



## FABRICAÇÃO DE COMPONENTES METÁLICOS ATRAVÉS DA MOLDAGEM DE PÓS POR INJEÇÃO

**Severino Cesarino da N. Neto**

Centro Federal de Educação Tecnológica da Paraíba, Coordenação de Mecânica  
[cesarino@pg.materiais.ufsc.br](mailto:cesarino@pg.materiais.ufsc.br) – João Pessoa, PB, Brasil

**Aloisio N. Klein<sup>1</sup>, Paulo A. P. Wendhausen<sup>2</sup>, Orley M. Ferri<sup>3</sup>**

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica

(1) [klein@materiais.ufsc.br](mailto:klein@materiais.ufsc.br), (2) [paulo@materiais.ufsc.br](mailto:paulo@materiais.ufsc.br), (3) [orley@pg.materiais.ufsc.br](mailto:orley@pg.materiais.ufsc.br) – Florianópolis, SC, Brasil

**Resumo.** A moldagem de pós por injeção (PIM – Powder Injection Molding) é uma nova técnica desenvolvida para fabricação de componentes que apresentem no seu formato uma alta complexidade geométrica. De uma forma básica, a moldagem de pós metálicos por injeção (MIM – Metal Injection Molding) segue os mesmos passos da metalurgia do pó tradicional, diferenciando-se, no entanto, na maneira como é dada a forma ao componente (shapping). Na moldagem por injeção, ao invés da compactação do pó, o mesmo é injetado, como no processo de injeção de polímeros. Desta forma, pode-se produzir componentes com a flexibilidade de forma apresentada pelo processo de injeção de polímeros, mas com as características mecânicas apresentadas pelo processo de metalurgia do pó. Neste trabalho é descrito a fabricação de componentes metálicos através da moldagem de pós por injeção, estudando-se as diversas etapas existentes no processo.

**Palavras-chave:** Metalurgia do pó, Moldagem por injeção, Sinterização

### 1. INTRODUÇÃO

A moldagem de pós por injeção é uma técnica de fabricação que teve o seu desenvolvimento inicial por volta do ano de 1920, mas que só nas duas últimas décadas teve o seu potencial industrial consolidado, de acordo com German & Cornwall (1997). O melhor entendimento do processo como um todo, associado ao desenvolvimento de matérias-primas (pós e ligantes) apropriadas, fizeram com que as barreiras existentes para a evolução do processo fossem gradativamente derrubadas, fazendo com que, hoje em dia, esta técnica ocupe um espaço de destaque dentro do contexto industrial, conforme German (1993).

De acordo com Adamowicz (1997) e Bose (1995), a moldagem de pós por injeção compete hoje diretamente com os processos de microfusão, usinagem e também com a própria metalurgia do pó tradicional, ou seja, com a compactação de pó em matriz. No entanto, para que um componente torne-se candidato a ser produzido através da moldagem de pós por injeção, segundo Miska (1990) e German (1990), este deve requerer os seguintes pré-

requisitos: alto volume de peças a ser fabricado, alta complexidade geométrica e elevada densidade final.

Em termos gerais, a moldagem de pós por injeção segue as mesmas etapas apresentadas pelo processo de compactação de pó em matriz, ou seja: especificação dos pós e do sistema ligante/lubrificante, mistura, moldagem e sinterização. Entretanto, como a carga de ligante/lubrificante empregada neste processo é muitas vezes superior àquela utilizada na compactação em matriz, torna-se necessária uma etapa exclusivamente para remoção da carga orgânica, uma vez que, após a etapa de moldagem, este passa a ser um agente indesejável no processo.

No entanto, segundo Gummeson (1989), a diferença fundamental entre os processos de moldagem de pós por injeção e compactação de pó em matriz, está na maneira como é dada a forma ao componente a ser produzido (shapping). Enquanto na compactação em matriz o pó escoia livremente para dentro de uma matriz e em seguida é submetido a um esforço de compressão, na moldagem de pós por injeção o pó é forçado para dentro de um molde. Para que o pó adquira condições reológicas de ser injetado, é necessário que este seja adequadamente misturado a um ligante, e assim sendo, possa preencher completamente o molde quando da etapa de injeção.

