Cálculo de las necesidades de energía en un horno de relevo de esfuerzos

Energy needs calculation in an effort relieve kiln

E. A. Auces y J. A. Rodríguez
Departamento de Ingeniería, Universidad de Monterrey,
Morones Prieto 4500 Pte. Garza García, Nuevo León, México.
eauces@udem.edu.mx

Resumen

El estudio se enfoca en el cálculo de las necesidades de energía en un horno cuyo uso es el relevo de esfuerzos, en el cual las piezas son sometidas a un tratamiento térmico después de un proceso de soldadura; para ello se utilizaron los principios termodinámicos de combustión y transferencia de calor. El cálculo del requerimiento de energía se basa en un balance de materia y energía considerando que la energía alimentada por los gases de combustión es igual a la energía que se absorbe tanto en el producto como en las paredes del horno más la que se pierde por conducción, radiación y con los gases de combustión que salen por las chimeneas. Una singularidad importante es que las paredes del horno están consideradas como colchoneta de fibra cerámica.

Palabras claves: Energía, horno, relevo de esfuerzos.

Abstract

This study is focused in the calculation of energy needs in an effort relieve kiln whose pieces have been termichaly treated after a welding process. In this way, combustion and heat transfer principles were used. Energy needs calculation is based on mass and energy balance and the consideration that combustion gas inner energy is equal to product absorbed energy and kiln walls plus lost energy for convection, radiation and outer combustion gas. Important stuff is that kiln walls are considered like a ceramic fiber sheet.

Key words: Energy, kiln, effort relieve.

1 Introducción

Entre las consideraciones principales en el diseño de un horno se encuentran las necesidades de energía para las condiciones de trabajo requeridas, el material de construcción de las paredes, la forma en que se transportará el material que va a ser sometido al tratamiento térmico; factor importante cuando se trata de piezas de más de 30 toneladas, las cuales pueden variar en su forma y tamaño.

Se presenta aquí un modelo para el cálculo del requerimiento de energía de un horno intermitente (se trabaja por cargas) de dimensiones de 6mx6mx12m, para dar tratamiento térmico a una pieza de 50 toneladas de acero A36 la cual inicia a una temperatura de 25 ºC hasta alcanzar una temperatura de sostenimiento de 650 ºC, todo esto en 24 horas. El combustible considerado es gas LP que se compone de 70 % propano y 30 % butano.

2 Bases teóricas

2.1 Balance de energía

Se parte de un balance de energía en el que se establece que la cantidad de calor que entra al horno es igual a la cantidad de calor que sale más la que se acumula, Fig.1. Tomando en cuenta esto, se seleccionan los elementos que de alguna manera pueden ganar calor o por los cuales éste puede fugarse o perderse. Estos elementos son: El producto o pieza a tratar, las paredes del horno y las aberturas.

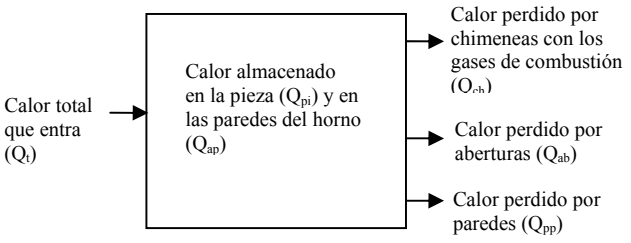

Fig. 1. Balance de calor para un horno intermitente.

2.2 Calor ganado por el producto

El calor ganado por la pieza se calcula con la ecuación:

$$Q_{pi} = m\sum Cp_{pi}\Delta T \quad (1)$$

Donde Q_{pi} es el calor que gana la pieza que se somete al tratamiento (kJ), m es la masa total de la pieza (kg), Cp_{pi} es el calor específico del material del que está hecha la pieza (kJ/kg.ºC); debido a que el calor específico del acero varía con la temperatura se calcula el calor que se va absorbiendo a intervalos adecuados de temperatura ΔT entre la temperatura a la que entra la pieza al horno y la temperatura máxima que alcanza (ºC).

2.3 Calor almacenado en las paredes del horno

$$Q_{ap} = m\,Cp_{ap}\Delta T \quad (2)$$

Donde Qap es el calor almacenado en las paredes del horno (kJ), m es la masa de las paredes del horno (kg), Cpap es el calor específico del material del que está compuesta la pared del horno (kJ/kg.ºC) y ΔT es la diferencia entre las temperaturas media de las paredes y la temperatura ambiente (ºC).

