



ALEXSANDRO MATOS DE OLIVEIRA – alexsandromo@yahoo.com.br
 DIEGO ABICH RODRIGUES – diegoabich@charqueadas.ifsul.edu.br
 PAULO RICARDO BÖESCH JR. – pauloboesch@yahoo.com.br
 LIRIO SCHAEFFER – schaefer@ufrgs.br

Moldes para injeção de pós-metálicos – Problemas e soluções de projetos.

A moldagem de pós por injeção (MPI) é um processo que permite a fabricação de peças, componentes metálicos e cerâmicos, com geometrias complexas, baixas tolerâncias dimensionais e altas taxas de produtividade. Dentro das variáveis que compõe este processo de fabricação, o Projeto de Moldes é uma das mais importantes, pois dependendo da sua concepção, pode determinar o sucesso ou fracasso na MPI. Nos dias atuais, o crescente desenvolvimento de métodos que utilizam a simulação numérica como ferramenta nos projetos de moldes tem auxiliado na fabricação destes componentes, porém necessitam-se altos investimentos para isso. Este artigo tem como objetivo mostrar alguns dos problemas observados em projetos de moldes e quais soluções encontradas para estes problemas.

INTRODUÇÃO

A moldagem de pós por injeção (MPI) é um processo de fabricação que utiliza as técnicas da moldagem por injeção de plásticos em conjunto com a metalurgia do pó. Na MPI a carga injetável, chamada de *feedstock*¹, é uma mistura de um sistema aglutinante com pós-metálicos ou cerâmicos. Este processo combina uma pequena quantidade de polímero com pós-inorgânicos para formar a carga que a ser injetada. O sistema aglutinante, denominado *binder*², servirá de veículo para o pó até as cavidades do molde, e após isso, ele deve ser removido através de extração térmica, química ou ambas[1].

As grandes vantagens desta técnica em relação à metalurgia do pó convencional, à fundição e à usinagem são:

- Fabricação de peças com geometrias extremamente complexas;
- Mínima perda de material (sucata);
- Ampla gama de materiais disponíveis;
- Maior produtividade [1,2].

Porém algumas desvantagens são observadas:

- Alto custo do pó;
- Investimento alto em equipamentos (injetoras, matrizes, misturadores, fornos, entre outros) [1].

O processo de fabricação através da MPI segue algumas etapas básicas: Mistura do pó com o sistema aglutinante; Injeção desta carga em um molde; Remoção do sistema aglutinante e sinterização [3]. A figura 1 mostra a sequência completa do processo de MPI.



Figura 1 - Processo completo da MPI [3].

Existem diversos tipos de cargas injetáveis, sejam elas desenvolvidas para estudos ou vendidas comercialmente. Pela grande quantidade de trabalhos científicos sobre o tema, pode-se notar que pesquisas são amplamente desenvolvidas no intuito de caracterizar *feedstocks* com diferentes tipos de sistemas aglutinantes, diferentes tamanhos e formas dos pós, parâmetros de *debinding*³ e sinterização, parâmetros de injeção, entre outros.

¹*Feedstock*: Carga injetável produzida através da combinação de um sistema aglutinante compós-metálicos ou cerâmicos.

²*Binder*: Sistema aglutinante que serve como veículo do pó até as cavidades do molde.

³*Debinding*: Processo de remoção do sistema aglutinante.

Os moldes e as máquinas injetoras utilizadas na moldagem de pós por injeção são idênticas às utilizadas na injeção de termoplásticos. Tanto na moldagem de pós por injeção, como na moldagem de termoplásticos, a contração do material deve ser levada em conta no momento da fabricação das cavidades [1].

Os principais componentes de um molde são: 1. Placa base inferior; 2. Placa extratora; 3. Contra placa extratora; 4. Espaçadores; 5. Placa apoio ou suporte; 6. Placa matriz inferior; 7. Placa matriz superior; 8. Placa base superior; 9. Bucha de injeção; 10. Anel de centragem, como representado na figura 2.

