Materiales II

08_08_01.mcd

(Refractarios, conducción de calor) Una aplicación importante de algunos materiales cerámicos es como materiales refractarios, es decir, materiales con una baja conductividad térmica que permiten aislar térmicamente de su entorno unidades como hornos, crisoles, componentes de alta temperatura o criogénicos, etc. Para la transmisión de calor por conducción a través de un material sólido refractario existe una analogía exacta con la difusión de materia estudiada en el capítulo 4 del programa. La equivalencia entre las diversas magnitudes físicas es:

- temperatura (K) ↔ concentración (átomos/m^3 o kmol/m^3)
- flujo calorífico (W/m^2) ↔ flujo másico (átomos/m^2s o kmol/m^2s)
- difusividad térmica (m^2/s) ↔ difusividad másica (m^2/s)

y el tiempo y la coordenada espacial tienen el mismo significado en ambos. La difusividad térmica α de un material se define como el cociente entre la conductividad térmica del material (k) y el producto de la densidad del material por la capacidad calorífica del material (ρ.Cp): α=k/(ρCp).

En la puesta en marcha o arranque de un horno de vidrio, las paredes del horno están inicialmente a una temperatura ambiente de $T_0 = 330K$. Para arrancar el horno se encienden en su interior quemadores de gas que calientan el horno por radiación de manera que la pared interior del mismo se mantiene desde el momento inicial y durante todo el arranque a $T_s = 1800K$. Una de las paredes del horno es plana, tiene un espesor de $H = 0.67m$ y está construida con ladrillos cerámicos refractarios, cuyas propidades son:

conductividad térmica $k = 0.33\,\frac{W}{m\cdot K}$, densidad $\rho = 2300\,\frac{kg}{m^3}$ kg/m ^{3}, capacidad calorífica $C_p = 3030\,\frac{J}{kg\cdot K}$

Para monitorizar el arranque, se ha instalado un termistor (sonda de temperatura) dentro de la pared a una profundidad de $h = 0.01m$ medida desde la cara interior del horno. Se considera que el arranque del horno está completado, y que por tanto puede cargarse con los componentes necesarios para fabricar el vidrio, cuando la temperatura en el punto en que está instalada la sonda ha alcanzado $T_h = 1200K$.

Determina cuánto tiempo dura la puesta en marcha del horno según el criterio descrito.

nota: tener en cuenta que el espesor de la pared (H) es muy superior a h.

Solución: por la analogía entre los transportes de materia y energía, y puesto que h>>H, la variación de la temperatura con el espesor de la pared (z, medido desde la superficie) y con el tiempo (t) está dada por:

$$\frac{T_s - T(z)}{T_s - T_0} = \mathrm{erf}\left(\frac{z}{2\sqrt{\alpha\cdot t}}\right) \qquad \text{con} \qquad \alpha = \frac{k}{\rho\cdot C_p} \qquad \alpha = 4.735\times 10^{-8}\,m^2 s^{-1}$$

Como las temperaturas inicial, en la pared interior y la que debe alcanzarse en la sonda son conocidas:

$$\frac{T_s - T_h}{T_s - T_0} = 0.408$$

y el valor del argumento de la función error para el que se cumple que $\mathrm{erf}(\mathrm{argumento}) = \frac{T_s - T_h}{T_s - T_0}$

es: argumento $= 0.379$. Despejando el tiempo obtenemos:

$$t = \frac{h^2}{4\alpha\cdot \mathrm{argumento}^2} \qquad t = 3.685\times 10^3\,s$$