

MÔ HÌNH TOÁN HỌC XÁC ĐỊNH BIẾN THIÊN NHIỆT ĐỘ BỀ MẶT TƯỜNG LÒ QUAY

MODELING OF THE TEMPERATURE FLUCTUATIONS IN THE WALL OF THE ROTARY KILN

Nguyễn Đăng Khoát

TÓM TẮT

Bài báo trình bày mô hình toán học xác định biến thiên nhiệt độ bề mặt bên trong tường lò quay. Kết quả thu được là cơ sở nghiên cứu các quá trình truyền nhiệt xảy ra bên trong lò và là cơ sở để xác định thông số vận hành hợp lý nhằm tiết kiệm năng lượng và tăng tuổi thọ của thiết bị.

Từ khóa: Mô hình toán học, biến thiên nhiệt độ, lò quay.

ABSTRACT

The paper presents mathematical models of the temperature fluctuations in the wall of the rotary kiln. The result is the basis for studying the heat transfer processes that occur inside the furnace and is the basis for determining reasonable operating parameters to save energy and increase the life of the device.

Keywords: Mathematical model, temperature fluctuation, rotary kiln.

Trường Đại học Giao thông Vận tải

Email: ndkhoat1979@gmail.com

Ngày nhận bài: 20/12/2019

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 05/02/2020

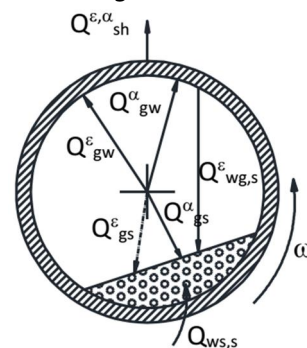
Ngày chấp nhận đăng: 20/02/2020

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Lò quay là một trong những loại lò công nghiệp được ứng dụng rất phổ biến hiện nay, trong nhiều lĩnh vực công nghệ khác nhau như xử lý chất thải, nung luyện vật liệu, đặc biệt là trong công nghệ sản xuất xi măng. Trong công nghiệp sản xuất xi măng, chất lượng sản phẩm cũng như mức độ tiết kiệm năng lượng được quyết định chủ yếu bởi các quá trình trao đổi nhiệt hay chế độ gia nhiệt cho lò. Bởi vậy, nghiên cứu các quá trình trao đổi nhiệt trong lò quay sẽ góp phần làm giảm tiêu hao nhiên liệu, nâng cao chất lượng sản phẩm và qua đó tác động rất lớn tới việc giảm giá thành sản phẩm.

Chuyển động quay của lò là nguyên nhân chính tạo ra tính đặc trưng về truyền nhiệt so với các lò công nghiệp đứng yên. Các đặc trưng này thể hiện ở quá trình truyền nhiệt giữa tường với môi trường bên ngoài, giữa tường với khí và vật nung. Để nghiên cứu vai trò của tường lò trong các quá trình truyền nhiệt của lò quay, người ta phải xây dựng các mô hình toán học mô tả các quá trình truyền nhiệt xảy ra trong lò rồi từ đó tính toán lượng nhiệt trao đổi giữa tường lò với các thành phần tham gia trao đổi nhiệt khác. Vấn đề này trở nên phức tạp khi chỉ phải nghiên cứu riêng rẽ vai trò của tường lò trong quá trình truyền nhiệt.

