

A Tab. 2 apresenta um sumário dos resultados dos testes de viabilidade. O redução do tempo estimada é apresentada em comparação ao teste 1. A medição dos desvios e deformações foram realizadas entre as etapas de processamento (peça verde, sinterizada e infiltrada).

A redução de tempo de máquina SLS estimado para o teste 2 foi 27,5%. Como o volume de material a ser processado aumenta com o aumento dos detalhes internos, a redução de tempo caiu para 21,7% para os testes 4 e 5 e para 10,4% para teste 6. Como esperado, com a necessidade de se processar também o material do interior, a redução de tempo para o teste 7 foi reduzido para 15,8%. No entanto, se a casca é produzida via a operação de *outline*, como na estratégia do teste 8, a redução de tempo aumenta para 38,1%. A melhor estratégia em termo de economia de tempo foi a casca aberta do teste 9, com 39,1%.

Um valor positivo do desvio lateral significa que houve um degrau para dentro na parede lateral da peça, onde o vetor de deslocamento do laser muda bruscamente (vetor longo/curto), e um valor positivo o degrau está para fora da parede lateral da peça. Os resultados mostram que houve uma variação dimensional devido a mudança nas condições de processamento sendo que no teste 2 e 9 os degraus foram para fora (aproximadamente 0,2mm e 0,14mm, respectivamente). No entanto, no teste 7 o degrau foi para dentro (-0,1mm).

Os valores de deformação apresentados são obtidos pela diferença entre as alturas da superfícies do topo da peça medidas em dois estágios, após a sinterização no forno e no estágio da peça verde, ou então entre a peça infiltrada e a peça sinterizada (na direção Z). Como existe uma contração normal do material durante a etapa de sinterização no forno, a peça em sólido também (teste 1) deve apresentar uma variação de altura (ou deformação). Os valores apresentados correspondem ao máximo para cada teste, que geralmente ocorre no centro do inserto. Os testes 2 e

4, em que o material não processado foi deixado no interior da casca apresentaram deformações inaceitáveis, maiores do que 1mm. Uma destas peças foi cortada no meio e revelou a existência de vazios internos entre a casca e o interior (Fig. 6a). Mesmo quando os pilares foram usados como suporte interno (teste 4) a deformação não foi prevenida. Os testes 3 e 5, onde o material do interior foi removido, entraram em colapso durante o estágio de sinterização no forno; a casca não suportou seu próprio peso e os pilares usados não foram resistentes o suficiente para suportar a casca (Fig. 6b). A arcada do teste 6 preveniu melhor a deformação do que os pilares do teste 4 mas ainda com valores inaceitáveis. Além disso, este teste apresentou um valor baixo de redução no tempo de processamento. Os testes 7 e 8 não apresentaram sinais de deformação. Finalmente o teste 9 apresentou valores de deformação similares ao do teste 1. Os valores positivos para a deformação das peças infiltradas representam um leve inchamento normal do material devido ao processo de infiltração com bronze.

Não houve variação significativa na rugosidade superficial do material processado na condição grosseira testada (teste 8) e na condição normal. O valores de rugosidade medidos estão em torno de 10µm Ra no estado *brown*, mas tendem a reduzir um pouco após a etapa de infiltração com bronze.

Tabela 2. Sumário dos resultados dos testes de viabilidade realizados

Teste	Estratégias	Redução de Tempo SLS (%)	Desvio Lateral X (mm)	Deformação Brown Z (mm)	Deformação Infiltrada Z (mm)	Rugosidade Ra (µm) Brown	
						X-Dir	Y-Dir
1		0	N/A	-0,123	-	10,5	11,1
2		27,5	0,205 (Brown)	-1,292	-	-	-
3		27,5	Colapso				
4		21,7	-	-1,231	-	-	-
5		21,7	Colapso				
6		10,4	N/A	-0,396	-	-	-
7		15,8	-0,103 (Brown)	-0,057	0,064	11,0	9,9
8		38,1	N/A	-0,047	0,137	10,0	10,5
9		39,1	0,136 (Infiltrada)	-0,121	0,189	-	-

