

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS PROCESSOS DE COMPACTAÇÃO DE PÓ EM MATRIZ E MOLDAGEM DE PÓS POR INJEÇÃO

Severino Cesarino da Nóbrega Neto (1)(2)

Aloísio Nelmo Klein (2)

Paulo Antonio Pereira Wendhausen (2)

Víctor Bruno Canever (2)

Cristiano Binder (2)

(1) Centro Federal de Educação Tecnológica da Paraíba, Coordenação de Mecânica.

(2) Universidade Federal de Santa Catarina, Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Laboratório de Materiais, 88040-900, CP 476, Florianópolis, SC, Brasil. E-mail: cesarino@pg.materiais.ufsc.br

Resumo

O processo de metalurgia do pó através de compactação em matriz é, dentre as mais diversas técnicas de consolidação de pós metálicos, a mais utilizada industrialmente. Nos últimos anos, uma técnica alternativa para a obtenção de componentes fabricados a partir do pó, tem despertado bastante interesse. Trata-se da moldagem de pós por injeção, que é na verdade, uma combinação do processo de injeção de polímeros com a metalurgia do pó. Neste trabalho, foi feita uma avaliação dos processos de compactação em matriz e moldagem de pós por injeção, levando-se em consideração aspectos como matéria prima, etapas do processo e densidade final dos componentes fabricados. Para tanto, foi realizado um estudo da sinterabilidade dos componentes compactados e injetados, bem como uma análise da porosidade residual em cada componente. A liga escolhida foi Fe-P e as temperaturas de sinterização utilizadas foram 1000°C e 1100°C.

Palavras-chave: Compactação em matriz, Moldagem por injeção, Sinterabilidade, Densidade

1. INTRODUÇÃO

A compactação de pó em matriz é um processo de fabricação industrialmente consolidado e reconhecido como de extrema importância no contexto industrial atual, como resalta White (1999). Em muitos casos, o termo metalurgia do pó é utilizado como sinônimo para compactação de pó em matriz. De acordo com Thümmeler e Oberacker (1993), as etapas envolvidas na compactação em matriz são: obtenção dos pós, mistura dos pós com lubrificante, compactação da peça e sinterização. Tradicionalmente, os pós empregados na compactação em matriz encontram-

se na faixa de 20 a 250 μ m e, quando submetidos ao esforço de compactação, sofrem uma deformação plástica que é diretamente responsável pela densificação dos componentes.

O processo de moldagem de pós por injeção segundo Miska (1990) caracteriza-se entre outros fatores, pela maneira como é dada a forma ao componente (*shaping*). As etapas básicas do processo são: obtenção dos pós, mistura dos pós com ligante, preparação da massa para injeção (*feedstock*), moldagem do componente, remoção do ligante (*debinding*) e sinterização. Ao contrário da compactação em matriz, praticamente toda densificação do componente se dá na etapa de sinterização. Desta forma, o pó para utilização nesta técnica deve apresentar um formato quase esférico e um tamanho de partícula abaixo de 20 μ m, como ressalta German (1990).

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Para a realização do trabalho, foram preparadas amostras da liga Fe-0,4P para compactação e injeção. O sistema Fe-P é bastante conhecido e tem como particularidades um ponto eutético a temperatura de 1049°C, e a formação de uma fase estável na composição de 15,6% de P (% em peso), a qual foi identificada como sendo Fe₃P.

O fósforo é reconhecido como sendo um potente endurecedor do ferro, aumentando vertiginosamente a sua resistência e a sua dureza. Por outro lado, em teores acima de 0,6% (em peso), a introdução do fósforo no ferro se mostra indesejável pois, apesar de contribuir diretamente para um aumento nos valores das propriedades mencionadas anteriormente, causa um decréscimo acentuado na ductilidade do material, como também uma forte influência sobre as tolerâncias dimensionais dos componentes.

Na metalurgia do pó tradicional, ou seja, na compactação em matriz, o fósforo é bastante empregado na forma de Fe₃P para auxiliar no processo de sinterização. Quando se empregam temperaturas de sinterização acima de 1049°C, uma fase líquida aparece resultante da fusão do Fe₃P. Esta fase líquida influencia diretamente nos mecanismos de difusão, aumentando consideravelmente a capacidade de densificação.

Já para os componentes produzidos através da moldagem por injeção, a introdução do fósforo ao ferro desponta como um novo campo. A questão de se utilizar um agente ativador para o processo de sinterização requer estudos mais detalhados, uma vez que, normalmente, as peças produzidas por esta via tem tolerâncias bastante estreitas, o que faz com que se torne difícil o controle dimensional dos componentes.

2.1 Compactação em matriz

O pó de ferro utilizado para a preparação das amostras a serem compactadas foi o HD 177 e o fósforo foi introduzido na liga, à partir de um portador do tipo Fe₃P. Os dois pós foram produzidos pela BELGO BRASILEIRA. O pó de ferro apresentava tamanho médio de partícula de 100 μ m, enquanto que o pó de Fe₃P encontrava-se na faixa de 15 μ m.