Este trabalho tem por objetivo, descrever de uma forma básica e sucinta o processo de fabricação conhecido como moldagem de pós por injeção, descrevendo as diversas etapas existentes no respectivo processo.

## 2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

As etapas envolvidas no respectivo trabalho foram aquelas referentes à produção de componentes metálicos através do processo de moldagem de pós por injeção. Para tanto, o procedimento experimental será detalhado, tendo como cada ponto uma etapa do processo.

Todo o trabalho aqui realizado foi desenvolvido no Laboratório de Materiais (Labmat) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC – Florianópolis – Brasil). O molde utilizado na etapa de injeção foi projetado e desenvolvido pelo Centro de Informação em Manufatura Integrado por Computador (Cimject) da UFSC.

### 2.1 Especificação do componente a ser moldado

O componente escolhido para ser produzido foi um corpo de prova de tração do tipo cotonete. As suas dimensões estão especificadas na norma MPIF Standard 50 (Method for Preparation and Evaluation Metal Injection Molded Debound and Sintered Tension Test Specimens), conforme Bhave (1990). O desenho esquemático deste componente está apresentado na “Fig. 1”.

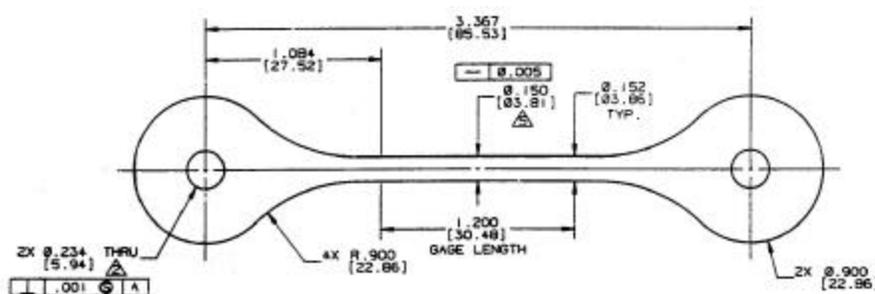


Figura 1. Corpo de prova de tração

## 2.2 Especificação do pó metálico

O pó metálico utilizado na realização deste trabalho foi o pó de ferro BASF CL. As características deste pó estão descritas na “Tabela 1” enquanto que na “Fig. 2” é apresentada a morfologia do mesmo. As ligas ferrosas são as mais empregadas atualmente no processo de moldagem de pós por injeção, tendo como um dos elementos de liga mais utilizado o níquel.

Tabela 1. Características do pó de ferro BASF CL

Processo de fabricação	carbonila
Densidade batida	$\sim 4,1\text{g/cm}^3$
Diâmetro médio de partícula ( $\mu\text{m}$ )	6 - 8 (Fischer)
Distribuição do tamanho de partícula	10% < 5,0 $\mu\text{m}$ 50% < 10,0 $\mu\text{m}$ 90% < 25,0 $\mu\text{m}$
% Fe	> 99,5
%C	< 0,05
%N	< 0,01
%O	< 0,2
%Ni	< 0,01
%Cr	< 0,015
%Mo	< 0,002

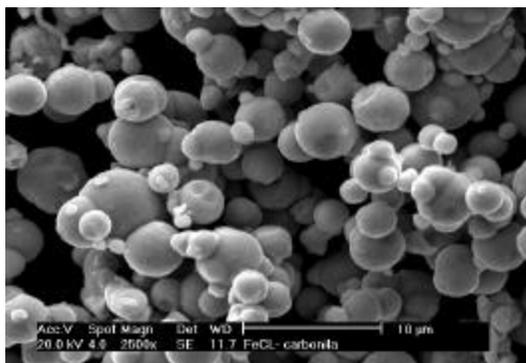


Figura 2. Pó de ferro BASF CL (MEV 2500x)

## 2.3 Especificação do sistema ligante

O sistema ligante especificado foi do tipo multicomponente. Os elementos escolhidos foram: polipropileno (polímero base), acetato de vinil etila - EVA (co-polímero) e parafina (cera). A escolha de um sistema ligante multicomponente implica, já nesta etapa, na especificação da forma como este será retirado na etapa de extração do ligante.