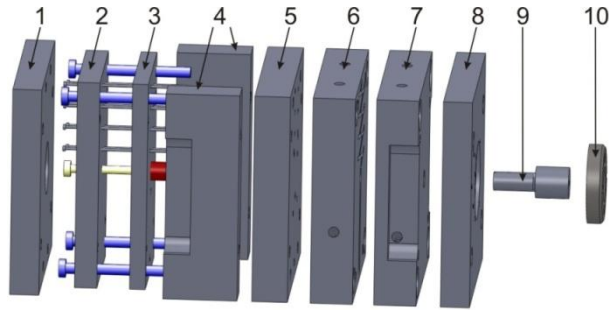


Figura 2 - Vista explodida de um molde apresentando seus principais componentes.

PROBLEMAS EM MOLDES PARA MPI

Um projeto de molde que contemple as características de injetabilidade⁴ de determinado material é de extrema importância para o sucesso do processo. Devido à alta viscosidade dos feedstocks em relação aos termoplásticos, deve-se projetar os canais e pontos de injeção com maior área de fluxo de material, de forma a permitir o total preenchimento da cavidade. Muitos problemas de não preenchimento de cavidades podem ser resolvidos através de projetos adequados ou até mesmo com a utilização de softwares de simulação [4,5].

A figura 3 apresenta o trabalho desenvolvido por Bonaldi – 2008, onde foi verificada a dificuldade de injeção das peças devido à restrição dos canais, os quais limitavam o escoamento do material, impossibilitando o preenchimento da cavidade.

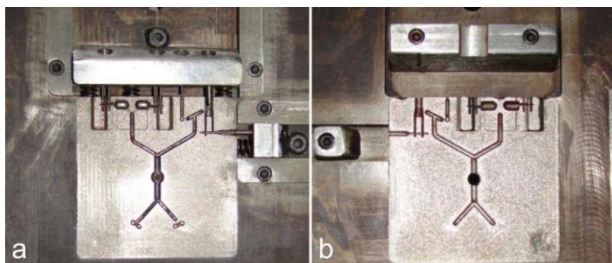


Figura 3 - (a) Lado móvel da matriz; (b) Lado fixo da matriz [6].

De acordo com Bonaldi, mesmo com a utilização de temperatura e pressão elevadas não foi possível o

preenchimento das cavidades. Para contornar este problema, os canais foram reusinados e tiveram seus diâmetros aumentados, conforme mostrado na figura 4.

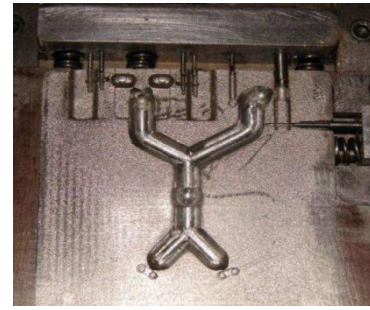


Figura 4 - Canal de injeção retrabalhado [6].

A figura 5 mostra as placas cavidades do molde projetado no Laboratório de Transformação Mecânica (LdTM – UFRGS) para a realização de ensaios mecânicos (tração, flexão e compressão) e para estudos de campos magnéticos (anel de Rowland).

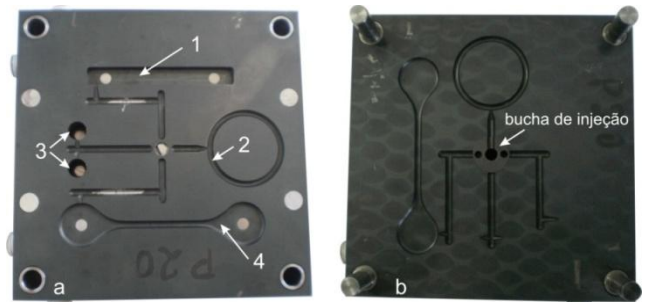


Figura 5 - Placa matriz Inferior: 1 - Ensaio de flexão; 2 - Ensaio de campos magnéticos; 3 - Ensaio de compressão; 4 - Ensaio de tração. (b) Placa matriz superior.

