

ESTUDO DA VISCOSIDADE DE UM VEÍCULO ORGÂNICO A BASE DE CERA DE CARNAÚBA PARA INJEÇÃO DE PEÇAS CERÂMICAS

RICARDO EMÍLIO F. QUEVEDO NOGUEIRA

ALEXANDRE CAMPOS BEZERRA

FRANCISCO CLAUDIOBERTO DOS SANTOS

Departamento de Engenharia Mecânica, Centro de Tecnologia, UFC, Bloco 714 - Campus do Pici, Alagadiço, CEP 60455-760 Fortaleza, CE, Brasil – E-mail: emilio@ufc.br

MARIA ROSIMAR DE SOUSA

WILSON ACCHAR

Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, UFRN - Campus Universitário, s/n, Lagoa Nova, CEP 59072 -970 Natal, RN, Brasil

Resumo. *Este trabalho apresenta um estudo da viabilidade técnica de um veículo orgânico (VO) a base de cera de carnaúba para a injeção de peças cerâmicas e metálicas a baixas pressões (0,6MPa). Em particular, procurou-se aplicar o veículo orgânico desenvolvido na injeção de guia-fios cerâmicos aplicados na indústria têxtil. Os materiais utilizados são de fácil obtenção no mercado nacional. Ensaios de viscosidade foram utilizados para otimizar as proporções dos diferentes componentes do veículo orgânico (cera de carnaúba, polietileno de baixa densidade e ácido esteárico) e da quantidade de pó cerâmico adequada para a injeção da massa cerâmica. Para isso, utilizou-se um viscosímetro Brookfield modelo LV-DVIII. Foi projetado e construído um molde simples de duas cavidades em aço baixo carbono para a injeção do guia-fios. Resultados preliminares demonstram a viabilidade técnica do processo e do veículo orgânico desenvolvido para a fabricação em série de peças pequenas e complexas em alumina.*

Palavras-chave: *Moldagem, Injeção, Cerâmica*

1. INTRODUÇÃO

A fabricação de peças cerâmicas pequenas e complexas pode ser realizada através de processos como colagem, extrusão, prensagem e moldagem por injeção. A obtenção de guia-fios para a indústria têxtil é um exemplo de aplicação de cerâmicas avançadas (Macéa et al., 1989).

A produção dessas peças pelo processo de moldagem por injeção apresenta algumas vantagens, especialmente em caso de artefatos pequenos e de forma complexa: permite a confecção automatizada e maior versatilidade de forma; boa tolerância dimensional e

acabamento superficial, tornando desnecessárias as operações de usinagem, que encarecem e podem danificar o produto (Nogueira, 1994).

O processo de moldagem por injeção cerâmica tem por base a mistura de pós cerâmicos com um veículo (geralmente orgânico) fundido. Antes dessa massa ser moldada por máquinas convencionais de baixa pressão, no entanto, é necessário um estudo reológico, a fim de determinar a percentagem ótima de cada componente do veículo orgânico e de pó cerâmico na massa.

A moldagem cerâmica por injeção a baixas pressões apresenta vantagens adicionais como o baixo custo do equipamento empregado, um menor desgaste da máquina e dos moldes e a eliminação das tensões residuais nas peças moldadas (Toy et al., 1995). O processo requer, entretanto, que a massa a ser injetada tenha baixa viscosidade e se restringe a peças de pequenas dimensões (Purquerio et al., 1998).

O objetivo deste trabalho é apresentar um método relativamente simples de determinação da quantidade ótima dos componentes do veículo orgânico e de pó cerâmico na massa e, conseqüentemente, a viabilidade da utilização de cera de carnaúba (matéria-prima regional) como componente majoritário do veículo orgânico, reduzindo, assim, o custo dessas peças.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A seleção dos materiais envolve a seleção do pó e do veículo orgânico adequado para a injeção desse pó. Ela é basicamente uma solução de compromisso, já que as características ideais para as diferentes etapas do processo são conflitantes entre si. Em termos gerais, o pó cerâmico deve apresentar características que influenciem favoravelmente o comportamento reológico da mistura a ser injetada: uma distribuição homogênea do tamanho de partículas, ausência de aglomerados, pequena área superficial e uma forma regular (German et al., 1997).

