

MOLDAGEM POR INJEÇÃO A BAIXA PRESSÃO DE PÓ DE AÇO RÁPIDO

Liberati, J.F.*; Araujo Filho, O.O.**; Silva, L.C.E. **; F. Ambrozio Filho**

*jfliber@ipen.br

** CCTM - IPEN, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Av. Lineu Prestes, 2242, Cidade Universitária, CEP 05508-000 São Paulo, Brazil

RESUMO

A moldagem de pós por injeção (MPI) é um processo que vem ganhando força e destaque no mundo na fabricação de peças de pequenas dimensões e de formas complexas em substituição a fundição sob pressão e a sinterização convencional. Esta técnica oferece uma redução de custos da ordem de 90% em relação a usinagem CNC para a fabricação de peças a partir de barras. O processo normalmente consiste em misturar os pós atomizados a gás, com granulometria inferior a 20 μ m, e o ligante termoplástico, injetar no molde com a forma desejada, extrair o ligante, sinterizar e fazer operações secundárias opcionais como por exemplo as de usinagem. O material termoplástico é utilizado para facilitar a conformação do pó no molde.

Neste trabalho a moldagem de pó por injeção a baixa pressão foi utilizada para se obter peças de aço rápido AISI T15. Utilizou-se como ligante várias combinações de: cera de parafina, cera de polietileno de baixa densidade e ácido esteárico. Os pós-metálicos foram caracterizados em termos de morfologia, distribuição de tamanho de partícula de partícula. A mistura foi injetada na forma de amostras de barras de seção quadrada para avaliar o desempenho do processo de injeção no estado verde e após a sinterização. As amostras foram injetadas em 0,4, 0,5 e 0,7MPa de pressão e em temperaturas variando de 110 a 150°C para a otimização do processo. Os resultados da variação de pressão de injeção foram avaliados por meio de medidas da densidade a verde. A retirada do ligante se deu em duas etapas, extração por solvente e extração termicamente em baixo vácuo com a assistência de pós de alumina. As etapas de extração térmicas e de sinterização foram executadas conjuntamente. Este procedimento encurtou consideravelmente os tempos de extração e de sinterização.

Palavras-Chave: *Moldagem de pó por injeção, Aço Rápido AISI T15, extração por solvente*

INTRODUÇÃO

A moldagem de pó por injeção esta cada vez mais sendo aceita como um processo apropriado e de custo competitivo para a produção de grandes volumes de peças pequenas, complexas e de alto desempenho. A técnica envolve a homogeneização do pó com um sistema de ligantes, a injeção dentro de um molde, a remoção do ligante e então a sinterização para a consolidação da peça até sua densidade final [German, 1990]. O controle de cada uma das etapas deste processo e a seleção apropriada dos materiais iniciais, o pó metálico e o ligante, são fatores importantes para o sucesso total do processo.

O ligante fornece o pó com a fluidez necessária para a moldagem. Ele também influencia bastante na o máximo fração de sólido da mistura que pode ser moldado, a resistência a verde das peças moldada e nas propriedades do produto final após a extração do ligante [German et al., 1997].

O processo pode ser dividido em alta pressão, i.e., acima de 0,7MPa e baixa pressão. O método a alta pressão tem a vantagem de produção de peças maiores e a desvantagem do alto custo das matrizes. Na moldagem a baixa pressão a obtenção de peças com mais de 10 cm pode ser crítico vai

dependem da geometria e da massa da peça. As principais vantagens do processo à baixa pressão são o custo menor das matrizes e do próprio equipamento. O processo de moldagem por injeção permite o uso de pós-metálicos, cerâmicos, compósitos e de biomateriais para a produção das peças [Mangels, 1994; Holme, 1993].

Este trabalho apresenta os resultados de uma investigação executada para analisar a moldagem por injeção a baixa pressão do pó de aço rápido AISI T15 produzido pela Osprey Co. Para isso foram realizados estudos a respeito das características do pó metálico, do sistema pó/ligante, dos parâmetros de injeção e das etapas de extração dos ligantes.

