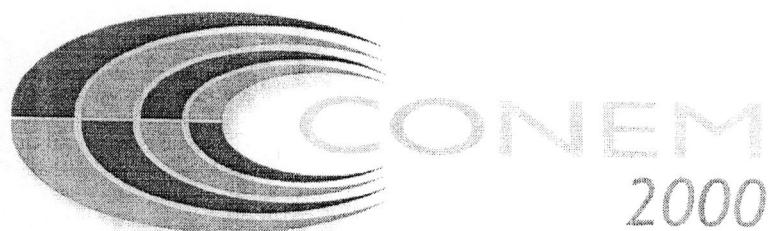


SEM



Congresso Nacional de Engenharia Mecânica

# Anais

Organização:



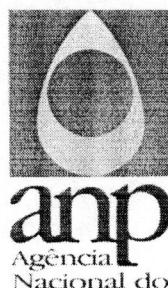
UFRN - Departamento  
de Engenharia Mecânica

Programa de Pós-graduação  
em Engenharia Mecânica

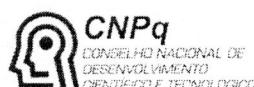
Promoção:



Apoio:



Coordenação de Aperfeiçoamento  
de Pessoal de Nível Superior



Fabricado por CD+, marca registrada da Nordeste Digital Line S/A - BR 222 km 04 - Caucaia - Ceará - CNPJ: 01.247.965/0001-46  
Inscrição Estadual: 06.265.123-4 - [www.dlmais.com.br](http://www.dlmais.com.br) - Central de Teleatendimento CD+: 0800 99 6262

# INJEÇÃO DE PÓS DE AÇO INOXIDÁVEL 316L À BAIXA PRESSÃO

Rogério Akihide Ikegami

I26c

Benedito de Moraes Purquerio

Laboratório de Tribologia e Novos Materiais, Departamento de Engenharia Mecânica  
LAMAFE-EESC-USP

Av. Dr. Carlos Botelho, 1465 - CEP 13560-250, São Carlos, SP, Brasil.

E-mail: [purquerio@sc.usp.br](mailto:purquerio@sc.usp.br)

## Resumo

A tecnologia da injeção de pós metálicos (IPM) está em constante desenvolvimento relativamente a alguns aspectos, particularmente às melhorias relacionadas com a retirada do veículo orgânico e a sinterização. Isto é devido à atual importância da competitividade tecnológica da IPM, facilidade de projeto das peças, a automação do processo e principalmente a possibilidade da conformação de peças de pequenas dimensões e formas complexas. Este trabalho apresenta os resultados de uma investigação da viabilidade de moldagem de massas de pós metálicos de aço inoxidável 316L através da injeção à baixa pressão, apresentando a metodologia relacionada com a preparação da massa injetável, a retirada do veículo orgânico e a sinterização.

**Palavras-chaves:** Injeção. Pós metálicos. Aço Inoxidável. Veículo orgânico, Sinterização.

## 1. INTRODUÇÃO

Existe uma grande variedade de métodos de produção de determinadas peças estruturais e de precisão. Entre as alternativas viáveis, incluem-se a usinagem, a estampagem, o forjamento, a fundição de areia e a fundição de precisão. Cada método possui as suas vantagens e desvantagens. A conformação de pós, metálicos ou não, é mais uma alternativa e se destaca como um método aplicável. É um processo bem conhecido que converte pós finos em produtos sólidos, particularmente utilizado para a manufatura de peças com formas complexas e tolerâncias fechadas, em grande escala, e com um custo relativo baixo.

É portanto, uma técnica usada para consolidar materiais particulados, sejam eles metais e/ou não metais, em formas discretas. Materiais compósitos complexos de fases metálicas e não metálicas também podem ser projetados e fabricados por esta técnica em quantidades cada vez maiores (White, 1995), a qual têm solucionado literalmente milhares de problemas de projeto. Algumas soluções, todavia, constituem simplificações de outros processos envolvendo um menor custo ou uma menor perda de material.

A conformação de pós constitui basicamente de duas técnicas: prensagem e injeção. Na prensagem, a conformação pode ser feita em prensas uniaxiais ou isotáticas. A injeção de pós, ou massas contendo pós, por outro lado, apresenta como característica principal a

1137726  
120404

SYSNO	1137726
PROD	003591
ACERVO EESC	

capacidade de se obter o produto muito próximo da forma final (*near net shape*), aliada à capacidade de moldagem de formas extremamente complexas com grande precisão dimensional. (Mangels et al., 1984; Mangels, 1994; Inoue et al., 1989). O processo básico da injeção de pós à baixa pressão está esquematizado na figura 1.