Quando as matrizes de injeção possuem mais de uma geometria de corpos de prova, com volumes diferentes (maioria dos casos), para que todas as cavidades possam ser preenchidas ao mesmo tempo deve-se fazer o balanceamento entre as cavidades, ou seja, equalizar o material que sai do bico de injeção e flui para o preenchimento das cavidades. Essa compensação se dá através da variação do comprimento ou diâmetro dos canais de injeção para cada peça [7].

Porém, dependendo de quais propriedades deseja-se avaliar, necessita-se injetar somente um tipo de corpo de prova por vez. Desta forma, não foi necessário fazer o balanceamento entre as cavidades do molde mostrado na figura 5.

Para que fosse possível a injeção de apenas um corpo de prova por ciclo, uma bucha de injeção foi projetada de forma que pudesse girar de acordo com a cavidade a qual se deseja injetar (fig. 6b). Nota-se que somente pelo lado fixo o material flui da bucha de injeção para os canais, criando assim uma restrição ao fluxo de material (fig. 6a).

⁴Injetabilidade: capacidade que um determinado material tem de escoar, através do bico e canais de injeção, até a cavidade.

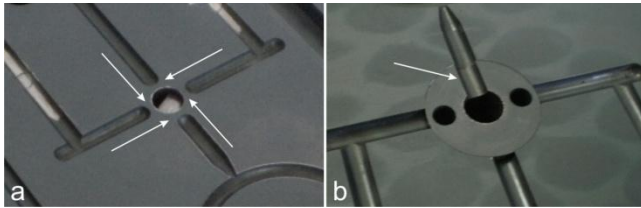


Figura 6 - (a) restrições ao fluxo do material - lado móvel; (b) abertura para fluxo do material - lado fixo.

Ao passar pela restrição, mostrada na figura 6a, o material flui pelos canais que foram usinados em ambos os lados fixo e móvel do molde, porém esta restrição causa um excesso de pressão para que a cavidade seja preenchida. O excesso de pressão pode prejudicar tanto a máquina quanto a matriz ao longo do tempo útil de vida, então a otimização do processo se faz necessária.

A figura 7 mostra um corpo de prova de ensaio de tração com excesso de rebarbas, causadas pelas altas pressões e temperatura de moldagem necessárias para o preenchimento da cavidade.



Figura 7 - Corpo de prova de tração apresentando rebarbas devido ao excesso de pressão na cavidade.

Dependendo do material a ser injetado, principalmente aqueles com alta viscosidade, as restrições mostradas na figura 6 impedem o completo preenchimento das cavidades. A figura 8 mostra o não preenchimento da cavidade com o *feedstock* CATAMOLD®316LA da BASF®, para ensaios de compressão e tração, respectivamente.

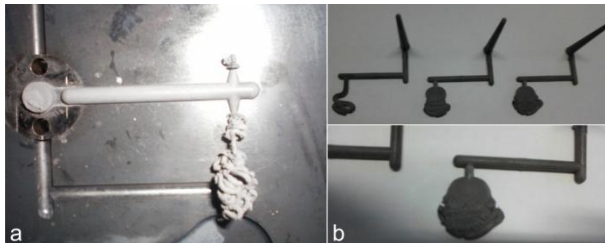


Figura 8 - Cavidades não preenchidas

A falta de preenchimento também foi observada para os corpos de prova de flexão, como mostrado na figura 9.



Figura 9 - (a) Corpos de prova de flexão com preenchimento parcial da cavidade; (b) Modelo CAD do corpo de prova de flexão.

Um problema frequente em moldagens por injeção é o “jateamento”, no qual consiste em fluxo turbulento do material, devido principalmente às mudanças de seções nos canais, ponto de injeção pequeno em peças com grande massa ou a existência de restrições ao fluxo [7]. Na figura 9 é possível observar que o material sofreu um jateamento, e desta forma a cavidade não foi totalmente preenchida.