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O pó utilizado neste estudo era de um aço rápido AISI T15 atomizados a gás com 80% das partículas inferiores a 22 μm , fornecido pela Osprey Metals Ltd, Neath, UK. As partículas de pó eram esféricas na forma como mostra a Fig.1. A composição Quebec do pó experimental em peso por cento era: Fe - 1,55C - 4,5Cr - 4,75V - 12,5W - 5,0Co - 0,3Si - 0,4Mn, e sua distribuição de tamanho de partícula é dada na Tabela 1.



Fig.1 Pó de aço Rápido T15 como observado no MEV

O pó metálico foi misturado com um ligante termoplástico composto por cera de polietileno (PE, 60%), cera de parafina (PW, 35%) e ácido esteárico. A cera de polietileno foi utilizada para conferir resistência a verde e para evitar o colapso da amostra durante a transição entre a extração do ligante e a sinterização. A cera de parafina reduz a viscosidade do sistema metal-polímero e corrige o comportamento reológico durante a injeção. O ácido esteárico é responsável pela molhabilidade das partículas e atua

como agente desmoldante. A Tabela 2 apresenta os dados de densidade e viscosidade dos componentes do Ligante.

Tabela 1 Distribuição de tamanho de partícula do pó de aço rápido T15, dados do fabricante.

Medidas por Malvern laser.								
Tamanho de partícula, μm	<25,5	<23,1	<21	<15,6	<10,5	<5,27	>38	<38
Fração, %	90,6	86,5	81,0	58,5	30,2	7,3	1,2	bal.

Tabela 2. Algumas propriedades físicas dos componentes utilizados no Ligante.

Material	Densidade (g/cm^3)	Ponto de Fusão ($^{\circ}\text{C}$)	Viscosidade (Pa.s), na Temp de ref.	Temp. Ref. ($^{\circ}\text{C}$)
Cera Polietileno	0,91	114	0,79	130
Cera de Parafina	0,78	61,9	0,009	110
Ácido Esteárico	0,85	65 - 68	-	-

O carregamento crítico foi determinado a partir de uma dada massa de ligante, cuja composição era conhecida, através de sucessivas adições do pó de aço rápido T15 seguido pela determinação da densidade. Este procedimento foi repetido até o momento em que a densidade experimental apresentou um valor inferior ao da densidade prevista, teoricamente, para aquela fração de pó metálico.

A composição Pó-Ligante assim produzida foi submetida a diversos testes de injeção numa máquina Peltsman modelo MIGL-28, até que os parâmetros ótimos de temperatura, pressão e tempo fossem determinados, e então usados na produção das peças verdes.

As peças verdes foram submetidas a uma etapa de extração por solvente onde cerca de dois terços do volume de ligante foi removido. As peças foram imersas em heptano por 4 h a 50°C . Posteriormente as peças foram secas a 40°C por 1 h para a evaporação do solvente dos poros. As peças, após a extração por solvente, foram submetidas a uma extração térmica, com o auxílio de um leito de alumina fina, num forno tubular e vácuo de 10^{-1}Torr onde todos os ligantes orgânicos foram completamente removidos por capilaridade. O ciclo consistiu de uma taxa de aquecimento de $3\text{-}15^{\circ}\text{C}$ até 440°C e patamar por 2 h. A sinterização do pó de aço rápido T15 foi realizada a vácuo numa temperatura de 1270°C .

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A composição da mistura pó/ligante foi obtida pela determinação do carregamento crítico, ϕ_{CR} , cuja curva é apresentada na Fig. 2.