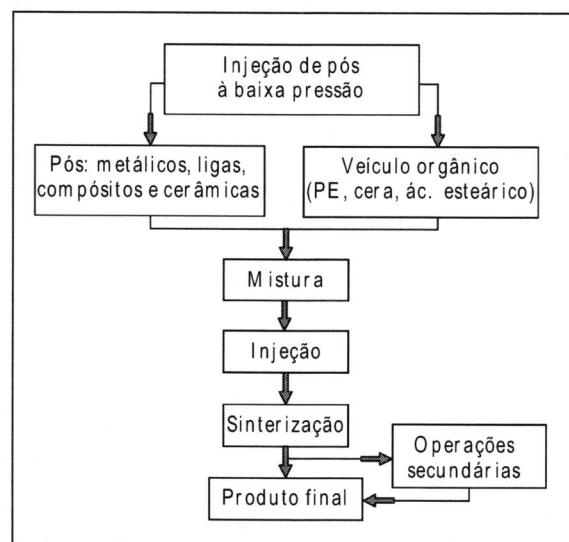


Figura 1 – Processo básico da MP

Dentro do contexto do processo de injeção, por sua vez, destaca-se a injeção de pós metálicos (IPM) que se constitui da combinação de duas técnicas de manufatura, ou seja, a moldagem por injeção de termoplásticos e a metalurgia do pó convencional.

Este trabalho tem como objetivo mostrar a viabilidade da injeção à baixa pressão (0,8 MPa), a retirada do veículo orgânico (VO) e a sinterização de componentes de aço inoxidável 316L injetados à baixa pressão, utilizando-se uma injetora projetada e construída para este fim, bem como o projeto de moldes, o estudo dos componentes e extração do VO e a sinterização dos produtos obtidos.

## 2. INJEÇÃO DE PÓS METÁLICOS (IPM)

De uma maneira geral, a Injeção de Pós Metálicos (IPM) pode ser entendida como uma técnica de conformação de pós que objetiva proporcionar aos materiais metálicos a mesma versatilidade, no que se refere à conformação, observada nos materiais termoplásticos produzidos por outros processos semelhantes. O principal aspecto da IPM é possibilitar a conformação de peças com formatos complexos valendo-se da alta produtividade inherente aos processos de injeção.

A IPM é hoje uma atraente técnica de conformação de componentes ou peças pequenas com parede fina e geometria complexa. O processamento por IPM envolve os seguintes aspectos: mistura do pó com o veículo orgânico (VO) polimérico; injeção da mistura, utilizando-se os mesmos equipamentos utilizados pela indústria de transformação de plásticos; extração do VO, que pode ser térmica e/ou química e sinterização (German, 1990).

Peças metálicas conformadas desta maneira têm maior densidade, propriedades mecânicas superiores e melhor acabamento superficial do que aquelas produzidas pelos métodos tradicionais da metalurgia do pó. Um dos grandes problemas da IPM é a necessidade de utilizar-se pós com características muito específicas, principalmente no caso

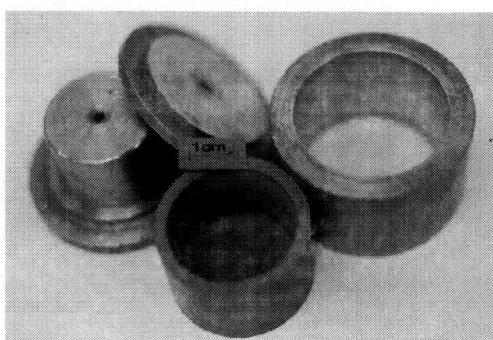
de pós metálicos, que devem ser finos ( $<20\mu\text{m}$ ) e arredondados, diferenciando-se bastante dos pós utilizados na MP convencional.

A IPM ocupa hoje um espaço na indústria onde podem ser combinados lotes médios de produção ou lotes grandes com peças de complexidade muito elevada. As rotas iniciais de entrada da IPM seriam os mercados de peças microfundidas e pequenos componentes da moldagem de pós (MP) convencional com operações secundárias como a de usinagem (Gonçalves e Purquerio, 1996).