As restrições e as mudanças nas direções de fluxo do material, como mostrado na figura 8, onde o material flui do bico de injeção até encontrar o canal que possui um ângulo de 90°, podem contribuir para a separação do pó e do sistema aglutinante. Essa separação faz com que o pó se concentre em uma determinada região do canal, gerando zonas com estagnação de pó e zonas com excesso de *binder*, conforme mostrado na figura 10.

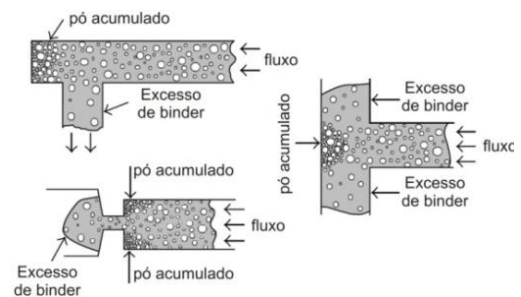


Figura 10 - Separação do pó e binder durante a mudança da direção do fluxo [1].

A separação do pó e binder pode ser estudada através de testes de injetabilidade, onde os materiais são injetados em cavidades que contenham geometrias propícias a este efeito. Um molde para testes de injetabilidade em forma de zig-zag foi fabricado no LdTM – UFRGS para análise de injetabilidade dos diversos tipos de cargas desenvolvidas neste laboratório e está representado na figura 11.

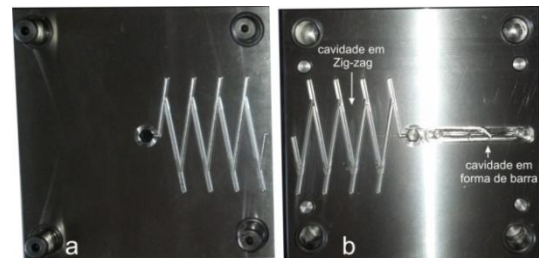


Figura 11 - Molde para testes de injetabilidade - (a) Lado fixo; (b) Lado móvel.

SOLUÇÕES PARA FALTA DE PREENCHIMENTO

Nos processos de injeção de pós-metálicos as altas viscosidades das cargas, bem como suas altas taxas de transferência de calor prejudicam o preenchimento das cavidades, ocasionando congelamento prematuro, principalmente para longos caminhos de fluxo. Nestes casos, a alternativa mais indicada seria a utilização de um sistema de molde com câmara quente⁵, ou comumente chamado de *bico quente*.

Através da utilização de um sistema de câmara quente, além dos caminhos de fluxo serem reduzidos, o material preenche a cavidade com temperatura mais homogênea, visto que as perdas térmicas por contato são reduzidas. A utilização de *bico quente* em um molde tem como desvantagem os altos custos para fabricação deste sistema.

A Figura 12 apresenta um sistema de câmara quente comumente utilizado em moldes de injeção.

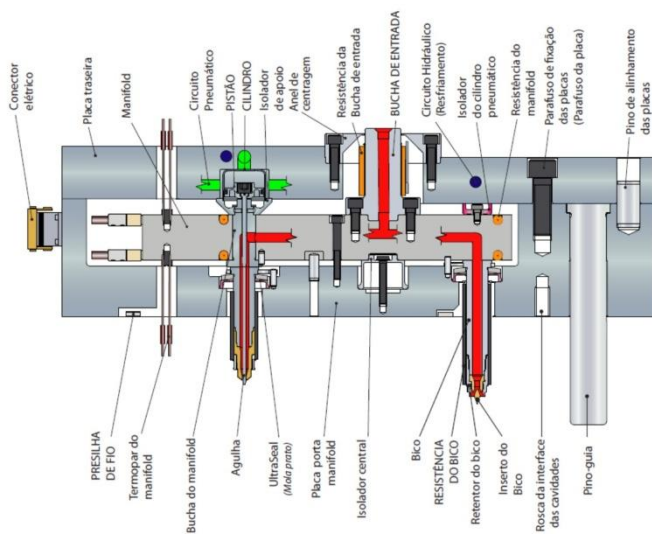


Figura 12 - Molde com câmara quente e seus componentes [8].