A curva na Fig. 2 indica que para valores superiores a 63% em volume de pó de aço rápido, a densidade da mistura pó/ligante é menor do que a densidade prevista teoricamente, indicando assim que o carregamento crítico para este sistema de ligante foi atingido. A composição em massa da mistura pó/ligante sendo então 94,28% de aço rápido AISI T15, 3,43% de cera de polietileno, 2,00% de cera de parafina e 0,29% de ácido esteárico.

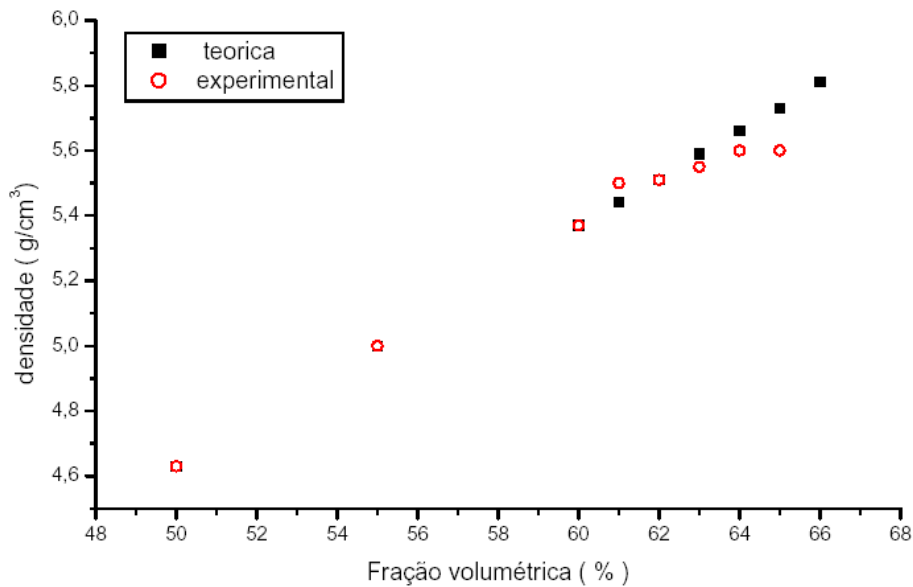


Fig. 2 Curva de determinação do carregamento crítico do pó de aço rápido AISI T15 para o sistema de ligante utilizado neste estudo.

Na Fig.3 tem-se o gráfico da variação da viscosidade em função da taxa de cisalhamento, pode se observar um comportamento pseudoplástico, ou seja, uma diminuição da viscosidade com a taxa de cisalhamento, o que é favorável para o processo de injeção [German, 1990; Thummler, 1993], este comportamento se manteve por longo tempo.

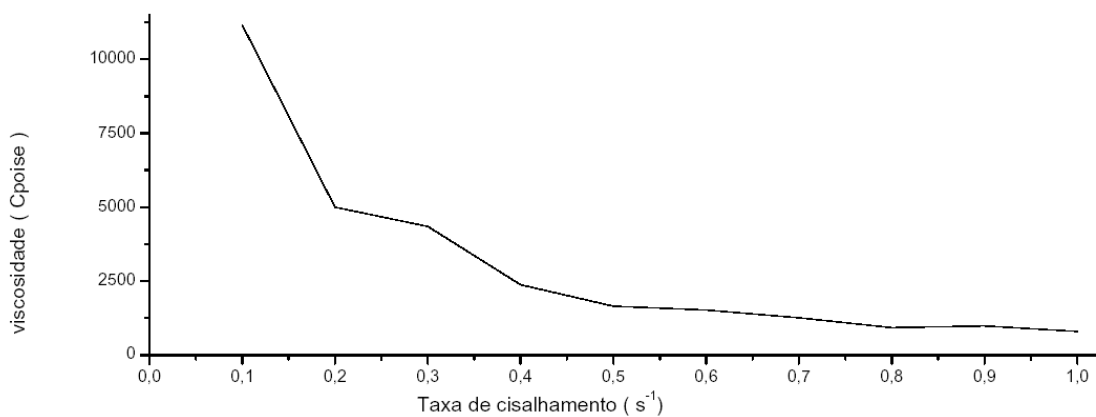


Fig. 3. Comportamento Reológico da mistura pó metálico/ligante.