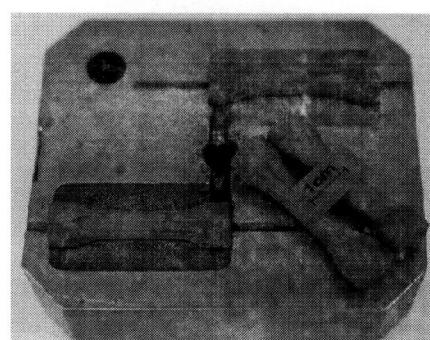
### 3. MÉTODOS E PROCESSOS

Na realização deste estudo foi utilizada a técnica de IPM à baixa pressão, onde foram injetadas peças na forma de corpos de prova e cadiinhos. A IPM à baixa pressão utiliza ar comprimido da ordem de 1,0 MPa, para o transporte da massa metálica para dentro da cavidade do molde. Com relação a IPM convencional, que utiliza unidades hidráulicas, pistões e fusos, o método ora utilizado tem a vantagem de dispensar esses componentes. As peças produzidas por esse método possuem como vantagens, um gradiente de pressão mais baixo, o desgaste do molde e o consumo de energia é menor, a não separação do VO com o pó na injeção, a não adesão da massa ao molde e principalmente a não contaminação da massa devido ao desgaste do pistão e/ou fuso, como ocorre nas injetoras convencionais.

A massa metálica de aço inox 316L utilizada neste trabalho foi composta de 65% de pó metálico e 35% de VO em volume. A seleção da composição do VO foi baseada em resultados de viscosidade da massa metálica e a melhor formulação apresentou as seguintes proporções: 94% de cera de carnaúba, 5% de polietileno e 1% de ácido esteárico, em peso. Inicialmente os componentes do VO foram colocados em um recipiente adequado e aquecidos em estufa até atingirem o estado pastoso. O pó metálico foi adicionado e misturado manualmente até se obter uma massa viscosa e assim, transferido para o recipiente da injetora de baixa pressão, mostrada na figura 3, previamente aquecida à temperatura de 100°C. Fechado o recipiente, as batedeiras e o vácuo foram ligados e o sistema de aquecimento ajustado para 150°C. Após 15 minutos de mistura, o vácuo foi fechado e injetaram-se as peças em moldes construídos para esse fim, conforme ilustra a figura 2.



a) Molde de cadiinho



b) Molde de corpo de prova

Figura 2 – Moldes utilizados para a injeção e peças injetadas

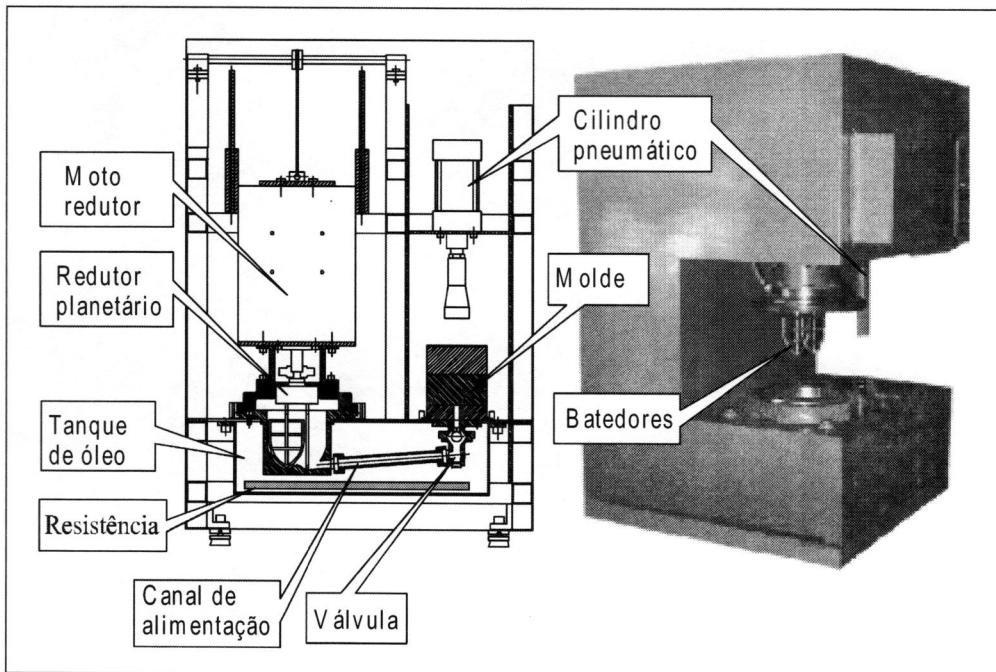


Figura 3 – Injetora de baixa pressão (Gonçalves e Purquerio, 1997)

#### Extração do VO e Sinterização

Após a fase de injeção realizou-se a extração do veículo orgânico. Esta fase, normalmente, é a que consome maior tempo no processo de injeção à baixa pressão (aproximadamente 60% do tempo total), pois grande quantidade de material orgânico necessita ser extraída sem a inclusão de defeitos na peça verde. O processo é delicado e para que a peça não se desagregue ou não sejam incorporados defeitos, este deve ser realizado de forma gradual e lenta, segundo Wrege (1994).

