

COEFICIENTE DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR EM MISTURADOR INTERNO PARA DIFERENTES POLÍMEROS E CONDIÇÕES DE PROCESSAMENTO

MARINHO, Vitória A. D.¹; ALMEIDA, Tatiara G.²; HECKER, Laura H.³; CANEDO, Eduardo L.⁴

¹ Universidade Federal de Campina Grande, PPG-CEMat, UFCG, Campina Grande, PB, vihuarte-@hotmail.com

² Universidade Federal de Campina Grande, PPG-CEMat, UFCG, Campina Grande, PB, tatiaraalmeida@gmail.com

³ Universidade Federal de Campina Grande, PPG-CEMat, UFCG, Campina Grande, PB, heckerdecarvalho@yahoo.com.br

⁴ Universidade Federal de Campina Grande, PPG-CEMat, UFCG, Campina Grande, PB, ecanedo2004@yahoo.com

RESUMO

O conhecimento sobre a transferência de calor entre o polímero fundido e as paredes da câmara de processamento é muito importante no estudo do processamento. O objetivo deste trabalho é estudar essa transferência de calor em misturador interno com diferentes condições operacionais e diferentes polímeros, obtendo-se a dependência funcional do coeficiente de transferência de calor com a velocidade de rotação de rotores. O coeficiente de transferência de calor, durante o último estágio de processamento em um misturador interno de laboratório, foi avaliado a partir do torque e da temperatura determinados experimentalmente no estado estacionário para diferentes valores das condições operativas. Verificou-se que o coeficiente de transferência de calor não exibe uma dependência com o tipo de polímero processado, mas exibe dependência com a velocidade de rotação dos rotores.

PALAVRAS-CHAVE: Coeficiente de transferência de calor. Misturador interno. Troca de calor.

1. INTRODUÇÃO

Existem poucos estudos sobre os mecanismos de transferência de calor entre os polímeros fundidos e as paredes da câmara de processamento em misturadores internos e extrusoras. Os modelos de maior interesse são os baseados no conceito de “renovação da camada superficial” sugerida por Jepson (1953), que sugere que a troca de calor entre o polímero fundido e a parede da câmara é considerada como um processo de transferência de calor transiente na camada vizinha à parede, sendo a camada “renovada” e o processo reiniciado, cada vez que os filetes da rosca raspam a parede. Esse modelo sugere que o coeficiente de transferência de calor seja proporcional à potência $\frac{1}{2}$ da velocidade de rotação dos rotores.¹ Com base no que foi explanado o presente trabalho tem como objetivo estudar a transferência de calor entre o material no interior e as paredes da câmara de processamento em misturador interno durante o processamento de sistemas poliméricos no estado fundido e determinar experimentalmente o coeficiente de transferência de calor correspondente, através de testes realizados em um misturador interno de laboratório com diferentes condições operativas e diferentes polímeros. Os resultados obtidos são comparados com os reportados na literatura técnica para outros equipamentos de processamento.

2. METODOLOGIA

Foram utilizados cinco polímeros em forma de grânulos para determinar experimentalmente o coeficiente de transferência de calor: Policaprolactona (PCL), Poli (butileno adipato-co-tereftalato) (PBAT), Polietileno de alta densidade (HDPE), Polipropileno (PP), Policarbonato (PC). Os estudos para verificação experimental foram realizados no misturador interno de laboratório Haake Rheomix 3000 onde os polímeros foram processados a diferentes temperaturas, e diferentes velocidades nominais de rotação dos rotores tipo “roller” (30 rpm a 180 rpm).

O processo é regido pelo balanço de energia:

$$\frac{dH}{dt} = \dot{E} - \dot{Q} \quad (1)$$

onde H é a energia interna do material na câmara de processamento, \dot{E} é a taxa de dissipação de energia mecânica e \dot{Q} é a taxa de transferência de calor do interior da câmara para a “vizinhança”.

A temperatura aumenta à medida que se passa o tempo, chega-se ao ponto em que todo o calor gerado pela dissipação de energia mecânica é transferido à vizinhança. A partir deste momento, a variação de energia interna do sistema, isto é, a variação da temperatura, é nula. Nessas condições $dH/dt = 0$ na Eq.(1) e:

$$\dot{E}_\infty = \dot{Q}_\infty \quad (2)$$

O subscrito ∞ é usado para indicar o limite para tempo $t \rightarrow \infty$, isto é, no estado estacionário. É possível extrapolar os resultados experimentais, correlacionando os valores de torque e temperatura a partir de um tempo com expressões exponenciais de três parâmetros:

A taxa de dissipação de energia mecânica e o fluxo de calor podem ser expressos por:

$$\dot{E}_\infty = 2\pi NZ_\infty \quad (3)$$

$$\dot{Q}_\infty = UA(T_\infty - T_0) \quad (4)$$

Substituindo as Eqs.(3) e (4) na Eq.(2) chega-se a:

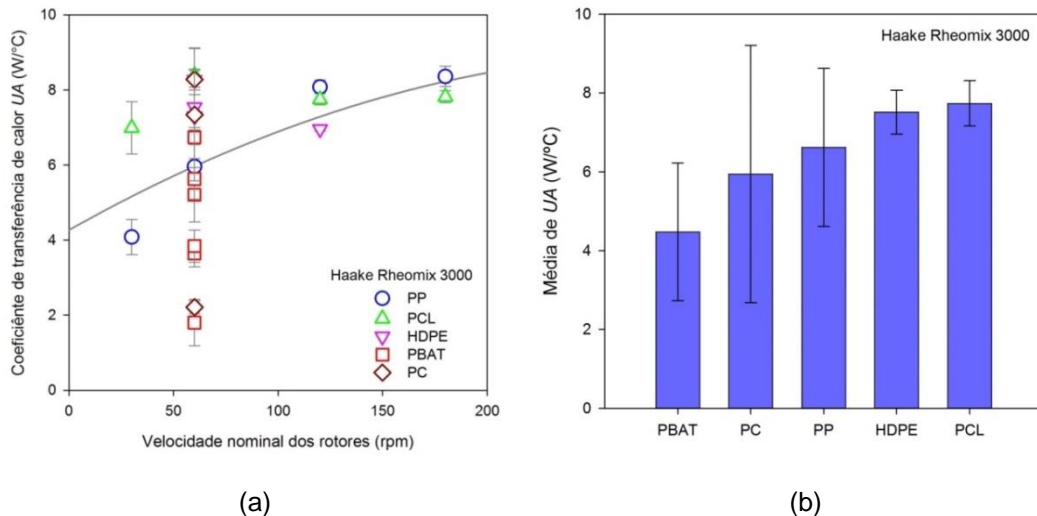
$$UA = \frac{2\pi NZ_\infty}{T_\infty - T_0} \quad (6)$$

que permite avaliar UA – o coeficiente de transferência de calor por unidade de área, unidades: $W/^\circ C$ – a partir do torque e da temperatura no estado estacionário medidos experimentalmente. O coeficiente de transferência de calor U ($W/m^2^\circ C$) é obtido dividindo UA pela área de transferência $A \approx 300 \text{ cm}^2 = 0,03 \text{ m}^2$.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 mostra o coeficiente de transferência de calor em função da velocidade nominal dos rotores, e o coeficiente de transferência de calor médio para os diferentes polímeros.

Figura 1 – (a) Coeficiente de transferência de calor em função da velocidade nominal dos rotores, e (b) Coeficiente de transferência de calor médio para diferentes polímeros.



Observa-se na Figura 1a uma significativa dispersão dos resultados experimentais. Porém, o coeficiente de transferência de calor aumenta com a velocidade de rotação dos rotores.

A correlação entre UA e $N^{1/2}$ é bastante fraca, que corresponde à expressão:

$$UA = 2,95 + 0,39\sqrt{N} \quad (r^2 = 0,17)$$

A Figura 1b apresenta os valores médios do coeficiente de transferência de calor para cada polímero estudado. As diferenças não parecem ser muito significativas, considerando as incertezas envolvidas. Não foi possível encontrar uma relação entre o tipo de polímero e o coeficiente.

Concluimos que o coeficiente de transferência de calor pode ser considerado como:

$$\bar{U} = 209 \pm 31 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em comparação com outros equipamentos de processamento verificou-se que o coeficiente de transferência de calor em misturadores internos é superior (três a quatro vezes maior) que o prevalente em extrusoras monorosca, mas da mesma ordem de magnitude do reportado em extrusoras de dupla rosca corrotacionais.^{3,4}

Dentro da significativa dispersão dos resultados experimentais e das limitações dos testes implementados, pode-se concluir que o coeficiente de transferência de calor em misturadores internos de laboratório:

- Depende da velocidade de rotação dos rotores, aumentando com a mesma;
- É virtualmente independente da temperatura de processamento e do tipo do polímero processado.

Agradecimentos

Os autores agradecem a CAPES pelo apoio financeiro.

5. REFERÊNCIAS

1. C. H. Jepson, Future extrusion studies. *Industrial and Engineering Chemistry*, 45, 992, 1953.
2. E. L. Canedo, *Processamento de Polímeros no Misturador Interno de Laboratório*. PPGCEMat/PPGEP: Campina Grande, 2017.
3. W. H. Davis, Heat Transfer in Extruder Reactors, In: *Reactive Extrusion. Principles and Practice*, M. Xanthos, ed: Hanser: Munich, 1992.
4. D. B. Todd, Heat transfer in twin-screw extruders. *SPE Technical Papers*, 34, 54-58, 1988.