Tường lò sau khi nhận nhiệt từ dòng khí bằng bức xạ và đối lưu, một phần bị tổn thất ra môi trường bên ngoài qua vỏ lò, một phần truyền nhiệt cho bề mặt vật nung bằng bức xạ, phần còn lại truyền cho vật nung khi chúng tiếp xúc với nhau (hình 1). Cơ chế truyền nhiệt kiểu này chỉ xảy ra đối với các thiết bị như lò quay. Đây là quá trình truyền nhiệt rất phức tạp, bao gồm cả ba phương thức truyền nhiệt cơ bản: dẫn nhiệt, đối lưu và bức xạ. Hầu hết các công trình nghiên cứu về hình thái trao đổi nhiệt kiểu này đều tập trung xây dựng công thức xác định lượng nhiệt trao đổi giữa tường lò và vật nung khi tiếp xúc với nhau. Barr [4], Jenkins B. G [8], Gorog [6, 7] đều xây dựng công thức tính toán bằng cách giải bài toán dẫn nhiệt không ổn định một chiều khi điều kiện biên thay đổi một cách tuần hoàn theo hàm lượng giác đơn giản. Tuy nhiên, trong cách biểu diễn biến thiên nhiệt độ bề mặt tường lò của các tác giả trên, nhất thiết phải xác định được nhiệt độ cực đại và nhiệt độ cực tiểu của tường lò. Xác định nhiệt độ của tường lò quay đang hoạt động là điều hết sức khó khăn, do đó các công thức tính toán kể trên rất khó áp dụng trong thực tiễn. Nhằm làm cơ sở nghiên cứu ảnh hưởng của tường lò đến quá trình truyền nhiệt trong lò quay, bài báo tập trung xây dựng mô hình toán học xác định biến thiên nhiệt độ bề mặt bên trong tường lò theo chuyển động quay hay theo thời gian.



Hình 1. Các quá trình truyền nhiệt trong lò quay

2. GIẢI QUYẾT VẤN ĐỀ

2.1. Phương trình xác định biến thiên nhiệt độ bề mặt bên trong tường lò

Do chuyển động quay của lò, nhiệt độ bề mặt tường lò không ổn định như các loại lò công nghiệp khác mà thay đổi theo từng vòng quay: nhiệt độ bề mặt tăng dần theo thời gian khi tiếp xúc với dòng khí, đạt đến giá trị cực đại

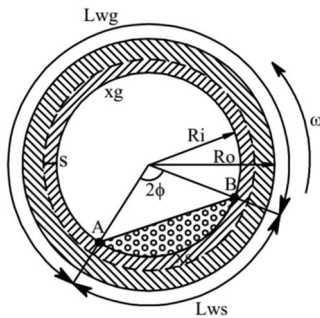
($T_{w, \max}$), sau đó giảm dần theo thời gian khi tiếp xúc với vật nung cho đến khi đạt giá trị cực tiểu ($T_{w, \min}$) trước khi bắt đầu một chu kỳ mới. Theo Sri Silvia Agustini [10], dọc theo phía chiều dày tường, lớp vật liệu tường lò ở gần bề mặt trong có nhiệt độ gần như nhau và chỉ thay đổi theo chuyển động quay của lò. Từ đó, trên cơ sở phân tích quá trình trao đổi nhiệt giữa tường lò với khí, tường lò với vật nung; nhận được các phương trình cân bằng nhiệt sau đây:

Phương trình cân bằng nhiệt của tường lò trong vùng tiếp xúc với vật nung:

$$\alpha_{ws} \cdot F \cdot (T_{x_s} - T_s) \cdot d\tau = - c \cdot \rho \cdot V \cdot dT \tag{1}$$

Phương trình cân bằng nhiệt của tường lò trong vùng tiếp xúc với khí:

$$\alpha_{wg} \cdot F \cdot (T_{x_g} - T_g) \cdot d\tau = - c \cdot \rho \cdot V \cdot dT \tag{2}$$



Hình 2. Thiết diện ngang lò quay

Giải phương trình (1) xác định được biến thiên nhiệt độ bề mặt tường lò theo thời gian trong vùng tiếp xúc với vật nung. Theo chiều chuyển động quay của lò, biến đổi phương trình (1):

$$\int_{T_{w, \max}}^{T_{x_s}} \frac{dT}{T_{x_s} - T_s} = - \int_0^{\tau_s} \frac{\alpha_{ws} \cdot F}{c \cdot \rho \cdot V} \cdot d\tau$$

Suy ra: $T_{x_s} = T_s + (T_{w, \max} - T_s) \cdot \exp\left(-\frac{\alpha_{ws} \cdot F}{c \cdot \rho \cdot V} \cdot \tau_s\right)$ (3)

Trong đó:

$F = \delta$ - chiều dày lớp tường lò có nhiệt độ như nhau

theo phương bán kính, m

Theo [10], $\delta = 2 \cdot \sqrt{a \cdot \frac{\phi}{n \cdot \pi}} \cdot 0,81 \cdot \ln\left(1 + 4 \cdot \frac{\alpha_{ws} \cdot \sqrt{\phi \cdot \pi}}{\pi \cdot \sqrt{\lambda \cdot c \cdot \rho \cdot n}}\right)$