Após vários testes variando-se a pressão e temperatura de injeção determinou-se que este sistema pó metálico/ligante era mais facilmente moldado numa temperatura de 120°C e 0,7MPa. Todas as peças moldadas estavam livres de defeitos tais como: preenchimento incompleto, separação do ligante e trincas na superfície. Pode-se observar na Fig 4 peças com problemas de preenchimento devido a temperatura muito alta ou a tempos muito curtos de injeção.

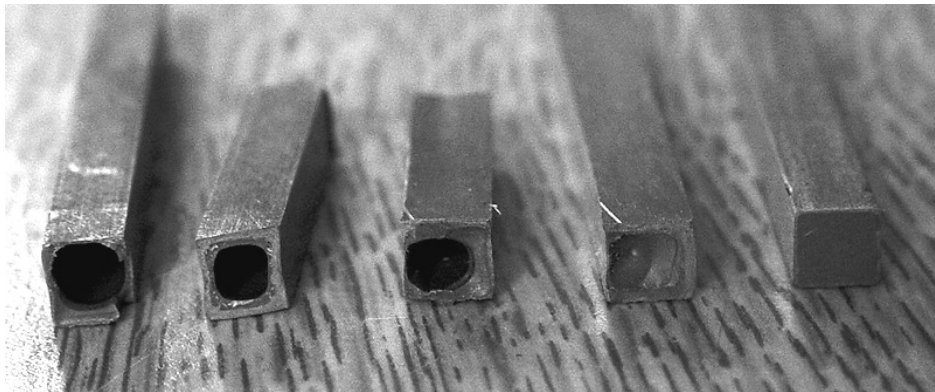


Fig. 4. Preenchimento irregular das peças devido a temperatura muito alta de injeção.

Na Fig.5 tem-se uma micrografia obtida por microscopia eletrônica de varredura (MEV) da superfície de fratura de uma peça moldada. Pode-se observar que o ligante preenche praticamente todos os espaços entre as partículas de pó metálico formando um esqueleto aparentemente contínuo.