É importante que a mistura pó - veículo orgânico satisfaça vários critérios reológicos que permitam a mistura e a moldagem sem defeitos. Essas características dependem do tipo de veículo orgânico, temperatura de moldagem, taxa de cisalhamento, conteúdo de sólidos, características das partículas cerâmicas e presença de agentes ativos de superfície (German et al., 1997). Existe uma faixa de viscosidade adequada à manutenção de um pó disperso sem interferir com o processo de moldagem. Para um dado conteúdo de sólidos, uma mistura de baixa viscosidade geralmente depende do uso de um VO de baixa viscosidade, o que implicaria um veículo de baixo peso molecular, que é tipicamente uma cera (German et al., 1997). Além de propiciar uma baixa viscosidade para um conteúdo de sólidos, o VO deve também inibir a separação ou aglomeração do sólido. Sendo assim, ceras puras, geralmente inadequadas para essa inibição, precisam ser modificadas com a inclusão de componentes poliméricos. Logo, a maioria dos sistemas são compostos por, pelo menos, dois componentes com estruturas químicas diferentes. Com isso, conclui-se que o processo de seleção de um VO adequado depende de uma situação específica, fazendo-se necessário um estudo reológico para avaliar e otimizar a sua composição (Nogueira, 1992).

Algumas características que o VO deve apresentar são: baixo custo, baixa toxicidade, passividade química com relação ao pó, baixa viscosidade (menor que 500cP), pequena variação da viscosidade com a temperatura e ser forte e rígido após resfriar.

O veículo orgânico utilizado neste trabalho é composto por cera de carnaúba tipo 1, como componente majoritário, cujo ponto de fusão está na faixa de 80^oC - 83^oC, do polietileno de baixa densidade (HI-865 da OPP Poliolefinas S.A.), como componente plastificante, de uso industrial, e do ácido esteárico (P.M. de 284,49 da Vetec Química Fina LTDA., ponto de fusão de 65 a 68^oC, 95% de pureza) como componente surfactante. A seleção da composição foi baseada em estudo de viscosidade, que será apresentado nos resultados.

Na fabricação de guia-fios cerâmicos, dois materiais são comumente empregados: alumina(Al_2O_3) e titânia(TiO_2) (Macéa et al., 1989).

A matéria-prima utilizada neste experimento foi uma alumina calcinada APC-2011SG (ALCOA do Brasil), obtida pelo Processo Bayer. As principais características do pó, segundo o fabricante, são mostradas na Tabela 1. Não foi utilizado nenhum aditivo para auxiliar a sinterização posterior das peças injetadas.

Tabela 1. Composição química do pó cerâmico (cortesia de ALCOA do Brasil).

Componente	%
Al_2O_3	99,4
SiO_2	0,04
Fe_2O_3	0,04
Na_2O (total)	0,11
Umidade (300°C)	0,2
Perda ao fogo (300 – 1100°C)	0,1
Tamanho médio de partícula	2,6 μm
Área superficial específica	1,4 mm^2/g

Os ensaios de viscosidade foram realizados utilizando um viscosímetro Brookfield LV-DVIII, mostrado na Fig. 1. Para a determinação da viscosidade do veículo orgânico foi desenvolvido um misturador para pequenas quantidades de material. Após serem devidamente pesados (num total de 7g), os componentes foram colocados numa câmara de aquecimento, mostrado na Fig. 1, e misturados a uma temperatura de 145°C por trinta minutos. A viscosidade dos VO's foi determinada variando a taxa de cisalhamento aplicada, em diferentes temperaturas. O objetivo destes ensaios era o de determinar a proporção adequada dos diferentes componentes do VO para a injeção.