$\tau_s = \frac{x_s}{\omega}$ - thời gian tường lò tiếp xúc với vật nung, s

$\omega = \frac{\pi \cdot D_i \cdot n}{60}$ - tốc độ chuyển động quay của lò, m/s

ϕ - một nửa góc chắn bởi cung tròn chứa vật nung, rad

a - hệ số dẫn nhiệt độ của tường lò, m^2/s

Thay các đại lượng vào (3) nhận được phương trình toán học xác định biến thiên nhiệt độ bề mặt tường lò trong vùng tiếp xúc với vật nung:

$$T_{x_s} = T_s + (T_{w, \max} - T_s) \cdot \exp\left(-\frac{\alpha_{ws}}{c \cdot \rho \cdot \omega} \cdot \frac{x_s}{\delta}\right) \tag{4}$$

Biến đổi tương tự, từ phương trình (2) nhận được phương trình toán học xác định biến thiên nhiệt độ bề mặt tường lò trong vùng tiếp xúc với khí:

$$T_{x_g} = T_g + (T_{w, \min} - T_g) \cdot \exp\left(-\frac{\alpha_{wg}}{c \cdot \rho \cdot \omega} \cdot \frac{x_g}{\delta}\right) \tag{5}$$

Trong các phương trình (4), (5), nhiệt độ bề mặt tường lò tại các điểm đặc trưng (điểm A, điểm B) được xác định như sau:

$T_A = T_{w, \max} = T(x_g = L_{wg})$

$T_B = T_{w, \min} = T(x_s = L_{ws})$

Hệ gồm hai phương trình (4) và (5) chính là mô hình toán xác định biến thiên nhiệt độ bề mặt bên trong tường lò quay.

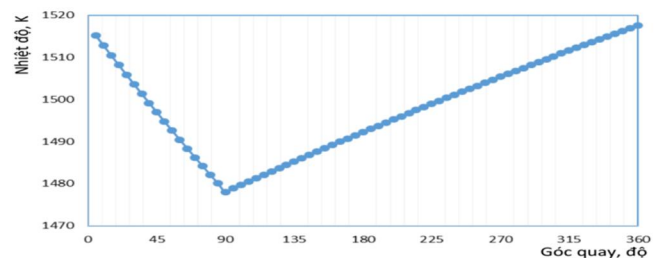
2.2. Đối tượng và kết quả tính toán

Đối tượng tính toán được lựa chọn là lò quay xi măng Hạ Long. Các thông số cơ bản của lò quay được Nhà máy xi măng Hạ Long cung cấp; các thông số nhiệt vật lý được tính toán trên cơ sở phân tích các quá trình trao đổi nhiệt xảy ra trong lò [2, 3]. Các thông số tính toán này được trình bày trong bảng 1.

Bảng 1. Các thông số tính toán của lò quay

Đại lượng	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
Đường kính trong	D_i	4	m
Tốc độ quay	n	3	vòng/phút
Hệ số tỏa nhiệt đối lưu giữa tường lò và vật nung	α_{ws}	70	W/m^2K
Hệ số tỏa nhiệt đối lưu giữa khí và tường lò	α_{wg}	30	W/m^2K
Hệ số dẫn nhiệt của tường lò	λ	2	W/mK
Nhiệt dung riêng của tường lò	c	1040	J/kgK
Khối lượng riêng của tường lò	ρ	2100	kg/m^3
Nhiệt độ của khí	T_g	1673	K
Nhiệt độ của vật nung	T_s	1273	K

Chia góc quay theo chiều chuyển động của lò thành 72 phần tử bằng nhau, mỗi phần tử có số đo góc là 5 độ. Sử dụng phần mềm Microsoft Excel, giải phương trình (4), (5) cho 72 phần tử sẽ được quy luật phân bố nhiệt độ bề mặt bên trong tường lò. Kết quả tính toán được thể hiện trên đồ thị hình 3.



