

COMPONENTE CERÂMICO (GUIA-FIO) OBTIDO PELO PROCESSO DE MOLDAGEM POR INJEÇÃO A BAIXA PRESSÃO

Maria Rosimar de Sousa

Ricardo E. Q. Nogueira

Wilson Acchar

Instituto Centro de Ensino Tecnológico - CENTEC, 62.930-000, Limoeiro do Norte, CE, Brasil, E-mail: rosimar1@yahoo.com

Resumo

Este trabalho tem como objetivo descrever o processo de moldagem cerâmica por injeção a baixa pressão aplicado na fabricação de um componente cerâmico (guia-fio) utilizado na indústria têxtil. Os materiais utilizados (pó cerâmico e veículo orgânico) são de fácil obtenção no mercado nacional. Foi elaborado e desenvolvido um veículo orgânico regional de baixa viscosidade a base de cera de carnaúba, compatível com a injeção de pós cerâmicos. Foi projetado e construído um molde simples de duas cavidades em aço baixo carbono para injeção do guia-fio. As peças injetadas foram testadas quanto à homogeneidade da mistura. A remoção do veículo orgânico foi realizado por degradação térmica em forno controlado e as rampas utilizadas para a programação foram determinadas por meio de ensaios termogravimétricos. As peças sinterizadas apresentaram uma densificação de 93% da densidade teórica e dureza média comparável à literatura. A microscopia eletrônica de varredura (MEV) revelou uma microestrutura homogênea.

Palavras-chave: Moldagem, Baixa-pressão, Cerâmica, Veículo Orgânico.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos tem havido um crescente interesse em materiais cerâmicos, devido à abundância de suas matérias-primas e às propriedades específicas que podem apresentar. Estas propriedades especiais que caracterizam os materiais cerâmicos, tais como refratariedade alta, resistência ao desgaste, resistência mecânica em temperatura elevada, bem como as propriedades elétricas e magnéticas, tornam-se interessantes na aplicação em diversos segmentos da indústria (Asanabe, 1988).

A produção de guia-fios para indústria têxtil é um exemplo de aplicação de cerâmicas avançadas na fabricação de peças pequenas e complexas, empregadas em larga escala. A obtenção dessas peças é feita através de processos tais como colagem, prensagem, extrusão e injeção cerâmica (Macéa *et al.*, 1989).

Este trabalho tem por objetivo principal estudar as etapas do processo de moldagem por injeção a baixa pressão, nas proporções de 80% Al_2O_3 e 20% de veículo orgânico, em peso, a fim de avaliar uma matéria-prima regional, a cera de carnaúba, como adequada e competitiva para utilização na moldagem de peças cerâmicas.

2. MOLDAGEM CERÂMICA POR INJEÇÃO (MCI)

A idéia básica da MCI de misturar pós cerâmicos sob estado plástico, através de adição de um meio viscoso e prensar a mistura na forma desejada dentro de um molde, não é completamente nova (Batalha, 1991). Surgiu no final do século XIX e se desenvolveu como o principal processo de conformação da indústria de plásticos (Mangels & Trela, 1984). A MCI foi usada pela primeira vez como um processo de fabricação de cerâmicas no final dos anos 20, na produção de velas de ignição para automóveis (Schwartzwalder, 1949). Como não havia uma tecnologia capaz de superar os problemas técnicos desse processo, os fabricantes de velas de ignição optaram por outros processos alternativos como a prensagem isostática (Edirisinghe & Evans, 1987).

A mistura a ser utilizada na MCI tem de preencher algumas condições básicas, como propiciar uniformidade de dispersão e promover um fluxo mais satisfatório, favorecendo desta forma uma uniformidade de enchimento do molde. Geralmente, os veículos orgânicos são constituídos por compostos orgânicos poliméricos de baixo peso molecular (alto índice de fluidez) e são os preferidos por se adequarem mais ao critério de baixa viscosidade. A quantidade do veículo orgânico na mistura com o pó para injeção varia entre 15% e 50% em volume (German, 1991).

As características de fluência da mistura, sua molhabilidade subsequente e a qualidade da peça final, dependem da homogeneidade da mistura (Mutsuddy, 1995). A etapa de moldagem é feita com equipamentos essencialmente iguais aos usados em moldagem de plástico (Batalha, 1991). Antes de proceder a sinterização, o veículo orgânico tem que ser removido. É uma etapa crítica no processo de moldagem cerâmica por injeção, pois nessa etapa pode ocorrer o surgimento de defeitos causados por tensões internas, evolução de gases e torção. Por último, temos a etapa de sinterização que proporciona a difusão dos átomos para os vazios deixados pela saída do veículo orgânico, propiciando a retração e a densificação da peça. A qualidade final da peça produzida é função de todas as etapas, ou seja, defeitos criados em etapas intermediárias, podem não serem corrigidos posteriormente.