Para que o problema de não preenchimento das cavidades do molde dos corpos de prova fosse corrigido, foram feitas algumas modificações no molde, visto que não havia possibilidade de construção de um novo molde provido de câmara quente. Tais modificações estão listadas a seguir:

- Aumento dos canais de injeção, de um $\varnothing 4\text{mm}$ para $\varnothing 5\text{ mm}$, resultando em um aumento de 56,25% em área;
- Eliminação da restrição apresentada na figura 13a, com a fabricação de uma bucha direcionadora de fluxo para o lado móvel (figura 13b), que giracom a bucha existente do lado fixo.

⁵*Câmara quente*: Sistema de distribuição do fluxo direto nas cavidades. Possui aquecimento constante da matéria-prima e elimina os canais de alimentação.

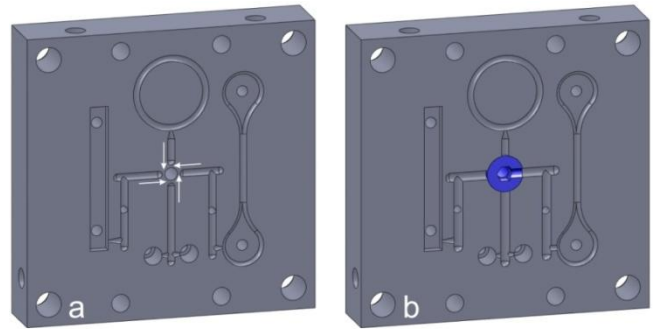


Figura 13 - Projeto da modificação: (a) projeto original com setas mostrando as restrições; (b) furação para a colocação bucha direcionadora de fluxo e o aumento no diâmetro dos canais.

Para facilitar o movimento de giro da bucha de injeção e da bucha do lado móvel, foi usinado através do processo de eletroerosão um encaixe para chave Allen, desta forma com o molde aberto é possível girar as buchas sem ter de desmontar o molde. As figuras 14 e 15 mostram os resultados destas modificações.



Figura 14 - Bico de injeção (lado fixo) com encaixe para chave Allen.

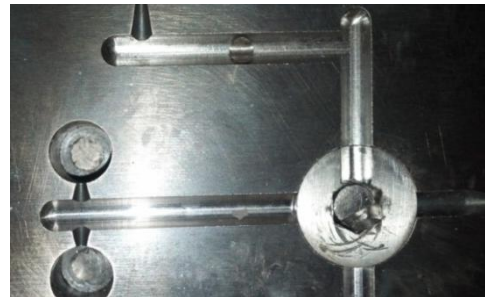


Figura 15 - Bucha fabricada para o lado móvel com encaixe para chave Allen.

Com estas alterações, foi possível injetar e preencher por completo as cavidades. A figura 16 mostra os corpos de prova de flexão injetados e preenchidos por completo.



Figura 16 - Corpos de prova de flexão completamente preenchidos.

CONCLUSÕES

Um projeto de moldes bem detalhado e elaborado é de extrema importância na obtenção de peças fabricadas por MPI, pois está intimamente relacionado aos custos e ao sucesso do processo. Os custos nem sempre estão relacionados à fabricação do molde, mas também ao retrabalho (reusinagem) que se deve fazer para permitir o preenchimento das cavidades.

Conhecer as propriedades e características do feedstock que se deseja injetar é de extrema relevância para a fabricação do molde, pois desta forma evita-se diversos problemas já nas etapas do projeto.