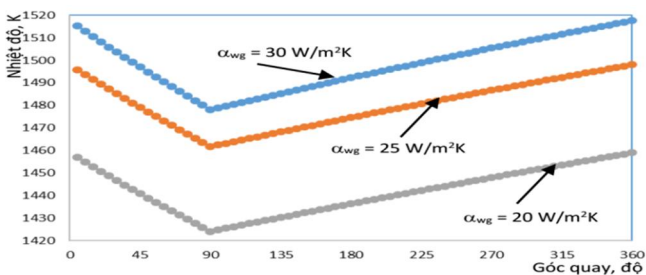
Hình 3. Biến thiên nhiệt độ bề mặt bên trong tường lò quay

Đồ thị hình 3 nhận thấy, tường lò sau khi nhận nhiệt từ môi trường khí sẽ đạt giá trị cực đại tại vị trí 0 độ (vị trí tường bắt đầu tiếp xúc với vật nung) sẽ truyền cho vật

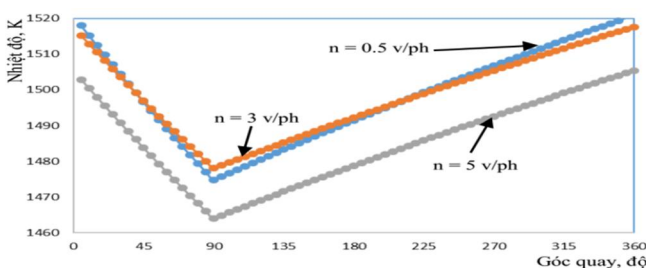
nung khi chúng tiếp xúc với nhau, nhiệt độ của tường giảm dần đến giá trị cực tiểu tại vị trí 90 độ tính từ thời điểm tường lò bắt đầu tiếp xúc với vật nung theo chiều chuyển động quay của lò. Sau đó, tường lò lại nhận nhiệt từ môi trường khí bằng bức xạ và đối lưu, nhiệt độ tăng dần đến giá trị cực đại tại vị trí 360 độ. Kết quả tính toán nhận thấy, vị trí nhiệt độ tường lò đạt giá trị cực đại tại 360 độ trùng khớp với vị trí tại 0 độ. Kết quả này phù hợp với quy luật biến thiên nhiệt độ bề mặt tường lò trong các lò quay thực tế. Ngoài ra, mô hình toán học biểu diễn biến thiên nhiệt độ tường lò đã xây dựng ở trên còn cho phép xác định nhiệt độ tường lò tại hai vị trí đặc trưng là nhiệt độ cực đại ($T_{w,max} = T_A$) và nhiệt độ cực tiểu ($T_{w,min} = T_B$).

Với các thông số trong bảng 1, tính toán được biến thiên nhiệt độ bề mặt bên trong tường lò $T_{w,max} - T_{w,min} = 38,75K$. Kết quả này phù hợp với kết quả nghiên cứu của Gorog J. P [6], theo đó biến thiên nhiệt độ bề mặt bên trong tường lò không bao giờ vượt quá 100K. Dựa trên kết quả thu được từ lò quay đang vận hành tại nhà máy xi măng Hạ Long, nhận được sai lệch là 1,83%. Từ đây, có thể khẳng định rằng, mô hình toán học đã xây dựng cho phép biểu diễn đủ chính xác biến thiên nhiệt độ bề mặt bên trong tường lò quay, là cơ sở quan trọng để nghiên cứu các quá trình truyền nhiệt xảy ra bên trong lò.

Từ kết quả đạt được, tiến hành nghiên cứu ảnh hưởng của hệ số tỏa nhiệt và tốc độ chuyển động quay của lò đến biến thiên nhiệt độ tường lò. Kết quả tính toán được thể hiện trên đồ thị hình 4, 5.



Hình 4. Biến thiên nhiệt độ bề mặt tường lò khi hệ số tỏa nhiệt giữa khí và tường thay đổi



Hình 5. Biến thiên nhiệt độ bề mặt tường lò khi tốc độ quay của lò thay đổi

Từ đồ thị hình 4 nhận thấy, khi hệ số tỏa nhiệt giữa khí và tường lò giảm, trong khi giữ nguyên các yếu tố khác thì nhiệt độ cực đại mà tường lò nhận được từ môi trường khí giảm. Điều này phù hợp với quy luật và cơ chế truyền nhiệt của các đối tượng tham gia quá trình trao đổi nhiệt [1, 5]. Vì vậy, để tăng khả năng truyền nhiệt của tường lò cho vật nung thì cần tăng hệ số tỏa nhiệt giữa khí và tường lò.