Para a realização da mistura, foi adicionado um lubrificante a base de estearato de zinco a massa de pó metálico, com o objetivo de reduzir o desgaste da matriz e auxiliar na retirada do componente após a compactação. A massa de pó foi misturada em um misturador Y por um período de 60 minutos.

A matriz utilizada na compactação foi do tipo cilíndrica e a tensão empregada foi de 550 MPa.

A remoção do lubrificante foi efetuada durante o início do ciclo de sinterização, com um patamar sendo executado a 450°C por um período de 30 minutos. Para a sinterização, utilizou-se uma taxa de aquecimento de 20°C/min em fluxo de hidrogênio constante. As amostras foram sinterizadas em duas temperaturas diferentes, sendo a primeira em 1000°C e a segunda em 1100°C. O tempo de permanência a temperatura final de sinterização para todas as amostras foi de 30 minutos.

2.2 Moldagem por injeção

Para a preparação das amostras a serem injetadas, o pó de ferro utilizado foi o BASF CL carbonila, com tamanho médio de partícula de 6µm. O portador de liga Fe₃P foi idêntico aquele utilizado na compactação. O sistema de ligante empregado foi do tipo multicomponente, sendo constituído por polipropileno, parafina e acetato de vinil etila (EVA).

A mistura do pó metálico com o sistema ligante foi realizado em um misturador do tipo sigma, com controle de tempo, temperatura e torque. Para uma maior homogeneização da mistura, a massa de pó metálico foi previamente misturada por 30 minutos em um misturador do tipo Y, e a mistura do pó com os elementos do sistema ligante foi feita em três bateladas separadas. Para todas as bateladas, a temperatura empregada foi de 160°C, enquanto que o torque foi mantido a 60 rpm e o tempo em 25 minutos.

As amostras foram injetadas em uma máquina Arburg 320S, com força de fechamento de 50 toneladas. A pressão de injeção utilizada para todas as amostras foi de 900 bar.

A remoção do sistema ligante foi realizada em duas etapas distintas, sendo a primeira feita através de processamento químico e a segunda através de processamento térmico.

Para a remoção química do ligante foi utilizado como solvente hexano aquecido a 50°C. As amostras foram expostas primeiramente ao vapor de hexano por 2 horas e em seguida foram imersas no hexano aquecido por 4 horas. Ao final da etapa de remoção química, toda a parafina contida no sistema ligante tinha evaporado.

Após a etapa de remoção química, as amostras foram submetidas a remoção térmica, para a retirada do polipropileno e do EVA. O forno utilizado foi do tipo tubular e a taxa de aquecimento foi de 5°C/min, até atingir-se a temperatura de 450°C, onde foi executado um patamar por 60 minutos. No mesmo ciclo de remoção térmica, foi realizada a pré-sinterização das amostras, usando-se para tanto uma temperatura de 850°C por 15 minutos. Todo o ciclo de remoção térmica e pré-sinterização foi realizado na presença de um fluxo constante de hidrogênio.

A sinterização dos componentes injetados foi realizada exatamente nas mesmas condições empregadas para a sinterização dos componentes compactados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Dilatometria

Os ensaios dilatométricos foram realizados em um dilatômetro do tipo BP RB 2000. As condições para a realização dos ensaios foram as mesmas tanto para os componentes compactados como para aqueles injetados. A temperatura máxima foi de 1100°C e a taxa de aquecimento empregada foi de 10°C/min. Os ensaios foram realizados sob um fluxo constante de hidrogênio. As figuras 1 e 2 apresentam os resultados dos ensaios dilatométricos.