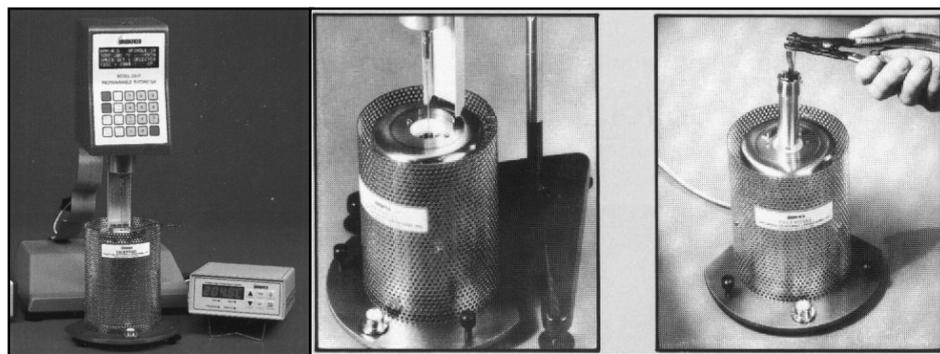


Figura 1 - Viscosímetro e Câmara de aquecimento.

Na determinação da viscosidade da massa cerâmica (mistura pó cerâmico-veículo orgânico), a amostra a ser ensaiada foi retirada diretamente do tanque de mistura de uma injetora Peltzman MIGL33 semi-automática (Fig. 2). A viscosidade foi determinada variando a taxa de cisalhamento aplicada, na temperatura de 140°C (temperatura de injeção).

A mistura pó cerâmico-veículo orgânico foi agitada por um período de 30 minutos no tanque com batedores duplos, à temperatura de 140°C, submetida a vácuo para evitar a formação de bolhas.

O molde utilizado é composto de placas, guias, buchas de injeção e pinos. O material utilizado para sua confecção foi aço carbono ABNT-1020(baixo carbono), mostrado na Fig. 2.



Figura 2 - Injetora e molde utilizados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir, a viscosidade dos VO's e das misturas serão mostradas e comparadas por meio de gráficos, onde será possível verificar qual a melhor composição para a moldagem.

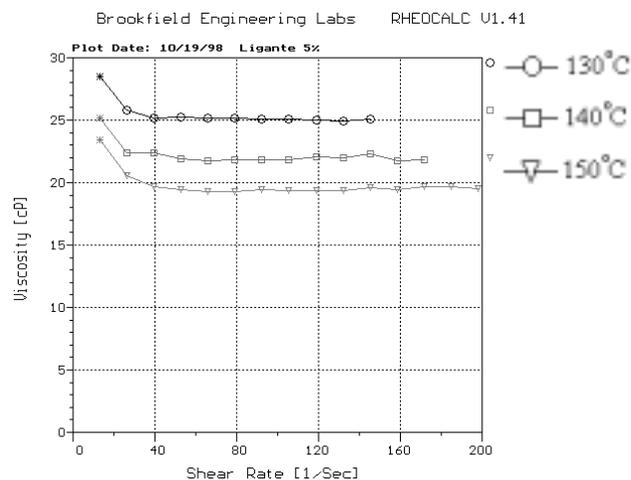


Figura 3 - Viscosidade do veículo orgânico I.

Na Figura 3 temos três curvas do mesmo VO de composição: 94% de cera de carnaúba, 5% de polietileno e 1% de ácido esteárico. A diferença entre elas é a temperatura do ensaio: de cima para baixo 130°C, 140°C e 150°C. A partir deste gráfico, nota-se que há uma pequena variação da viscosidade com a temperatura e um comportamento newtoniano, o que é favorável à moldagem por injeção. A viscosidade a 140°C é baixa, aproximadamente 22cP.