O VO precisa apresentar características que permitam que, com um alto carregamento metálico, realize-se a conformação da peça sem dificuldade e sem a introdução de defeitos; não deve dar origem a resíduos tóxicos ou corrosivos como resultado de sua decomposição; deve apresentar temperatura de decomposição acima da temperatura de conformação e deve apresentar composição na forma fracionada, ou seja, uma gama de componentes intersolúveis, com características distintas, para permitir que a extração se processe de forma progressiva. O primeiro componente a ser removido deve provocar a formação de poros no produto, para que os demais componentes possam ser extraídos sem a inclusão de defeitos. Os componentes remanescentes, por sua vez, devem reter a forma do produto através de forças de atração.

A extração do VO é a etapa mais crítica do processo e pode ser térmica e/ou química. No presente trabalho foi utilizado o processo térmico, pela facilidade e equipamentos disponíveis no laboratório. A extração do VO foi feito conforme a tabela 1, que mostra o ciclo de aquecimento utilizado neste trabalho.

Tabela 1 – Ciclo de aquecimento da extração do VO

A – Tempo total – 32 horas		B – Tempo total – 34 horas	
Temperatura [ °C]	Tempo [h]	Temperatura [ °C]	Tempo [h]
100	24	100	26
200	1	200	1
250	1	300	3
300	1	400	4
350	1		
400	4		

Segundo German (1990), durante a sinterização, os VO's remanescentes são extraídos das peças em "marrom" e a densificação é assim completada; a sinterização é feita sob temperatura e atmosfera controlada, em forno, na temperatura de até 1200 °C e operações secundárias, tratamento térmico e recobrimento são efetuados quando necessários.

Neste trabalho, a extração do VO e sinterização foram feitos num forno à vácuo. A figura 5 ilustra a taxa de aquecimento adotado neste experimento.

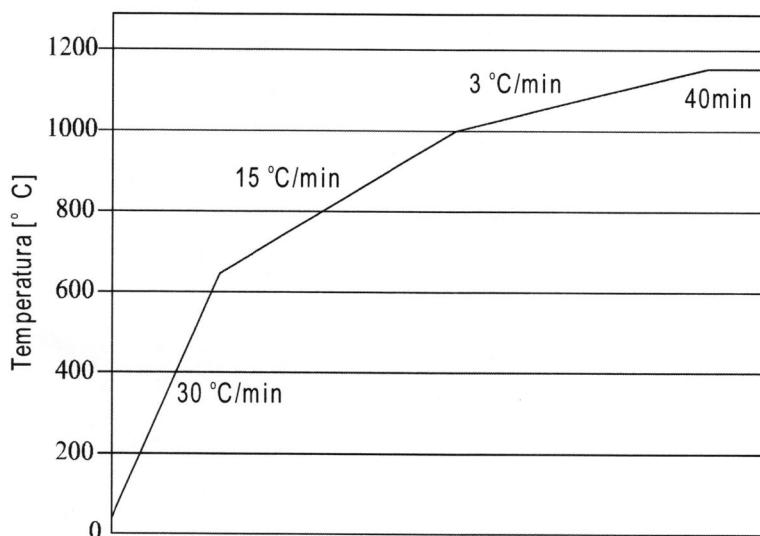


Figura 5 – Taxa de aquecimento

#### 4. RESULTADOS OBTIDOS

As peças à verde, obtidas na injeção à baixa pressão, apresentaram um aspecto satisfatório. Algumas das peças apresentaram defeitos de preenchimento devido ao aquecimento insuficiente dos moldes e também pelo posicionamento do canal de alimentação. Em algumas peças apareceram bolhas internas causadas pela quebra da válvula de retenção do vácuo, os quais foram diagnosticados somente após a extração do VO e a quebra de algumas das peças injetadas. Verificou-se ser necessário absoluto cuidado na abertura do molde, no tempo certo, para que as peças adquirissem resistência suficiente com o resfriamento e que não ocorressem quebras ou trincas durante essa etapa de retirada da peça do molde que normalmente induz o acúmulo de tensões nas peças.

A extração do VO e a sinterização no vácuo, mostraram um resultado satisfatório, conforme ilustram as figuras. 6 e 7. Em ambas as figuras, as peças encontram-se na seguinte sequencia: injetada, com o VO extraído e sinterizada, respectivamente.