2.4 Calor perdido por las paredes del horno

Aquí se utilizan los factores de forma para la conducción al considerarse un problema de flujo de calor multidimensional entre dos superficies las cuales se consideran a temperatura uniforme; si existieran otras superficies, se consideran adiabáticas: (Mills, 1995).

$$Q_{pp} = kS\Delta S \quad (3)$$

Donde Q_{pp} es el calor que se pierde a través de las paredes (W), k es la conductividad térmica promedio del material del que está compuesta la pared (W/m.ºC) ya que ésta varía significativamente con la temperatura, S es el factor de forma tomando en cuenta las aristas, las esquinas y las paredes (m), y ΔT es la diferencia entre las temperaturas de la superficie interior y exterior del horno (ºC).

2.5 Pérdidas por aberturas

$$Q_{ab} = Q_r(AET) \quad (4)$$

Donde Qab es el calor que se pierde por radiación a través de las aberturas que existen en el horno (kJ/hr), Qr es el calor radiado (kJ/hr.m2) y AET es el área total efectiva por la cual se pierde calor (m2). En nuestro caso, se toma como aberturas las chimeneas.

El calor radiado se calcula con:

$$Q_r = \sigma(T_G^4 - T_a^4) \quad (5)$$

Donde α es la constante de Stefan – Boltzmann, TG la temperatura de los gases dentro del horno y Ta es la temperatura ambiente.

2.6 Pérdidas por transporte

Las pérdidas de energía que pudieran existir debido a la plataforma que transporta a la pieza, han sido eliminadas al considerar a ésta como un piso aislado.

2.7 Calor total requerido en el horno

Se obtiene mediante la ecuación

$$Q_t = \frac{Q_d}{\%Q_d} \quad (6)$$

Donde Qt es el calor total requerido en el horno (kcal), Qd es el calor disponible, es decir, la suma del calor absorbido y perdido por los elementos que componen al horno (kcal),

$$Q_d = Q_{pi} + Q_{ap} + Q_{pp} + Q_{ab} \quad (7)$$

y $\%Q_d$ es el porcentaje de calor disponible (North American Manufacturing Co.)

2.8 Pérdidas por chimenea

Se determina por la siguiente ecuación

$$Q_{ch} = Q_t - Q_d \quad (8)$$

Donde Qch es el calor que sale por las chimeneas (kcal), Qt es el calor total (kcal) y Qd es el calor disponible (kcal).

2.9 Reacciones de combustión

Considerando que el combustible es gas LP que se compone de 70 % propano y 30 % butano y dando un 10 %

de exceso de aire tenemos las siguientes reacciones de combustión:

Para el propano:

$$C_3H_8 + 5{,}50O_2 + 20{,}68N_2 = 3CO_2 + 4H_2O + 0{,}50O_2 + 20{,}68N_2 \quad (9)$$

Para el butano:

$$C_4H_{10} + 7{,}15O_2 + 26{,}88N_2 = 4CO_2 + 5H_2O + 0{,}65O_2 + 26{,}88N_2 \quad (10)$$

Con estas dos reacciones se desarrolla un balance de masa:

masa de reactantes = masa de productos.

2.10 Poder calorífico inferior promedio del combustible

El poder calorífico inferior (PCI) del propano es 46,30 MJ/kg y para el butano es 45,70 MJ/kg (Avallone y Baumeister, 1995) y el poder calorífico inferior promedio (PCIprom) del combustible es 46.120,00 kJ/kg el cual se calculó con la siguiente ecuación:

$$PCI_{prom} = 0{,}30PCI_{butano} + 0{,}70PCI_{propano} \quad (11)$$

2.11 Determinación de la temperatura de los gases de combustión (T_G) a la entrada y a la salida del horno

Para ello se utiliza la siguiente ecuación (Kern, 1998) la cual se maneja en forma iterativa.

$$Q_G = W(1+G')Cp_{prom}(T_G - 25\,^{\circ}C) \quad (12)$$

Donde QG es la velocidad del calor perdido en los gases de combustión, W es el gasto de combustible (kg/hr), G' es la razón de masa de aire a masa de combustible, Cpprom es el calor específico promedio de los gases de combustión a una temperatura TG (ºC) y (1 + G') es la razón de masa de gases que abandonan la sección radiante a masa de combustible quemado. Para los cálculos QG = Qch.

