

Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics

Fluxo de Calor Estacionário em uma Vareta Combustível Vazada com Seção Transversal de Formato Bicôncavo

Maria Vitória Aguiar de Oliveira¹

Programa de Engenharia Nuclear, COPPE, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ

Danielle Gonçalves Teixeira²

Programa de Engenharia Nuclear, COPPE, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ

Antonio Carlos Marques Alvim³

Programa de Engenharia Nuclear, COPPE, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ

1 Introdução

Um dos objetivos da engenharia nuclear é desenvolver novos projetos de células combustíveis para reatores nucleares que visam aumentar a eficiência da transferência de calor sem afetar as barreiras de segurança [1]. Mudar os parâmetros geométricos da célula pode otimizar a distribuição de temperatura pelos componentes. As células combustíveis de seção bicôncava [2] podem otimizar a transferência de calor pelos componentes (combustível e revestimento) sem ultrapassar a temperatura limítrofe suportável. A análise dos perfis de temperatura radial é importante para estabelecer, preliminarmente, os parâmetros de segurança num projeto de elemento combustível (EC). O objetivo é modelar a equação de fluxo de calor no estado estacionário para uma vareta combustível vazada com seção transversal no formato bicôncavo. Com este modelo [3], foi possível obter as equações que determinam os perfis de temperatura em cada componente da vareta.

2 Modelagem do Problema

A equação que modela a distribuição de temperatura, em condições estacionárias [3], para o EC tem a seguinte forma:

$$\nabla \cdot (k \nabla T \vec{r}) + g_0 = 0, \quad (1)$$

onde g_0 é a geração volumétrica de calor no combustível em W/m^3 , k é a condutividade térmica em $W/m^\circ C$ e T é a temperatura em $^\circ C$. Considera-se um PWR de arranjo 13×13 de varetas cilíndricas. Na Eq.1 aplicam-se as coordenadas cilíndricas para cada região radial em mm (r_i e r_o que são os pontos radiais nas interfaces do revestimento

¹m.oliveira@con.ufrj.br

²dteixeira@con.ufrj.br

³aalvim@gmail.com

interno; r_{fi} e r_{fo} são os das interfaces do combustível; r_{ci} e r_{co} são os das interfaces do revestimento externo) e obtêm-se as equações de condução de calor radial:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(k_c r \frac{\partial T_i(r)}{\partial r} \right) = 0 \text{ para } r_i < r < r_o, \quad (2)$$

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(k_f r \frac{\partial T_f(r)}{\partial r} \right) + g_0 = 0 \text{ para } r_{fi} < r < r_{fo}, \quad (3)$$

$$\frac{\partial}{\partial r} \left(k_c r \frac{\partial T_c(r)}{\partial r} \right) = 0 \text{ para } r_{ci} < r < r_{co}. \quad (4)$$

onde k_c é a condutividade térmica do revestimento e k_f é a condutividade térmica do combustível. Após submeter as Eqs. 2 a 4 a uma sequência de integrações, é possível descrever os perfis de temperatura de acordo com as condições de contorno. Temos então que

$$T_i(r) = \frac{A_1}{k_c} \ln(r) + A_2 \text{ para } r_i < r < r_o, \quad (5)$$

$$T_f(r) = -\frac{g_0 r^2}{4k_f} + C_1 \ln(r) + C_2 \text{ para } r_{fi} < r < r_{fo}, \quad (6)$$

$$T_c(r) = -\frac{B_1}{k_c} \ln(r) + B_2 \text{ para } r_{ci} < r < r_{co}. \quad (7)$$

Após aplicar as condições de contorno, é possível obter as temperaturas para cada região da vareta combustível. Assim, obtêm-se das Eqs. 5 a 7 um sistema com 6 equações algébricas acopladas, dependentes dos parâmetros físicos e geométricos da vareta, que pode ser resolvido, por exemplo, pelo método de eliminação de Gauss.

3 Conclusões

Determina-se, a partir da solução analítica do fluxo de calor, o perfil de temperatura radial para cada região da vareta. Comparando-se os valores da temperatura previstos na literatura [3] para uma vareta de um EC com arranjos 13×13 , conclui-se que o pico na região do combustível, $T_f(r_{fi}) = 360,26^\circ\text{C}$ e $T_f(r_{fo}) = 355,11^\circ\text{C}$, não ultrapassam o valor de referência de 600°C . Assim, o projeto constituído por varetas combustíveis vazadas de seção transversal no formato bicôncavo preservam a integridade dos componentes do EC.

Referências

- [1] S. Glasstone and A. Sesonske, Nuclear Reactor Engineering: Reactor Systems Engineering, Chapman & Hall, v. 1, 4th ed., 1994.
- [2] C. C. Tu, Estudo Preliminar sobre as Vantagens Semelhantes a de um Glóbulo Vermelho, Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica - USP, São Paulo, 1974.
- [3] N.E. Todreas and M.S. Kazimi, Nuclear Systems II: Elements of Thermal Hydraulic Design, Vol.1, 2001.