Devido às altas viscosidades e taxas de transferência de calor, recomenda-se a aplicação de maiores diâmetros de canais, assim como menores caminhos de fluxo. Estas características poderiam ser facilmente obtidas através da utilização de moldes providos de câmaras quentes, não fossem os altos custos empregados para fabricação deste sistema.

Outra característica do processo de injeção de pós-metálicos é a aderência da carga metálica às paredes do molde, exigindo que se faça um rígido polimento das cavidades, assim como da bucha de injeção.

A simulação numérica pode auxiliar engenheiros e projetistas nas etapas que constituem a MPI, prevenindo o

comportamento da frente de fluxo e preenchimento de material nas cavidades, e desta forma, apontando caminhos a serem traçados na fabricação do molde.

REFERÊNCIAS

- [1] German, R.M; Bose, A. **Injection Moulding of Metals and Ceramics**. Princeton, New Jersey (USA) – 1997
- [2] Upadhyaya, G. S. **Powder Metallurgy Technology**. Cambridge International Science Publishing. England – 2002
- [3] <http://www.custompartnet.com/wu/metal-injection-molding> - Acesso em 19/09/2012
- [4] Zlatkov, B. S.; Griesmayer, E.; Loibl, H.; Aleksić, O.S.; Danninger, H.; Gierl, C.; Lukić, L.S. **Recent Advances in PIM Technology I**. FOTEC Forschung und Technologietransfer GmbH. Austria - 2008
- [5] Bilovol, V.V. **Mould filling simulations during powder injection moulding**. Delft University of Technology. Netherlands – 2003.
- [6] Bonaldi, P.O., **Estudo, Fabricação e caracterização de pinças de biópsia para endoscopia flexível através do processo de moldagem de pós por injeção**. UFRGS. Porto Alegre, RS – Brasil – 2008.
- [7] Rosato, D.; Rosato, D.V.; Rosato, M.G. **Injection Molding Handbook**. 3th edition. Kluwer Academic Publishers. Massachusetts – USA – 2000
- [8] *Guia de produtos de câmara quente* – Catálogo de produtos HUSKY®. 2012
- [9] Karatas, C.; Sozen, A.; Arcaklioglu, E.; Erguney, S. **Experimental and theoretical investigations of mouldability for feedstocks used in powder injection moulding**. Faculty of Technology. Turkey – 2006.

Alex Sandro Matos de Oliveira - Tecnólogo em Fabricação Mecânica pelo Instituto Federal Sul-rio-grandense (IFSUL) Sapucaia do Sul/RS. Mestrando em Engenharia Metalúrgica pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Laboratório de Transformação Mecânica (UFRGS-LdTM). Professor dos Cursos Técnicos em Mecânica e Automação Industrial da Escola Técnica José César de Mesquita, com experiência em processos de fabricação (Usinagem, projetos mecânicos, conformação e injeção de pós-metálicos).

Diego Abich Rodrigues - Tecnólogo em Fabricação Mecânica pelo Instituto Federal Sul-rio-grandense (IFSUL) Sapucaia do Sul/RS. Mestrando em Engenharia Metalúrgica pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Laboratório de Polímeros (UFRGS-LAPOL). Professor do IFSUL Charqueadas/RS, com experiência em processos de transformação (injeção, extrusão, sopro).

Paulo Ricardo Böesch Jr. - Tecnólogo em Fabricação Mecânica pelo Instituto Federal Sul-rio-grandense (IFSUL) Sapucaia do Sul/RS. Mestrando em Engenharia Metalúrgica pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Laboratório de Transformação Mecânica (UFRGS-LdTM). Professor do IFSUL Sapucaia do Sul/RS, com experiência em projetos mecânicos e ferramentas de simulação numérica.

Lírio Schaeffer - Prof. Dr. -Ing. Coordenador do Laboratório de Transformação Mecânica (LdTM), Depto. de Metalurgia, PPGEM, UFRGS. Av. Bento Gonçalves, 9500, 91501-970, Porto Alegre, RS, Brasil.