3. MÉTODOS E PROCEDIMENTOS

3.1 Pó cerâmico

A alumina utilizada neste trabalho foi uma alumina comercial calcinada A-2011SG (ALCOA do Brasil), obtida pelo processo *Bayer*. As principais características do pó, são apresentadas na Tabela 1. Não foi utilizado no trabalho nenhum aditivo para auxiliar a sinterização posterior das peças injetadas.

Tabela 1. Principais características do pó (Alcoa,1998).

CARACTERÍSTICAS DA ALUMINA APC-2011SG	
QUÍMICAS	(%)
Al ₂ O ₃	99,4
SiO ₂	0,04
FeO ₃	0,04
Na ₂ O	0,11
Umidade (300° C)	0,2
Perda ao fogo (300 – 1100° C)	0,1
FÍSICAS	
Tamanho médio de Partícula (µm)	2,6
Área superficial específica (m ² /g)	1,4
Densidade sinterizada (g/cm ³)	3,96

3.2 Formulação do veículo orgânico

O veículo orgânico utilizado é composto por cera de carnaúba, polietileno e ácido esteárico. Selecionou-se três composições diferentes conforme a Tabela 2. A cera de carnaúba, usada como componente majoritário, é classificada pelo fabricante como sendo do tipo 1, cuja característica é apresentar a cor amarela. Obtida do olho da palmeira, a cera foi cedida pela empresa J. Maehlman Agent Comercio Exterior -Assu-RN. O polietileno de baixa densidade (HI-865 da OPP Poliofinas S.A), de uso industrial, foi utilizado como componente plastificante. O ácido esteárico (P.M. de 284,49 da Vetec Química Fina LTDA), foi usado como componente surfactante.

Tabela 2. Formulação do veículo orgânico, (%) em peso.

Materiais	A (%)	B (%)	C (%)
Cera de Carnaúba	94	92	91
Polietileno	5	7	8
Ácido Esteárico	1	1	1
Total	100	100	100

3.2 Viscosidade

Os ensaios de viscosidade foram realizados utilizando um viscosímetro Brookfield LV-DVIII. 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 no recipiente e misturados a uma temperatura de 140°C, por trinta minutos.

Na determinação da viscosidade da massa cerâmica (mistura pó cerâmico-veículo orgânico), a amostra a ser ensaiada era retirada diretamente do recipiente de mistura da injetora. A viscosidade foi determinada variando-se a taxa de cisalhamento aplicada, na temperatura de 140°C (temperatura de injeção).

3.3 Injeção

A etapa de injeção foi realizada em injetora *Peltsman MIGL 33* semi-automática. O procedimento de injeção obedeceu aos seguintes passos: (a) alimentar e fechar o tanque; (b) acionar bomba de vácuo, moto-redutor, controlador de temperatura e o temporizador, até alcançar o vácuo desejado, programar a temperatura e o tempo necessário; (c) desligar bomba de vácuo; (d) pressurizar o tanque; (e) posicionar o molde e acionar o pistão para travamento; (f) abrir válvula de injeção; (g) fechar válvula de injeção; (h) ejetar a peça moldada.

3.4 Remoção do veículo orgânico

A taxa de aquecimento para saída do veículo orgânico foi bastante lenta para não provocar ruptura nas peças. Da temperatura ambiente até 50°C, a taxa de aquecimento foi de 30°C/h e seguida de isotérmica por 12 horas; até alcançar 100°C utilizou-se a mesma taxa de aquecimento. Nesta temperatura anterior (100°C), permaneceu-se durante 12 horas, e a partir desta, a taxa de aquecimento foi de 5°C/h até atingir 380°C. Esta temperatura permaneceu por 24h. Finalizando, a taxa de aquecimento foi de 60°C/h até atingir a temperatura de 650°C. Após a remoção do veículo orgânico, a peça foi submetida ao processo de sinterização sendo

aplicado um gradiente de temperatura de 300⁰C/hora, concluindo a sinterização em 1650⁰C, permanecendo por um período de 2 horas nessa temperatura.

4. RESULTADOS

A relação viscosidade-tensão de cisalhamento satisfaz aos critérios reológicos e permitiu que a mistura e a moldagem da peça ocorressem sem macrodefeitos. A Figura 1 apresenta a viscosidade dos veículo orgânico em função da taxa de cisalhamento aplicada, na temperatura de injeção de 140⁰C.

