

DEPOSICION DE PARTICULAS DE CRUD SOBRE LOS ELEMENTOS COMBUSTIBLES: MODELO PARA FLUJOS TURBULENTOS CON BARRERA POTENCIAL.

M.A. Blesa, A.J.G. Maroto y G.A. Urrutia.

Departamento Química de Reactores-CNEA.

La deposición de partículas en componentes y cañerías de un reactor es gobernada por dos factores principales:

- a) la interacción partícula-superficie
- b) los factores hidrodinámicos

En el caso particular del efecto de la hidrodinámica bajo condiciones de flujo turbulento el primer modelo, que es además el más simple, ha sido desarrollado por Friedlander y Johnstone (1957). En él, la deposición es debida a fuerzas inerciales que actúan sobre las partículas y son originadas en la turbulencia del fluido. El modelo desprecia las fuerzas Brownianas, por consiguiente no puede usarse para partículas de muy pequeño diámetro y se introduce el concepto de distancia de frenado, s , como la distancia que debe alcanzar la partícula para su velocidad radial le permita atravesar la capa estanca de fluido venciendo la resistencia viscosa y alcanzar la pared con velocidad nula. Los autores antes mencionados encuentran para S la expresión

$$s = \frac{V_o d^2 \rho_p}{18\eta}$$

Beal (1971) introdujo correcciones a este modelo que permitieron extenderlo a partículas más chicas teniendo en cuenta la difusión browniana y también a partículas grandes (al considerar que la capa controlante es el tiempo que tarda la partícula en llegar desde la distancia de frenado hasta la pared).

A los fines del presente trabajo la corrección que tiene mayor peso en el modelo es tomar la distancia que la partícula debe alcanzar como $d/2$ de la pared y no la pared misma.

La definición de Beal de distancia de frenado resulta:

$$s = \frac{V_o d^2 \rho_p}{18\eta} + \frac{d}{2}$$

V_o es en ambos casos la raíz media cuadrática de la componente radial de la velocidad de fluctuación turbulenta en el seno del fluido y vale:

$$V_o = 0.9 \bar{V} (r/2)^{1/2}$$

donde $\bar{V}$ es la velocidad media del fluido y r el factor de fricción.

En esta comunicación se discuten las correcciones que deben introducirse en los modelos como consecuencia de la existencia de una barrera de altura K que se opone a la deposición. El objetivo es poder predecir la velocidad de redeposición de partículas en los elementos combustibles así como en las tuberías y componentes del circuito primario de los reactores PWR.

Diversos enfoques han desarrollado este problema, todos ellos incluyendo el modelo de Beal para la deposición de partículas: el transporte de actividad en reactores Candu de Lister (1978) y Burriel (1978) y el código PACTOLE presentado por Benlu, Frejaville y Lalet (1978).

Para un PHWR como la CNA la hidrodinámica es tal que la difusión puede ser ignorada para el tamaño de partícula presente en el crud (Blesa y otros). Por otra parte la existencia de una barrera de potencial repulsiva proveniente de interacciones de doble capa es de suma importancia. (Passaggio, Maroto y otros) (1980).

Para el planteo que se propone se asume la existencia de una barrera de altura K , por consiguiente para superarla y alcanzar la pared la partícula deberá tener una energía cinética tal que $1/2 mV^2 = K$.

Donde V_c (límite superior de integración de la ecuación) no es una velocidad nula como Friedlander y Johnstone sino una velocidad crítica para superar K .

La distancia de frenado se calcula entonces co

$$-\frac{\delta V}{\delta t} = 3\eta m d V$$

que por integración entre V y V_o resulta

$$\ln \frac{V}{V_o} = -3\eta m d t$$

y nuevamente

$$S = \int_0^{t_c} V dt = \int_0^{t_c} V_o e^{-\frac{3\eta m d t}{V_o}} dt$$

si se reemplaza

$$t_c = \frac{1}{3\eta m} \ln \frac{V_c}{V_o}$$

se obtiene

$$S = \frac{V_o d^2 \delta p}{18\eta} \left\{ 1 - \left(\frac{2K/m}{V_o} \right)^{1/2} \right\} + \frac{d}{2}$$

En el caso de interacción de doble capa descrito por

Maroto (1980) es posible mostrar que $K = K'd$ lo cual conduce a

$$S = \frac{V_o d^2 \delta}{18\eta} p \left(1 - \frac{d_c}{d}\right) + \frac{d}{2}$$

En esta ecuación d_c está definido como diámetro crítico

$$d_c = \frac{1}{V_o} \left(\frac{12K'}{\eta \rho_p} \right)^{1/2}$$

Cualitativamente, la ecuación significaría que partículas de diámetro igual o menor que d_c no se pueden redepositar. Este hecho muestra una inconsistencia del modelo que el mismo Beal hace notar; sin embargo resulta valiosa la indicación cualitativa del rango de tamaño de partícula donde se convierte en importante el efecto de la barrera de potencial.

Para las condiciones químicas y fluidodinámicas de la CNA es de aproximadamente 0,5 μ m, valor que está en buena coincidencia con las medidas experimentales de partículas de crud en suspensión en la Central que oscilan entre 3 y 0,1 μ m. Debe destacarse el rol del pH en la deposición de partículas por la variación acentuada que induce en la altura de la barrera K.

El coeficiente de deposición dado por Friedlander y Johnstone vale

$$\frac{K}{\bar{V}} = \frac{\frac{f/2}{1 + \sqrt{f/2} \left(\frac{1525}{S^+} - 50.6 \right)}}{\text{con } S^+ = \frac{S \cdot \bar{V} \rho \sqrt{f/2}}{\mu}}$$

Cálculos mediante esta fórmula dan coeficientes de deposición que superan los de la CNA en un factor 10. No obstante es de señalarse que existe una buena correspondencia cualitativa con efectos tales como la variación de las viscosidades y velocidades en paradas y arranques de la Central.

Conclusiones

Se ha desarrollado un modelo que vincula la interacción entre fuerzas hidrodinámicas y coloidales en la deposición de partículas. El mismo parece comportarse cualitativamente bien con la experiencia operativa en Centrales Nucleares.

δ_p = densidad de las partículas

d = diámetro de las partículas

$\bar{V}$ = velocidad media del fluido

V = velocidad de la partícula

η = viscosidad

Referencias

S.K. Friedlander and H.E. Johnstone, Ind. Eng. Chem., 49, 1151 (1957).

S.K. Beal, Nucl. Sci. and Eng. 40, 1, 1970.

K.A. Burrill, Can. S. Chem. Eng. 55, 54 (1977).

D.H. Lister, Nucl. Sci. and Eng. 59, 406 (1976).

M.A. Blesa, R. Fernández Prini, J.H. García, A.J.G. Maroto, F.M. Roumigiére y R.A. Sainza.

Actas de la Reunión Científica de la AATN, Alta Gracia (1977).

A.J.G. Maroto, M.A. Blesa, S.I. Passagio y A.E. Regazzoni.

Actas de la Second International Conference on Water Chemistry of Nuclear Reactor System, British Nuclear Energy Society (1980).