Neste caso específico, a extração do ligante será realizada em duas etapas, sendo a primeira através de extração em solvente químico para decomposição do elemento ligante de menor peso molecular (parafina) e, a segunda uma etapa de extração térmica, onde aqueles elementos do sistema ligante que apresentam um maior peso molecular (EVA e polipropileno) serão degradados termicamente.

### 2.3 Especificação do carregamento sólido

O carregamento sólido é a fração volumétrica de pó para ligante que deve ser colocado na mistura. É de suma importância que se especifique um carregamento sólido adequado, haja vista que deste fator irá depender toda a etapa de injeção.

Para a realização deste trabalho, o carregamento sólido foi especificado em 54,38% de pó metálico para 45,62% de ligante, em proporção volumétrica, o que corresponde a 91,50% de pó para 8,50% de ligante, em massa. A quantidade relativa de cada um dos elementos polipropileno, parafina e EVA dentro do sistema ligante está especificado na “Tabela 2”.

Tabela 2 – Composição do sistema ligante

Elemento	(%) em massa da mistura
Polipropileno	3,63
Parafina	3,47
Acetato de Vinil Etila	1,40
Total	8,50

### 2.4 Preparação da mistura

A mistura do pó metálico com os componentes do sistema ligante foi realizada em um misturador do tipo sigma com controle de temperatura, tempo e rotação das pás. A parafina foi previamente misturada ao pó de ferro por 60 minutos, a temperatura ambiente.

A temperatura para realização da mistura foi fixada em 160°C, por 30 minutos a uma rotação de 60rpm. O EVA e o polipropileno foram fundidos previamente no misturador, e em seguida foi acrescentada a mistura pó-parafina. Com o propósito de garantir a homogeneização da massa para injeção (feedstock) como um todo, a etapa de mistura foi repetida por mais duas vezes.

A parafina utilizada encontrava-se na forma de pó, enquanto que o polipropileno e o EVA na forma de pellets apropriados para o processo de injeção de polímeros.

### 2.5 Moldagem do componente

A moldagem dos componentes foi realizada em uma máquina injetora do tipo Arburg 320S, com força de fechamento de 50 toneladas e rosca simples.

Na “Fig. 3” estão apresentados os corpos de prova injetados, na sua condição a verde.

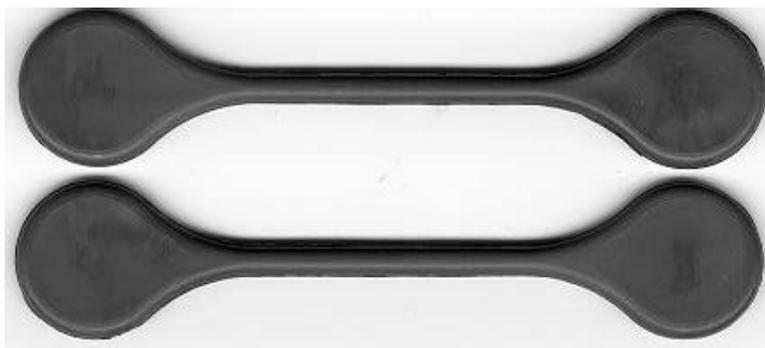


Figura 3. Corpo de prova injetado a verde

## 2.6. Remoção do ligante

A remoção dos elementos constituintes do sistema ligante foi realizada em duas etapas, sendo a primeira através de extração química e a segunda via extração térmica.

A remoção do ligante é uma das etapas mais críticas do processo de moldagem de pós por injeção. Nesta etapa, é necessário que se retire todo o ligante contido no componente, no menor espaço de tempo possível e sem comprometer a forma geométrica da peça.

Uma vez que durante a etapa de moldagem a carga de pó metálico não é submetida a nenhum tipo de esforço mecânico, a forma do componente é dada exclusivamente pelo ligante contido na massa (feedstock). Assim sendo, a remoção do ligante deve ser feita de forma a garantir que, após a sua extração, o componente conserve perfeitamente intacto a sua forma geométrica.

### 2.6.1 Extração química

A parafina contida no sistema ligante foi removida através de extração em solvente, utilizando-se como agente ativo o hexano.

Para acelerar a remoção da parafina, o hexano foi aquecido a 50°C e as peças foram submetidas a dois ciclos distintos de extração.