Khi tăng tốc độ chuyển động quay của lò và giữ nguyên các thông số còn lại thì thời gian tường tiếp xúc với môi trường khí giảm, làm cho mức nhiệt độ mà tường lò nhận được từ khí giảm. Do đó nhiệt lượng tường truyền cho vật nung sẽ giảm. Điều này được thể hiện trên kết quả nghiên cứu ở đồ thị hình 5. Cũng từ đồ thị hình 5 nhận thấy, khi tăng tốc độ chuyển động quay của lò từ 3 vòng/phút lên 5 vòng/phút thì mức nhiệt độ của tường giảm rõ rệt, nhiệt độ cực đại giảm từ 1517,62K xuống còn 1505,39K. Không những vậy, tăng tốc độ chuyển động quay của lò còn ảnh hưởng đến thời gian lưu lại của vật nung trong lò, qua đó ảnh hưởng đến chất lượng sản phẩm. Vì vậy, đối với các lò quay xi măng, tốc độ chuyển động quay của lò thường dao động từ 0,5 ÷ 3 vòng/phút [9].

3. KẾT LUẬN

Trên cơ sở phân tích vai trò của tường lò trong các quá trình truyền nhiệt của lò quay, đã xây dựng và giải thành công mô hình toán học xác định biến thiên nhiệt độ bề mặt bên trong tường lò quay. Đây là kết quả mới về khoa học, đã ứng dụng thành công cho lò quay xi măng Hạ Long và từ đây có thể ứng dụng cho các lò quay khác nhau.

Mô hình toán học đã xây dựng cho phép nghiên cứu ảnh hưởng của một số yếu tố đến mức nhiệt độ của tường lò, đây là thông số ảnh hưởng đến khả năng truyền nhiệt của tường cho vật nung cũng như ảnh hưởng đến tuổi thọ của kết cấu vật liệu tường lò. Do đó, kết quả đạt được là cơ sở để xác định các thông số vận hành hợp lý nhằm tiết kiệm năng lượng và tăng độ bền của thiết bị.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Đặng Quốc Phú, Trần Thế Sơn, Trần Văn Phú, 2004. *Truyền nhiệt*. NXB Giáo dục.
- [2]. Trần Gia Mỹ, Nguyễn Đăng Khoát, 2014. *Nghiên cứu quá trình truyền nhiệt không cân bằng từ ngọn lửa than phun trong lò quay xi măng*. Tạp chí Năng lượng nhiệt, 120, P5-9.
- [3]. Trần Gia Mỹ, Nguyễn Đăng Khoát, 2015. *Mô hình truyền nhiệt trong lò quay xi măng có kể đến ảnh hưởng của sự không cân bằng trường nhiệt độ*. Tạp chí Năng lượng nhiệt, 125, P33-37.
- [4]. Barr P. V., 1986. *Heat Transfer Processes in Rotary Kilns*. PhD. Thesis, The University of British Columbia, Vancouver, Canada.
- [5]. Holman J. P., 2010. *Heat Transfer*. Tenth Edition, McGraw - Hill, New York.
- [6]. J. P. Gorog J. P., 1982. *Heat Transfer in Direct - Fired Rotary Kilns*. PhD. Thesis, The University of British Columbia, Vancouver, Canada.
- [7]. Gorog J. P., Adams T. N., Brimacombe J. K., 1981. *Radiative Heat Transfer in Rotary Kilns*. Metallurgical Transactions, 12B, pp. 55-70.
- [8]. Jenkins B. G., 1976. *Heat Transfer in Rotary Cement Kilns*. University of Surrey.
- [9]. Moles F. D., Watson D., Lain P. B., 1973. *The Aerodynamics of the Rotary Cement Kiln*. Journal of the Institute of Fuel, 6, pp. 353-362.
- [10]. Sri Silvia Agustini, 2006. *Regeneration action of the wall on the heat transfer for directly and indirectly heated rotary kiln*. Dissertation.

AUTHOR INFORMATION

Nguyen Dang Khoat

University of Transport and Communications