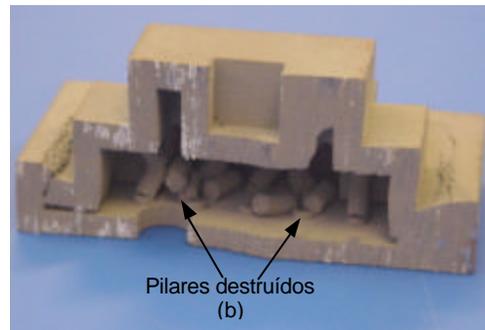
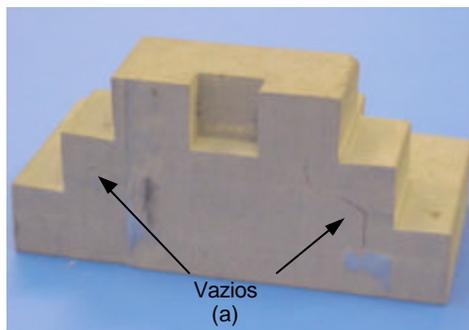


Figura 6. Seções transversais das peças testes - (a) teste 2 e (b) teste 5

7. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Como esperado a estratégia de casca aberta (teste 9) apresentou o melhor resultado em termos de economia de tempo no processamento SLS. Isto se deve à redução do volume de material processado. No caso da casca fechada (teste 7), o tempo economizado foi reduzido para menos da

metade do previsto para a casca aberta. Este fato decorre da necessidade de se processar também o material do interior da casca. Cabe ressaltar que no caso de aplicação desta estratégia para insertos maiores a redução de tempo deve aumentar. A estratégia do teste 8 apresentou um alto potencial para redução de tempo, não apresentando problemas de marcas nas paredes do inserto (ver comentário no próximo parágrafo). Isto se deve ao fato da casca ter sido obtida com o laser contornando o perfil da peça (*outline*).

Volpato (2001) apresentou testes adicionais sobre a influência da variação do vetor do laser no dimensional da peça e concluiu que a precisão do sistema de varredura (*scanning*) do equipamento *SinterStation* 2000 é a principal responsável pela variação dimensional observada em regiões onde o vetor varia consideravelmente. Em seu trabalho, quando os mesmos testes foram repetidos em um equipamento mais recente os resultados foram bem melhores, revelando uma considerável melhoria deste sistema. Esta deficiência do sistema de varredura explica a variação positiva e negativa do desvio lateral observado nos testes realizados. Este problema dimensional limita a idéia de casca para paredes finas (menor do 4,5mm) para o equipamento antigo (*SinterStation* 2000), mas para o equipamento mais recente este valor pode ser reduzido.

As peças dos testes 2, 4 e 6 falharam no teste de viabilidade devido a excessiva deformação na etapa de sinterização no forno. Embora o material do interior não processado ajudou a suportar a casca, ele contraiu mais do que a casca durante a sinterização, permitindo inclusive o aparecimento de vazios. Outra observação é que durante a etapa de sinterização no forno existe um estágio em que o material RS2 tem dificuldades de resistir o próprio peso. Isto é observado pelo colapso da peça sem suporte interno (teste 3) e também daquela usando pilares (teste 5). Uma possível explicação para este fato é que a queima do polímero está ocorrendo antes que uma ligação forte entre as partículas metálicas tenha ocorrido.

A condição de processamento SLS definida como grosseira provou ser uma solução viável para o problema de gradiente de densidade dentro do inserto de casca fechada, bem como para a falta de suporte interno (testes 7 e 8). Além disso, basicamente não houve diferença entre a rugosidade do material processado com esta condição e o processado com a condição normal.

Finalmente, o suporte de areia e ligante utilizado na estratégia de casca aberta provou ser eficiente na manutenção da forma da peça durante a sinterização no forno. Este resultado positivo abriu a oportunidade de se produzir não somente casca aberta mas protótipo metálicos com regiões delgadas sem suporte (Volpato *et al*, 2001).

8. CONCLUSÃO

A idéia de se utilizar cascas aplicadas a fabricação de insertos de moldes objetivando reduzir o tempo de máquina no processo *RapidTool*TM foi investigada. Os experimentos mostram que é inviável construir insertos em forma de casca quando pó sem ser processado é deixado no interior do mesmo devido ao gradiente de densidade. Adicionalmente, observa-se que se for projetado uma casca mais espessa ou um suporte mais reforçado, o tempo economizado será desprezível.