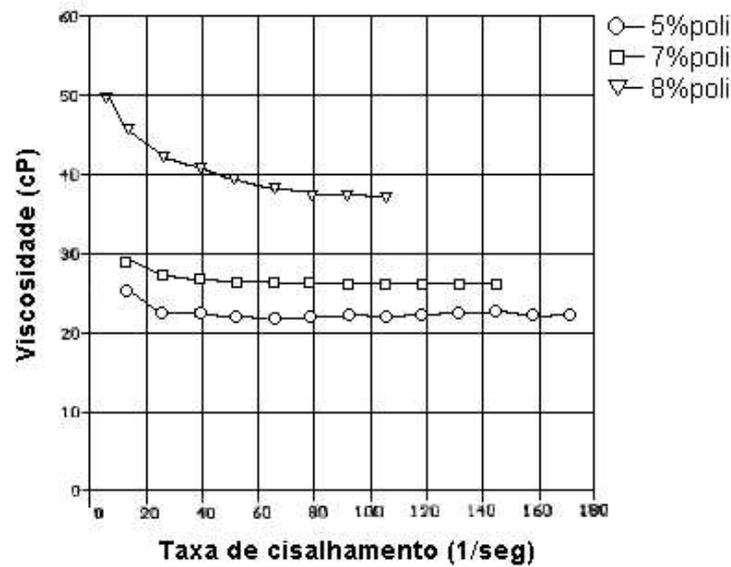


Figura 1. Viscosidade dos veículos orgânicos.

A Figura 2 apresenta a viscosidade das misturas em função da taxa de cisalhamento. Os ensaios foram realizados à temperatura de 140⁰C e com uma composição de 80% de alumina de 20% de veículo orgânico.

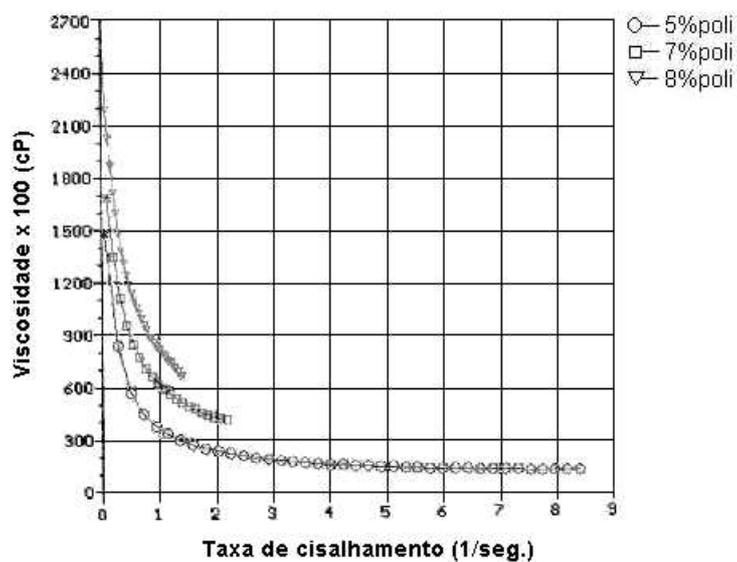


Figura 2. Viscosidade das misturas.

A fase de sinterização transcorreu sem a introdução de macrodefeitos. A Tabela 3 apresenta os valores do parâmetro de retração linear, obtidas através das medidas do corpo de prova nas fases de injeção e sinterização. Os resultados mostram pequena contração do material na fase de injeção, havendo uma maior contração na sinterização. Resultados semelhantes foram observados em outros trabalhos (Zorzi, 1996; Fortulan, 1993).

Tabela 3. Valores de retração linear.

Retração linear média $\Delta L/L_0$ (%)	
Fase de injeção 2,24	Fase de sinterização 14,65

A porosidade dos corpos de prova mostrada na Tabela 4, apresentou um valor elevado para uma peça cerâmica de alumina, atribuído ao fato da quantidade de veículo orgânico ser elevado e ao tamanho do grão do pó utilizado.

Tabela 4. Valor da densidade média e porosidade.

Tempo (h)	Densidade Média (g/cm^3)	Porosidade (%)
2	$3,679 \pm 0,060$	$7,09 \pm 0,02$

As medidas de tamanhos de grão realizadas apresentaram tamanho médio de 2,44 , 2,15 e 2,05 μm , verificando-se uma pequena variação nas dimensões. A estrutura uniforme do grão e o seu tamanho pequeno são características desejáveis para proporcionar aos corpos cerâmicos alta resistência.