El gasto de combustible se calcula con:

$$W = \frac{Q_t}{PCI_{prom}} \quad (13)$$

2.12 Determinación de T_G a la salida. Método por tanteos

Dado que los calores específicos de los gases de combustión varían con la temperatura, se inicia el cálculo suponiendo una temperatura de salida de los gases TG y con ésta se calcula el Cpprom, luego de la Ec. (12) se calcula TG y si el valor supuesto es igual al calculado, se llega a la temperatura de los gases se salida. De no ser así, se supone otra temperatura TG, esto trae como consecuencia una variación en el valor de Qt de la Ec. (6) ya que se modifica el %Qd y esto a su vez modifica el valor de Qch al variar Qt de la Ec. (8), esto hace que W de la Ec. (13) también se modifique y por lo tanto QG. Cabe mencionar que también cambia el Cpprom de los gases. Se vuelve a calcular TG de la misma Ec. (12). Si la TG calculada es igual a la supuesta, se llega al resultado deseado.

2.13 Determinación de T_G a la entrada. Método por tanteos

Se sigue el mismo procedimiento anterior pero ahora QG tiene el mismo valor que el calor total Qt que resultó de la última iteración para calcular la temperatura de los gases de combustión a la salida del horno. Tanto este valor como los de W y G` que resultaron de la última iteración permanecen constantes, lo único que variará con la temperatura será el Cpprom. Con la misma Ec. (12) se pueden comprobar los resultados de los cálculos de energía utilizando las temperaturas de los gases de entrada y de salida, y un Cpprom evaluado entre estas mismas temperaturas.

2. 14 Necesidades de energía

Una vez realizados los cálculos con el método propuesto se obtuvieron los resultados de la necesidad de energía que se requiere dentro del horno para llevar a cabo el tratamiento térmico. Éstos se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 1. Necesidades de energía

	kJ/hr	En 24 horas
Calor almacenado en la pieza (Q_{pi})	792.371,20	19.016.909,20
Calor almacenado en las paredes del horno (Q_{ap})	97.877,40	2.349.058,50
Calor perdido por aberturas (Q_{ab})	160.272,00	3.846.527,40
Calor perdido por paredes (Q_{pp})	512.515,20	12.300.364,50
Calor disponible (Q_d) es la suma de los anteriores	1.563.035,80	37.512.859,60
Calor perdido por chimeneas con los gases de combustión (Q_{ch})	1.762.572,20	42.301.733,50
Calor total requerido (Q_t)	3.325.608,00	79.814.593,10

Considerando que el poder calorífico inferior promedio del combustible es 46.120,00 kJ/kg y que se trabaja el horno por 24 horas, se requieren 1.730,60 Kg. de gas LP que equivalen a 68,30 kg/hr.

3 Selección del aislante que forma las paredes del horno

La selección del aislante se efectuó haciendo una comparación de las características que los diferentes aislantes proporcionan. En la NOM-009-ENER-1995, la Secretaría de Energía recomienda utilizar para una

superficie plana a 650 °C, 20,32 cm de lana mineral de 144,00 kg/m^3. Para los cálculos se ha considerado 10,16 cm de fibra cerámica de 128,00 kg/m^3, ya que este material reduce el espesor de la pared y su peso, lo que ayuda en el momento de realizar el diseño estructural; además, la cantidad de calor que se pierde a través de ésta es muy semejante al que se pierde utilizando el aislante recomendado por la Secretaría de Energía.

4 Conclusiones

Apoyándose en los principios básicos de balances de materia y energía complementados con los termodinámicos de combustión y transferencia de calor, se puede llegar a resultados satisfactorios en el cálculo de las necesidades de un horno por medio de este modelo sencillo. Algo a destacar es el uso de colchas de lana mineral por los beneficios que ésta presenta tanto en ahorro de energía como en su facilidad de instalación y poco peso.

Referencias

Avner S, 1988, Introducción a la metalurgia física, McGraw-Hill, Segunda Edición, USA.

Baumeister T y Avallone E, 1995, Manual del Ingeniero Mecánico de Marks, McGraw Hill, USA.

Cengel Y y Boles M, 1996, Termodinámica, Tomo II. McGraw-Hill. México.

Geankoplis Ch, 1986, Procesos de transporte y operaciones unitarias, CECSA, México.

Incropera F y DeWitt D, 1998, Fundamentos de transferencia de calor, McGraw-Hill, Cuarta Edición, México.

Kern D, 1998, Procesos de transferencia de calor, CECSA, México.

Mills A, 1995, Transferencia de calor, IRWIN, España.

Pérez-Verdia A, 1998, Seminario de control y optimización de sistemas de combustión, Sociedad de Cerámica Zona Norte, México.

North American Manufacturing Company, Ltd, Percent available heat with preheated air, Handbook Supplement, 155a, 10-91.

Perry R, 1998, Manual del ingeniero químico, McGraw-Hill, USA.

Russell L y Adebiyi G, 1997, Termodinámica Clásica, Addison Wesley, USA.

Smith J y Van Ness H, 1980, Introducción a la termodinámica en ingeniería química, McGraw-Hill, México.