Basicamente duas estratégias foram consideradas como tendo sucesso, a casca fechada com o material do interior processado em condições grosseiras e a casca aberta utilizando-se areia e ligante como suporte. A redução do tempo de máquina provou ser atrativa pois a área de fabricação de inserto possibilita uma grande redução de volume de material a ser processado pelo laser. Para o tamanho de inserto e espessura de cascas testadas neste trabalho, a redução de tempo girou em torno de 40% para estratégia de casca aberta e em torno de 15% para casca fechada.

Há um limite mínimo para a espessura da casca que pode ser empregada com o equipamento SLS utilizado neste trabalho devido a pouca precisão do sistema de varredura. Este problema foi minimizado nas novas gerações de equipamentos SLS.

9. AGRADECIMENTOS

O autor agradece ao CNPq pelo financiamento deste trabalho de pesquisa.

10. REFERÊNCIAS

- Beaman, J.J., Marcus, H.L., Bourell, D.L., Barlow, J.W. and Crawford, R.H., 1997, "Solid Freeform Fabrication: a new direction in manufacturing", Dordrecht London: Kluwer Academic Publishers, 330 p.
- Chiu, W.K. and Tan, S.T., 1998, "Using dexels to make hollow models for rapid prototyping", Computer-Aided Design, Vol. 30, No. 7, pp. 539-547.
- Feng, F.Y., Wang, F.C. and Lin, T.T., 2000, "A new flexible layer fabrication method for the jet deposition system to accelerate fabrication speed", Rapid Prototyping Journal, Vol. 6, No. 4, pp. 226-234.
- Li, C.L., Yu, K.M. and Lam, T.W., 1998, "Implementation and evaluation of thin-shell rapid prototyping", Computer in Industry, No. 35, pp. 185-193.
- Nelson, C., 1998, "RapidSteel 2.0 Mold Inserts for Plastic Injection Molding", DTM Corporation.
- Sabourin, E., Houser, S.A. and Bohn, J.H., 1997, "Accurate exterior, fast interior layered manufacturing", Rapid Prototyping Journal, Vol. 3, No. 2, pp. 44-52.
- Volpato, N., 2001, Tese de Doutorado: "Time-Saving and Accuracy Issues in Rapid Tooling by Selective Laser Sintering", The University of Leeds, Leeds, UK, Julho, 284 p.
- Volpato, N., Childs, T.H.C., Stewart, T.D. and Watson, P., 2001, "Indirect Selective Laser Sintering of Metal Parts with Overhung Features", Journal of Engineering Manufacture, Proceeding Part B, IMechE, Vol. 215, pp.873-876.
- Yu, K.M. and Li, C.L., 1995, "Speeding up rapid prototyping by offset", Journal of Engineering Manufacture, Proceeding Part B, IMechE, Vol. 209, pp.1-8.

11. DIREITOS AUTORAIS

O autor é o único responsável pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

SHELLING STRATEGIES TO ACCELERATE A RAPID TOOLING PROCESS BASED ON SLS

Neri Volpato

Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná
CEFET-PR/DAMEC/NUPES
Av. Sete de Setembro, 3165
Curitiba – PR, CEP 80230-901
volpato@nupes.cefetpr.br

Abstract. *Selective Laser Sintering (SLS) is one of the Rapid Prototyping (RP) technologies which has a great potential for the area of Rapid Tooling (RT). One of the RT processes commercially available based on this technology is named RapidTool™, which allows metallic inserts to be manufactured.*

Due to the geometric nature of the plastic injection mould inserts (core and cavity), which may be seen as a massive 3D block, the time to sinter with a laser in a SLS equipment is long. Initially this paper describes briefly the principle of the SLS technology and also the RapidTool™ process and then, presets the development of the shelling strategies to save time in the laser sintering. To check the feasibility of the idea some strategies are tested experimentally. Discussions and solutions are presented for some side effects in the accuracy of the process caused by the shelling. Two shelling options are considered successful in these tests.

Keywords. *rapid prototyping, rapid tooling, SLS, shelling*