O primeiro ciclo consistiu na exposição dos componentes injetados ao vapor de hexano por 120 minutos, e em seguida as peças foram colocadas imersas no hexano aquecido por um período de 240 minutos.

Após a realização dos dois ciclos de extração, os componentes foram secados e pesados, onde constatou-se que toda parafina contida nos componentes tinha sido removida.

A utilização de dois ciclos durante a extração química se justifica da seguinte forma: o primeiro ciclo, ou seja, a exposição dos componentes ao vapor de hexano serve para iniciar a abertura dos poros de uma maneira mais amena. Dessa forma, quando os componentes são submetidos ao segundo ciclo, a extração se torna mais efetiva já que o solvente penetra mais rapidamente por todo o componente em virtude da rede de porosidade já existente, resultante do primeiro ciclo.

### 2.6.2 Extração térmica

A extração térmica foi realizada em um forno do tipo tubular, sob fluxo contínuo de hidrogênio. A taxa de aquecimento foi mantida abaixo de 3°C por minuto até se atingir a temperatura de 480°C, onde foi realizado um patamar por 180 minutos. Este patamar é extremamente necessário, uma vez que a faixa de evaporação do polipropileno e do EVA se encontra entre 450 e 500°C.

Em seguida, os componentes foram levados até a temperatura de 600°C, mantendo-se novamente a taxa de aquecimento abaixo de 3°C por minuto, onde estes foram pré-sinterizados por um período de 60 minutos.

Após o término da extração térmica, os componentes foram novamente pesados, onde ficou constatado experimentalmente uma perda total de ligante da ordem de 99,0%.

Análises de carbono realizadas em amostras de componentes pré-sinterizados utilizando-se este ciclo, revelaram um teor de carbono residual na faixa de 0,02%.

Na “Fig. 4” está apresentada a condição de um componente pré-sinterizado. Fica claro e evidente a formação de uma rede de poros, resultado da degradação de todos os elementos do sistema ligante. Um outro aspecto bastante interessante revelado por esta figura, é o aparecimento dos primeiros necks, responsáveis por assegurar a forma geométrica do componente.

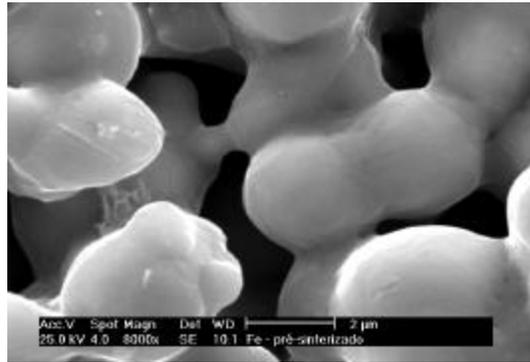


Figura 4. Componente pré-sinterizado (MEV 8000x)

## 2.7. Sinterização

A sinterização dos componentes foi realizada nas mesmas condições da extração térmica, ou seja, em forno tubular e sob fluxo constante de hidrogênio. O ciclo empregado para a sinterização está esquematizado na “Fig. 5”.

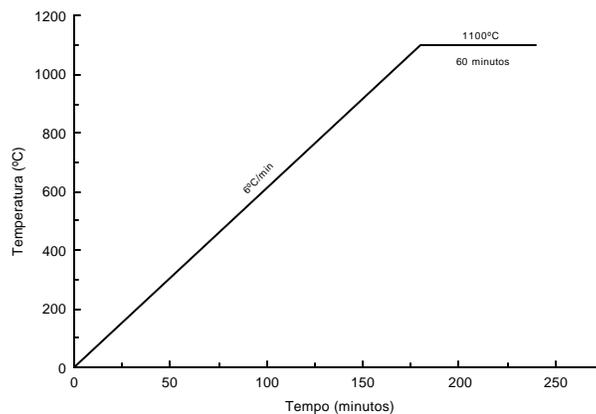


Figura 5. Ciclo de sinterização

Após a sinterização, os componentes foram medidos, e ficou constatada uma retração linear média da ordem de 10,42% em relação aos componentes injetados. Essa retração foi medida levando-se em consideração o comprimento e a espessura do corpo de prova. Essa retração pode ser percebida claramente na “Fig. 6”.