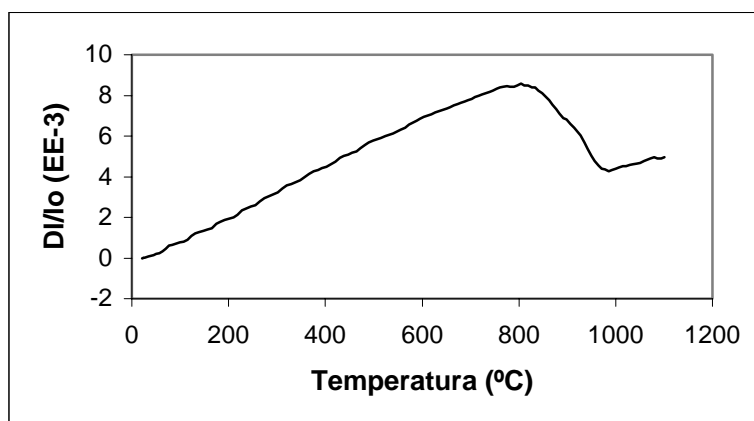


Figura 1. Análise dilatométrica para a liga Fe-0,4P compactada

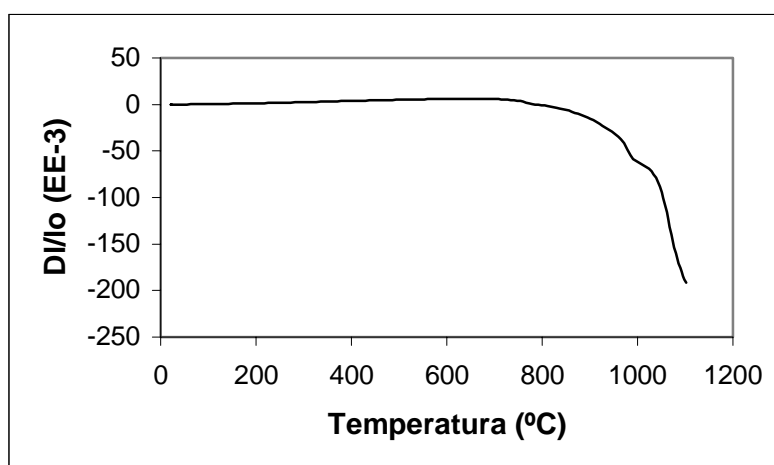


Figura 2. Análise dilatométrica para a liga Fe-0,4P injetada

Como podemos perceber através das figuras 1 e 2, o comportamento dilatométrico para a amostra compactada é completamente diferente daquele apresentado pela amostra injetada. Nestas figuras, Dl/lo representa a retração linear para cada amostra.

Para os componentes compactados, a amostra começa a retrair por volta de 800°C e prossegue até atingir a temperatura de transformação $\alpha \rightarrow \gamma$ (910°C). Após a transformação, ou seja, no campo de γ , a amostra não apresenta mais nenhum tipo de retração até 1100°C. Um outro aspecto que se pode perceber é que a retração total é muito pequena quando comparada com aquela apresentada pela amostra injetada.

Para as amostras injetadas a retração começa por volta de 670°C e, mesmo ao se atingir a temperatura de transformação $\alpha \rightarrow \gamma$, o comportamento dilatométrico da amostra não é alterado, como podemos ver na figura 2.

Durante a sinterização dos componentes injetados, toda a porosidade residual deixada pelo processo de remoção de ligante tende a ser eliminada. Desta forma, as dimensões finais dos componentes retraem consideravelmente, sendo uma função diretamente proporcional da quantidade de ligante utilizado no processo.

O controle dimensional dos componentes, é um dos pontos críticos do processo de moldagem de pós por injeção.

3.2 Densidade

A densidade das amostras foi calculada geometricamente e, para efeito de comparação foi também medida através do método de arquimedes. A tabela 1 apresenta os resultados.

Tabela 1. Densidade das amostras

Amostra	Condição	Temperatura de Sinterização (°C)	Densidade Geométrica (g/cm ³)	Densidade por Arquimedes (g/cm ³)
1C - Fe-0,4P	Compactada	1000	7,02	6,73
2C - Fe-0,4P	Compactada	1100	7,03	6,89
1I - Fe-0,4P	Injetada	1000	5,70	5,77
2I - Fe-0,4P	Injetada	1100	6,60	6,79

Para as amostras compactadas, os valores de densidade, independentemente da temperatura de sinterização foram muito próximos, seja pelo método geométrico ou por arquimedes. Apesar da amostra 2C ter sido sinterizada na presença de fase líquida, a densidade final da amostra foi praticamente idêntica aquela da amostra 1C, onde a sinterização se processou em uma temperatura abaixo daquela que propiciasse o aparecimento da fase líquida.

Fica evidente para as amostras compactadas, que o principal fator responsável na densificação foi a tensão de compactação, e não a temperatura de sinterização.

Já para as amostras injetadas, houve um ganho significativo em relação a densidade final quando a temperatura de sinterização empregada foi de 1100°C, ou seja, quando a sinterização se processou na presença de fase líquida.

Desta forma fica claro que, para o processo de moldagem de pós por injeção, a condição de sinterização é um fator diretamente proporcional para a densidade final dos componentes.

4. CONCLUSÕES

Com base nos resultados alcançados podemos concluir que, no processo de compactação de pó em matriz a densidade final dos componentes é determinada primordialmente pela tensão de compactação empregada na massa de pó, enquanto que no processo de moldagem de pós por injeção, a densidade final dos componentes está diretamente associada com a temperatura de sinterização empregada no processo.

Fica bastante claro quando se compara os resultados das análises dilatométricas realizadas com as amostras compactadas com aquelas injetadas, que o processo de moldagem de pós por injeção é muito mais dependente da temperatura de sinterização do que o processo de compactação de pó em matriz.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao programa PRONEX (Programa de Apoio a Núcleos de Excelência) - Finep, que financiou esta pesquisa.

6. REFERÊNCIAS

- White, Donald G., 1999, “State-of-the-P/M Industry in North America-1999”, The International Journal of Powder Metallurgy, Vol. 35, No.5, pp.25-29.
- Thümmel, F., Oberacker, R., 1993, “Introduction to Powder Metallurgy”, Published in 1993 by the Institute of Materials 1 Carlton House Terrace London SW1Y5DB, 332p.
- Miska, Kurt H., 1990, “Merits of Metal Injection Molding”, Manufacturing Engineering, pp.87-89.
- German, Randal M., 1990, “Powder Injection Molding”, Metal Powder Industries Federation, Princeton, New Jersey, USA, 521p.