

## Análise do processo de extrusão de pastas cerâmicas

Fernanda Silva Nucci<sup>1</sup> e Mônica F. Naccache<sup>2</sup>

Departamento de Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica.  
Rua Marquês de São Vicente 225, RJ 22453-900, Rio de Janeiro, RJ, Brasil  
<sup>1</sup>fernandanucci@hotmail.com, <sup>2</sup>naccache@mec.puc-rio.br

### Introdução

O processo de extrusão de pastas cerâmicas é utilizado na produção de barras de catalisadores heterogêneos. A análise deste processo como um todo é bastante complexa. Em geral, a otimização do processo de extrusão é feita através de alteração da formulação das pastas. Este processo geralmente é feito através do método de tentativa e erro, o que o torna não só lento como bastante oneroso. Neste trabalho o processo de extrusão é analisado numericamente, considerando-se a dissipação viscosa, e utilizando-se dados reais das propriedades reológicas das pastas cerâmicas utilizadas no processo de fabricação dos catalisadores. Esta análise tem como objetivo a otimização do processo de extrusão, a um custo bem mais reduzido.

### Modelagem matemática

A simulação numérica do processo de extrusão utilizou uma geometria simplificada, apresentada na Figura 1. O fluido escoou por um duto circular de diâmetro maior e passa por uma contração abrupta axissimétrica 4:1, saindo pelo duto menor. São consideradas as hipóteses de fluido incompressível, escoamento laminar, regime permanente, propriedades independentes da



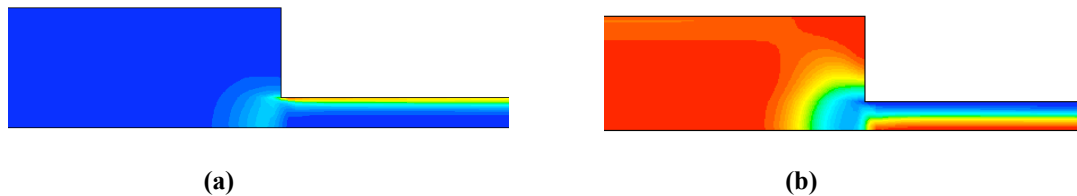
Fig 1: Geometria do problema

temperatura, escoamento com simetria axial e bidimensional ( $v_{\theta} = 0$ ). As equações de conservação de massa, quantidade de movimento linear e conservação de energia foram resolvidas numericamente com o programa FLUENT, que utiliza o método de volumes finitos para a discretização das equações. Para modelar o comportamento viscoplástico das pastas cerâmicas, utiliza-se a equação constitutiva de fluido Newtoniano Generalizado ( $\tau = \eta(\dot{\gamma}) \dot{\gamma}$ ) e o modelo de Carreau-Yasuda para a função viscosidade  $\eta = \eta_{\infty} + (\eta_0 - \eta_{\infty}) [1 + (\lambda \dot{\gamma})^2]^{(n-1)/2}$ . Os parâmetros reológicos do modelo ( $\eta_0, \eta_{\infty}, \lambda, n$ ) foram determinados experimentalmente.

### Resultados

Foram analisados os efeitos das variações do expoente “Power-Law” e da viscosidade a baixas taxas de deformação  $\eta_0$ . A vazão foi mantida constante e igual a  $0,064815 \text{ m}^3/\text{s}$ . Além disso considerou-se  $\eta_{\infty} = 10 \text{ Pa.s}$ , e  $\lambda = 0,1 \text{ s}^{-1}$ . Para o caso 1 considerou-se  $\eta_0 = 300000 \text{ Pa.s}$ , enquanto

que nos outros dois casos,  $\eta_0 = 40000$  Pa.s. Para os Casos 1 e 2,  $n = 0,2$ , e no Caso 3,  $n = 0,02$ . Em todos os casos levou-se em consideração a variação da temperatura devido ao atrito no interior do tubo. Foram determinados os campos de velocidade, taxa de deformação, viscosidade e temperatura. A análise da Figs. 2 (a) e (b) mostra que antes da contração a viscosidade é alta (vermelho), pois as taxas de deformação são muito baixas. Na região da contração, a deformação extensional é alta, e baixos níveis de viscosidade são atingidos. No tubo de saída, altos valores de viscosidade são encontrados na região central do tubo, onde as taxas de deformação são menores. Próximo à parede, devido às altas taxas de deformação, as viscosidades são menores (azul).



**Figura 2:** (a) taxa de deformação e (b) viscosidade, Caso 1 ( $Q=6,4815 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $\eta_0=3 \times 10^5$  Pa.s,  $n=0,2$ ).

A distribuição de temperatura para os Casos 1, 2 e 3 é mostrada nas figuras 3, 4 e 5, respectivamente. Observa-se que em todos eles ocorre um aumento de temperatura no canto superior da contração, devido a dissipação viscosa.

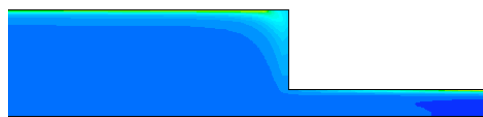


Figura 3

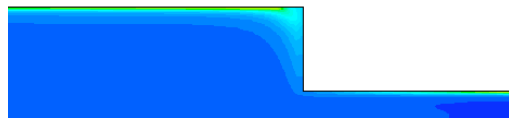


Figura 4

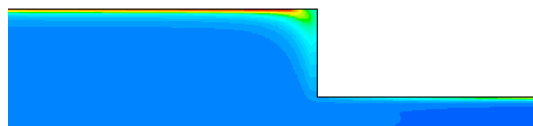


Figura 5

No caso 1, a temperatura máxima chega a 378 K, enquanto no caso 2, que tem níveis de viscosidade mais baixos, a máxima temperatura atingida foi de 310 K. No caso 3, o menor valor do expoente Power-Law leva a menores valores de viscosidade e portanto, a uma menor elevação de temperatura (306 K).

O valor absoluto da força de pressão sobre a parede da contração, que corresponderia à matriz de extrusão, foi calculado para cada caso. Observou-se que a força aumentou com o aumento do parâmetro  $\eta_0$ , i.e., a força aumenta com a viscosidade. No caso 2 essa força atingiu o valor absoluto de  $F_p = 1.28 \times 10^6$  N, enquanto que no caso 1, a força foi de  $1.15 \times 10^7$  N.

## Referências

- [1] Bird R B, R C Armstrong, O Hassager, Dynamics of Polymeric Liquids, v 1, Wiley, 1987.
- [2] Barnes H. A., A Handbook of Elementary Rheology, Univ. Wales, 2000.