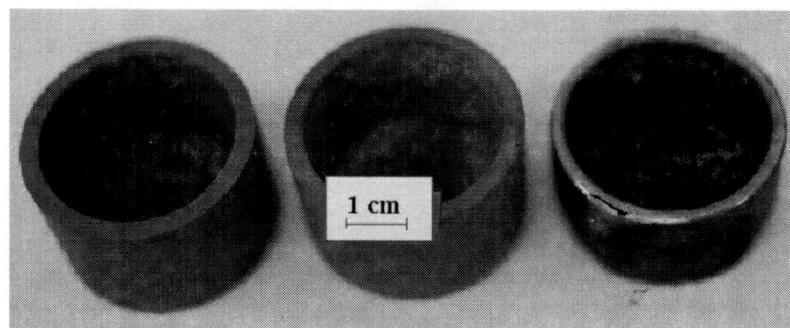


Figura 6 – Peças obtidas através da injeção à baixa pressão.

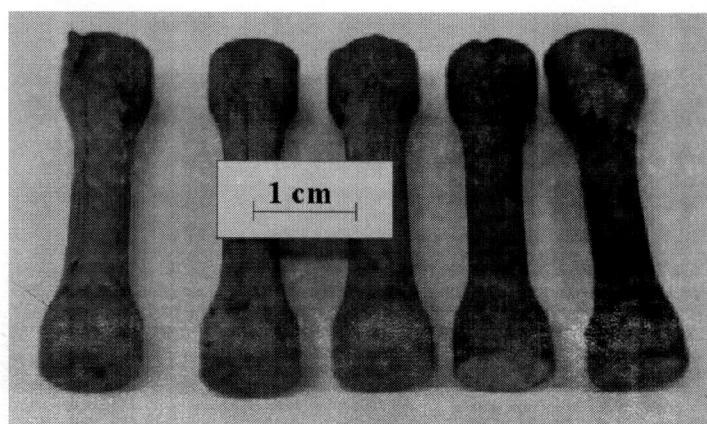


Figura 7 – Corpos de prova obtidos através da injeção à baixa pressão.

## 5. CONCLUSÕES

A metodologia apresentada, relativa a injeção à baixa pressão, extração de VO e sinterização, apresentou resultados que necessitam de mais estudos referentes ao projeto dos moldes, principalmente com relação à posição dos canais de alimentação. A automatização da abertura dos moldes, logo após a injeção, seria uma solução viável para eliminar a possibilidade de quebra das peças durante esta etapa.

Na sinterização a taxa de aquecimento e o tempo de exposição influem nas características mecânicas e físicas dos componentes, segundo Cai e German, 1998. Em função disso, experimentos com taxas de aquecimento e tempo de exposição devem ser realizados para se obter peças com resultados satisfatórios em termos de propriedades físicas e mecânicas, assim como a viabilidade da utilização do vácuo como ambiente de sinterização para aços inoxidáveis.

Nos testes de injeção efetuados, verificou-se que o projeto do molde tem grande influência na qualidade final da peça injetada. A posição do canal de alimentação é de

fundamental importância, como se comprovou, relativamente a retenção de ar durante a injeção. A geometria da peça também influí no contexto projeto do molde e retirada da peça do molde. A extração do VO da peça não apresentou grandes problemas, contrariamente à sinterização, que foi a etapa mais crítica de todo o processo.

## REFERÊNCIAS

- Cai, L.; German, R. M. 1998. Powder injection molding using water-atomized 316l stainless steel. "The International Journal of Powder Metallurgy", v.31, n.3.
- German, R. M. 1990. Powder injection moulding. Metals Powder Industries Federation, Princeton, New Jersey.
- Gonçalves, A. C.; Purquerio, B. M. 1996. Injeção de pós metálicos. "Metalurgia & Materiais", v.52, n.449, p30-37.
- Inoue, M. ; Kihara, Y. ; Arakida, Y. 1989. Injection moulding machine for high performance ceramics, In: "Terceram 2. Journal Ceramic Review", v.2, p. 53-57.
- Mangels, J. A. 1994. Low-Pressure injection moulding. "Ceramic Bulletin. American Ceramic Society", v.73, n.5, May.
- Mangels, J. A.; Trella, W. 1984. Ceramic componentes by injection moulding. In: Mangels, "J.A. Advances in Ceramics" v.9 Forming of Ceramics, USA, p. 220-233.
- White, D. G. Powder metallurgy in 1995. "Advanced Materials & Process", v.8, p. 49-51, Aug.
- Wrege, P. A. S. 1994. "Projeto de moldes para injeção de massa cerâmicas à baixa pressão". São Carlos. 126p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.