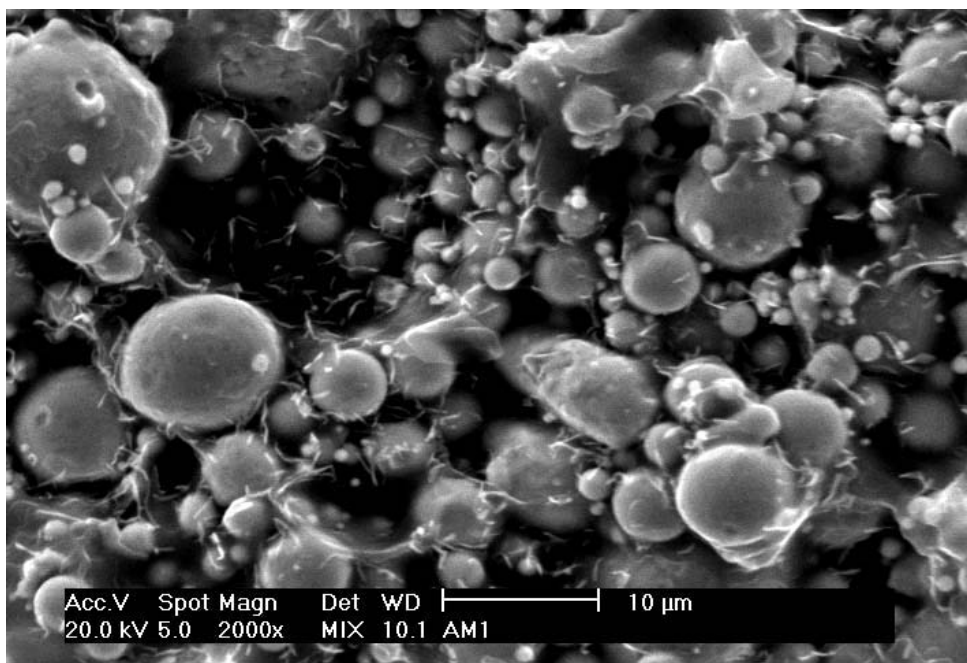


Fig. 5. Micrografia eletrônica de varredura da superfície de fratura de uma peça moldada mostrando a distribuição contínua do ligante PW/PE/AS.

A distribuição do ligante e a evolução da porosidade interconectada em função do tempo de duração da extração por solvente para várias temperaturas em Heptano foram observadas usando microscopia eletrônica de varredura (MEV) e cálculo da perda de massa. Diferentes áreas da peça moldada foram examinadas, incluindo as regiões externas e central da superfície de fratura a fim de monitorar o progresso do processo.

A cera de parafina começou a dissolver-se no heptano e começaram a se formar canais finos de poros. Com o aumento do tempo a perda de peso da cera de parafina aumentou e os canais de poros se alargaram. Após 4 hs, quase toda a cera de parafina tinha sido removida. Uma rede de polietileno permaneceu, mantendo unidas e seguras as partículas de aço, fornecendo uma resistência suficiente para manipulação.

Após 4 hs de imersão começou a ocorrer trincamento nas peças moldadas provavelmente devido à lenta difusão da cera para dentro do heptano o que acarreta inchamento e tensões internas.

CONCLUSÕES

O processo de extração por solvente rapidamente retira a cera de parafina das peças moldadas. A formação de canais de poros abertos permite a rápida remoção do ligante remanescente, a cera de polietileno, sem a ocorrência de inchamento, trincamento ou aparecimento de bolhas durante a etapa de extração térmica. Uma rede de ligações de polietileno segura e mantém unidas às partículas de pó metálico antes da extração térmica.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Centro de Ciência e Tecnologia de Materiais do Ipen pelo uso de suas instalações e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq pela bolsa de estudo de J.F.L. e O.O.A.F.

REFERENCIAS

1. German, R.M. **Powder Injection Moulding**. Metals Powder Industries Federation, Princeton, New Jersey, 1990.
2. Thummler, F.; Oberacker, R. **An Introduction to Powder Metallurgy**. The Institute of Materials, London, p.144. 1993.
3. Holme, J.D. Powder injection moulding: still waiting in the wings. **Materials World**, p. 552-554, October, 1993.
4. Mangels, J. A. Low-pressure injection molding. **American Ceramic Society Bulletin**, v.73, n. 5, p. 37-41, may,1994.
5. German, R.M.; Bose, A. **Injection Moulding of Metals and Ceramics**. Metals Powder Industries Federation, Princeton, New Jersey, 1997.

LOW PRESSURE POWDER INJECTION MOULDING OF HIGH SPEED STEEL POWDERS

ABSTRACT

Low-pressure powder injection moulding was used to obtain AISI T15 high speed steel parts. The binders used were based on paraffin wax, low density polyethylene and stearic acid. The metals powder were characterised in terms of morphology, particle size distribution. The mixture was injected in shape of square bar specimens to evaluate the performance of the injection in the green state, and after sintering. The samples were injected in 0.4, 0.5 and pressure 0.7 MPa and in temperatures varying from 110 to 150°C to the optimization of the process. The results of the variation of injection pressure were appraised through measures of the density to green. Debinding was carried out in two steps; first, the moulded part is immersed in heptane to remove the major component of the binder and then heated to remove the remaining binder. Second step debinding and sintering were performed in a single step. This procedure shortened considerably the debinding and sintering time.

Keywords: Powder injection molding; AISI T15 High Speed Steel; Solvente extraction.