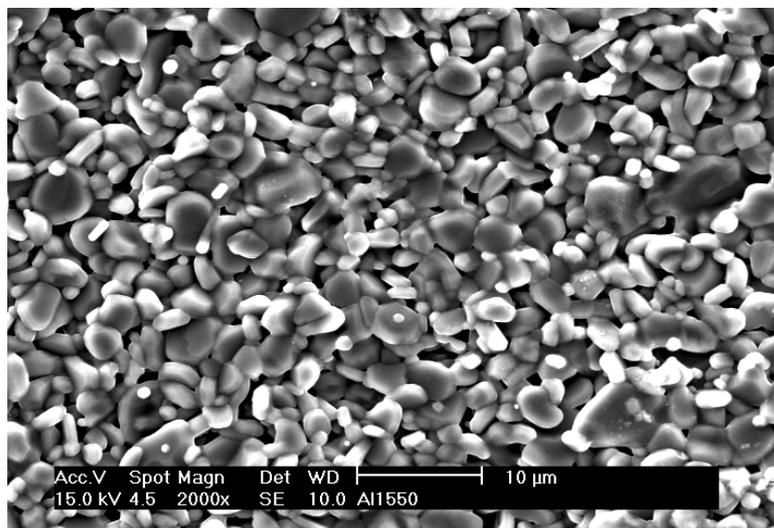


Figura 3. Al-2011SG ataque térmico 1550⁰C - 1h - Tg 2,05 μm .

Os valores da dureza superficial apresentados na Tabela 5, foram obtidos utilizando a técnica de impressão Vickers através de ensaios de 5 amostras, sendo realizadas 6 impressões em cada uma delas. A dureza média obtida foi de 1519 kg/mm^2 e desvio-padrão de 133, valores aceitáveis comparados com os da literatura, relatada na alumina A152-SG pelo

mesmo processo (Nogueira, 1992) e compatíveis com (Fanelli, 1989; Nogueira, 1992), todos obtidos pelo processo de moldagem de injeção e usando alumina A16-SG.

Tabela 5. Valores de dureza para a alumina.

	Dureza Vickers (HV)	
Dureza Média (HV) Obtida	Dureza Média (HV) Nogueira (1992)	Dureza Média (HV) Fanelli (1989)
1519 ± 133	1540 ± 55	1467 ± 91

5. CONCLUSÕES

A utilização de matérias-primas nacionais para o processo de injeção a baixa pressão foi demonstrada ser viável tecnicamente. O veículo orgânico desenvolvido a base cera de carnaúba evidencia o potencial na utilização desse material como componente majoritário na sua elaboração. As peças obtidas por injeção cerâmica são compatíveis com os obtidos em outros processos, com vantagens adicionais de flexibilidade e possibilidade de automação.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES.

7. REFERÊNCIAS

- Alcoa Alumínio S/A, 1994, “Calcined Alumina APC-2011”, São Paulo. /folder/.
- Asanabe. S., 1988, “Applications of Ceramic for Tribological Components, Materials and Design”, v. 9, n.5, p. 253-262.
- Batalha, G.F., 1991, “Conformação de Peças Metálicas pela Moldagem de Pós por Injeção (MPI) Técnica e Potencialidade”, COMPO-ABM, São Paulo, p.78-92.
- Edirisinghe, M.J., Evans, J.R.G., 1987, “Rheology of Ceramic Injection Moulding Formulations”, British Ceramic Transactions Journal, v.86, p.18-22.
- Fanelli, J. A., et al., 1989, “New Aqueous Injection Molding Process for Ceramic Powders”, J. Am. Ceramic Soc, v.72, p.1833-1836.
- Fortulan, C.A.; Purquerio, B. M., 1993, “O Processo de Injeção de Cerâmica”. In: Congresso Brasileiro de Cerâmica, Curitiba, 1993, *Anais*, Paraná, v.1, p.74-83.
- German, R.M., 1991, “Optimization of the Powder-Binder Mixture for Powder Injection Moulding”, Advances in Powder Metallurgy, v.3, p.51-66.
- Macéa, J. P., Macéa, J. R., Nano, R. H., 1989, “A Aplicação de Materiais Cerâmicos na Indústria Têxtil”, V conferência Nacional de Tecnologia Têxtil e de Confecção, CETIQT-RJ.
- Mangels, J.A., 1994, “Low-Pressure Injection Molding”, Caradyne Inc, v.73(5), p.37-42.
- Mutsuddy, B.C.; Ford, R. G., 1995, “Ceramic Injection Molding”, Chapman & Hall, London, U.K., p.7-245.
- Nogueira, R.E.F.Q., 1992, “Processing and Properties of Moulded Alumina Bodies”, Londres, 192p, Tese (Doutorado) - Brunel University.
- Schwartzwalder, K., 1949, “Injection molding of ceramic materials”, Amer. Ceram. Soc. Bull., v.28, p.459.

- Zorzi, J.E., 1996, “Conformação de Cerâmica de Alta Tecnologia com Formas Complexas”. Porto Alegre, 99p., Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.