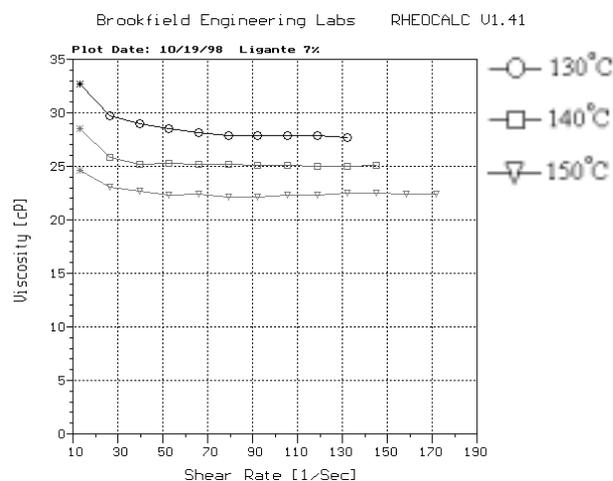


Figura 4 - Viscosidade do veículo orgânico II.

O gráfico da Fig. 4 apresenta três curvas viscosidade x tensão de cisalhamento na mesma ordem de temperatura da figura anterior. O VO utilizado possui a seguinte composição: 92% de cera de carnaúba, 7% de polietileno e 1% de ácido esteárico. Observando-se as curvas, percebe-se um comportamento semelhante ao da Fig. 3, ou seja, pequena variação da viscosidade com a temperatura e um comportamento newtoniano, com uma diferença: a viscosidade a 140°C é de aproximadamente 25cP, isto é, este VO é mais viscoso, como era esperado devido a maior quantidade de polietileno.

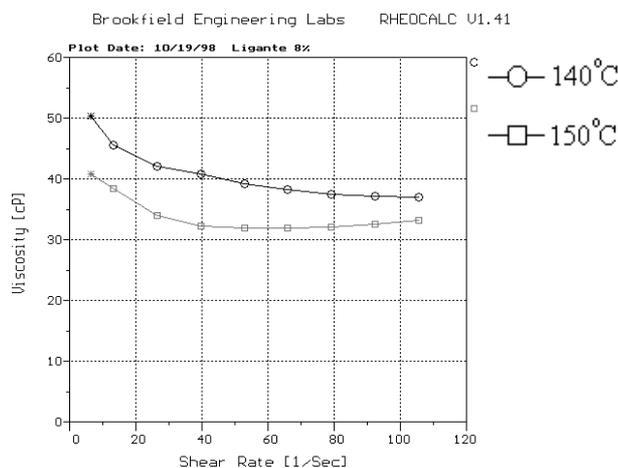


Figura 5 - Viscosidade do veículo orgânico III.

As curvas do gráfico acima representam o seguinte VO: 91% de cera de carnaúba, 8% de polietileno e 1% de ácido esteárico. De cima para baixo, as curvas foram obtidas a 140°C e a 150°C. A curva de 130°C não está apresentada devido a dificuldade de homogeneizar a mistura nesta temperatura. Nota-se uma maior variação da viscosidade com a temperatura, o que dificulta a injeção. Ademais, a viscosidade a 140°C tem uma média de 40cP, quase o dobro da encontrada na Fig. 3, comprometendo, assim, o uso deste veículo orgânico.

A Figura 6 permite a comparação da diferença de viscosidade dos três veículos orgânicos a 140°C.

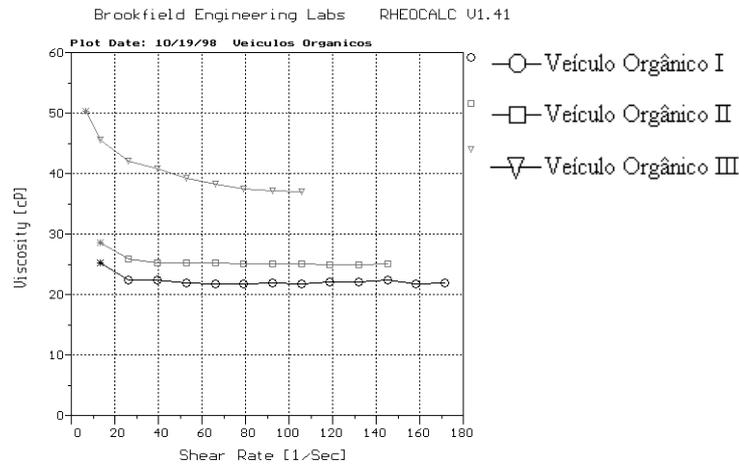


Figura 6 - Viscosidade dos veículos orgânicos a 140°C.