Figura 6. Corpos de prova injetado e sinterizado

### 3. DISCUSSÕES

Através do processo de moldagem de pós por injeção, é possível obter componentes sinterizados com elevadas propriedades mecânicas e com formas geométricas complexas.

O processo, no entanto, requer uma série de cuidados especiais, necessários para que se obtenha um componente com as condições pré-estabelecidas.

A correta especificação tanto do pó metálico como do sistema ligante é fundamental para o bom andamento do processo. O pó metálico a ser utilizado no processo MIM deve preencher uma série de pré-requisitos, tais como: pequeno tamanho de partícula (<20 $\mu$ m), morfologia da partícula quase esférica, ângulo de repouso maior do que 50° e uma partícula livre de vazios internos e poros.

Já o ligante, apesar de ser um agente provisório no processo, também tem uma importância fundamental. Entre as características que um bom ligante deve satisfazer, as mais importantes são as seguintes: não reagir com o pó, ter boa adesão ao pó, molhar adequadamente a superfície do pó para propiciar bom escoamento da massa a ser injetada (feedstock), reduzir a viscosidade da massa, propiciar boa rigidez ao componente a verde e ser facilmente removível durante a etapa de extração.

A mistura é outra etapa bastante importante dentro deste processo. Para a obtenção de componentes com as características desejadas, é imprescindível que se tenha uma mistura homogênea e consistente. Um carregamento sólido inadequado pode causar a segregação do pó com o ligante durante a moldagem, alterando a viscosidade da massa e, conseqüentemente, inviabilizando o processo como um todo.

A remoção do ligante apresenta-se dentro do processo como a etapa mais demorada. Procura-se nesta etapa, retirar todos os elementos constituintes do sistema ligante sem comprometer a forma geométrica do componente. A extração química deve ser muito bem controlada através dos seguintes parâmetros: tipo, quantidade e temperatura do solvente empregado. Já para a remoção térmica, é imprescindível que se tenha um perfeito controle sobre os seguintes parâmetros: taxa de aquecimento, temperatura e tempo de patamar, atmosfera do forno e temperatura de pré-sinterização.

A escolha pelo processo de moldagem de pós por injeção, no entanto, deve levar em consideração o volume de peças a ser produzido, como também a complexidade geométrica apresentada por esta peça, haja visto que este processo é mais adequado para componentes que apresentem, pelo menos estas duas características em conjunto.

#### *Agradecimentos*

Os autores agradecem ao Governo Brasileiro através da FINEP/CNPq/MCT que financiou esta pesquisa via projeto PRONEX (41960853-00)

#### **REFERÊNCIAS**

- Adamowicz, John., 1997, ARBURG, INC. Powder Injection Molding Design Possibilities. The International Journal of Powder Metallurgy, Volume 33, No. 6, pp.17-19.
- Bose, Animesh., 1995, The Technology and Commercial Status of Powder-Injection Molding. JOM, August, pp. 26-30.
- Bhave, Prashant., 1990, Metal Injection Molding Standards Review. The International Journal of Powder Metallurgy, Volume 26, No.3, American Powder Metallurgy Institute, pp. 277-280.
- German, Randall M., 1990, Powder Injection Molding. Metal Powder Industries Federation, Princeton, New Jersey, USA.

- German, R. M., 1993, Technological Barriers and Opportunities in Powder Injection Molding. Pmi, vol. 25, no. 4, pp.165-169.
- German, Randall M. and Cornwall, Robert G., 1997, Worldwide Market and Technology for Powder Injection Molding. The International Journal of Powder Metallurgy, Volume 33, No. 4, APMI International, pp. 23-27.
- Gummeson, P. U., 1989, The Metal Injection Molding Opportunity – A Critical View. The International Journal of Powder Metallurgy, Volume 25, No. 3, American Powder Metallurgy Institute, pp. 207-216.
- Miska, Kurt H., 1990, Merits of Metal Injection Molding. Manufacturing Engineering, July, pp. 87-89.

***Abstract.** Powder injection molding (PIM) is a new technique used to produce complex shape parts. The metal injection molding process is identical to conventional powder metallurgy, differing only in the shaping step. In metal injection molding process, powder is injected, similar to plastic injection. Thus, complex parts can be produced with mechanical characteristics of powder metallurgy parts. In this work the process of powder injection molding is described.*