As composições das curvas da Fig. 6 são as seguintes: VO I - 94% de cera de carnaúba, 5% de polietileno e 1% de ácido esteárico; VO II - 92% de cera de carnaúba, 7% de polietileno e 1% de ácido esteárico; VO III - 91% de cera de carnaúba, 8% de polietileno e 1% de ácido esteárico. De imediato observa-se que o VO contendo 8% de polietileno é muito viscoso, o que dificulta a injeção. Por sua vez, o VO que contém 5% de polietileno, apesar de ter uma baixa viscosidade, possui uma pequena quantidade de polietileno, que pode prejudicar a fase de retirada do VO da peça moldada. Sendo assim, torna-se necessária uma análise dos resultados da mistura pó cerâmico-veículo orgânico, mostrada a seguir.

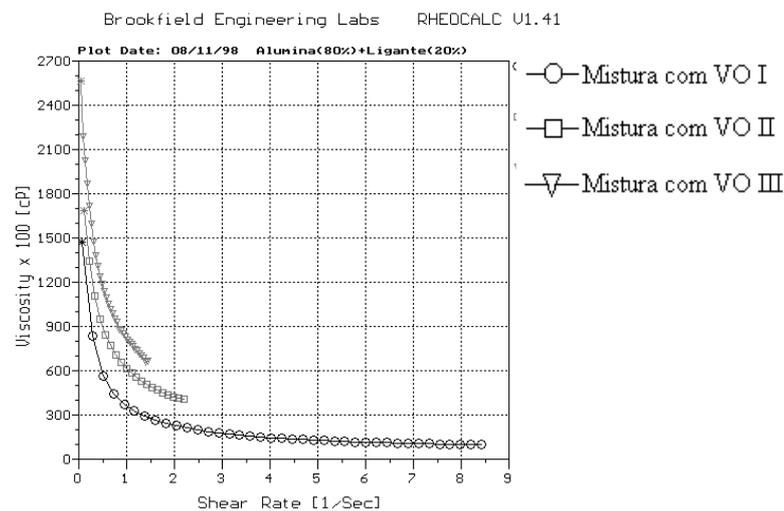


Figura 7 - Viscosidade das misturas testadas.

Este gráfico da Fig. 7 apresenta as misturas com os três diferentes VO's, numa proporção de 80% de alumina e 20% de ligante (VO). As composições dos VO's são as mesmas especificadas na Fig. 6. A temperatura destes ensaios foi de 140°C.

Observando o gráfico da Fig. 7, verifica-se que a viscosidade das misturas seguem a dos VO's, ou seja, quem era menos viscoso no gráfico da Fig. 6, continua sendo menos viscoso no

gráfico da Fig. 7. Além disso, nota-se que a mistura contendo 5% de polietileno tem uma grande faixa cujo comportamento é newtoniano, ou seja, não há uma variação muito grande da viscosidade com uma mudança na taxa de cisalhamento aplicada. Isto faz com que haja menos macrodefeitos na peça moldada.

4. CONCLUSÃO

A partir dos resultados apresentados no item anterior, conclui-se que a melhor formulação obtida é a que contém as seguintes proporções: 94% de cera de carnaúba, 5% de polietileno e 1% de ácido esteárico, em peso. O veículo orgânico representou 20% do total da mistura em peso, o que corresponde a um conteúdo de 80% em peso de pó cerâmico (aproximadamente 50% em volume de alumina), sendo verificado que a relação viscosidade-tensão de cisalhamento satisfaz aos critérios reológicos e permite que a mistura e a moldagem da peça ocorram sem macrodefeitos nesta proporção. Nas outras proporções utilizadas, a viscosidade apresentou-se elevada e surgiram defeitos nas etapas de mistura e moldagem.

As peças foram moldadas e não apresentaram defeitos. A Figura 8 mostra uma foto das peças obtidas. A retirada do veículo orgânico ocorreu com sucesso utilizando-se um forno mufla com controlador de temperatura e seguindo rampas determinadas por análise termogravimétrica (Nogueira et al., 1998).

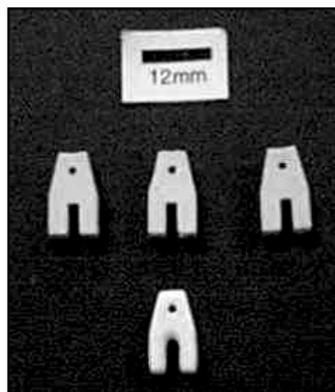


Figura 8 - Injetora, molde e guia-fios.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer ao CNPq, à CAPES, à FINEP e ao Banco do Nordeste, cujo apoio financeiro tornou possível a aquisição de equipamentos e a realização dessa pesquisa, e à ALCOA e à OPP Poliolefinas S.A. pelo fornecimento dos materiais utilizados.

REFERÊNCIAS

- German, R.M., Bose, A., **Injection Molding of Metals and Ceramics**. Metal Powder Metallurgy Federation, Princeton, New Jersey, Vol.1, pp.11-131,1997.
- Macéa, J. P., Macéa, J. R., Nano, R. H., **A Aplicação de Materiais Cerâmicos na Indústria Têxtil**, V Conferência Nacional de Tecnologia Têxtil e de Confecção, CETIQT-RJ, 18 a 21 de Julho de 1989.
- Nogueira, R.E.F.Q., **Potencialidades e Particularidades do Processo de Moldagem de Pós Cerâmicos por Injeção**. Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, 1994.

- Nogueira, R. E. F. Q., **Processing and Properties of Moulded Alumina Bodies**, Tese de Doutorado, Brunel University, Londres, GB, 1992.
- Nogueira, R. E. F. Q., Bezerra, A. C., Santos, F. C., Sousa, M. R., Acchar, W., **Produção de um Guia-Fios Cerâmico por Injeção à Baixa Pressão**. V Congresso Norte-Nordeste de Engenharia Mecânica, 1998.
- Purquerio, B. M., Gonçalves, A. C., **Confecções de Peças Metálicas com Geometria Complexa através do Processo de Injeção à Baixa Pressão**. 13^o CBECIMAT, 1998.
- Toy, C., Palaci, Y., Baykara, T., **A New Ceramic Thread-Guide Composition via Low-Pressure Injection Molding**. Journal of Materials Processing Technology, pp.211-222, 1995.

STUDY ON THE VISCOSITY OF A CARNAUBA WAX-BASED ORGANIC VEHICLE FOR CERAMIC INJECTION MOULDING

Abstract. *This work presents a study on the technical viability of a carnauba wax-based organic vehicle (VO) for the low-pressure injection moulding (0,6MPa) of metallic and ceramic parts. The organic vehicle developed was used for the injection of ceramic thread-guides. All materials are readily available in the local market. Viscosity tests were employed to determine the relative amounts of the organic vehicle components (carnauba wax, low-density polyethylene and stearic acid) as well as the optimum powder content in the ceramic mix. Viscosity was measured with a Brookfield LV-DVIII rheometer. A double cavity mold for the injection of simple thread-guide was designed and built using low-carbon steel. Preliminary results demonstrate the potential of both the process and the vehicle developed for the mass-production of small and complex ceramic parts.*

Keywords: *Moulding, Injection, Ceramic*