

Ứng dụng tự động hóa trong lò nung con thoi

Cao Thọ Tùng^{1,*}, Nguyễn Thị Luyện¹, Vũ Kiên Trung²

¹Viện nghiên cứu Sành sứ Thủy tinh Công nghiệp

²Công ty TNHH cơ khí thủy lực Sao Việt

TỪ KHOÁ

Lò nung con thoi
Tự động hóa
Gốm sứ kỹ thuật
Điều khiển môi trường
Thiết kế phần mềm

TÓM TẮT

Lò nung con thoi là dạng lò gián đoạn phù hợp với các sản phẩm nung nhanh như gốm sứ mỹ nghệ, dân dụng, sứ vệ sinh hoặc sứ kỹ thuật với yêu cầu nhiệt độ nung cao. Công nghệ tự động hóa trong vận hành lò nung là giải pháp giảm phụ thuộc vào lực lượng lao động phổ thông, nâng cao năng suất và hiệu suất. Trên cơ sở các nghiên cứu đã có cùng với mong muốn làm chủ công nghệ, nhóm tác giả đã thiết kế, chế tạo lò nung con thoi sử dụng gas LPG có nhiệt độ nung tới 1500°C, cài đặt 8 phân đoạn nung, điều khiển tự động quá trình nung. Bài báo trình bày phương án thiết kế, chế tạo lò nung điều khiển tự động. Các kết quả nung thử nghiệm chứng minh được các tính năng của lò nung được thiết kế.

KEYWORDS

Shuttle kiln
Automation
Technical ceramic
Atmosphere control
Software design

ABSTRACT

A shuttle kiln is a batch-type firing kiln that is suitable for fast-firing products such as fine art ceramic, tableware, and sanitary, or technical ceramic products with high firing temperature requirements. Automation technology in furniture manufacturing is a solution to minimize the dependency on a manual workforce and improve productivity and throughput rate. Based on inheriting the available research and getting “know-how” of the technology, the authors propose designing and manufacturing a shuttle using LPG gas with a firing temperature of up to 1500°C, eight firing segments installed, and automatic control of the firing process. This paper presents the results of designing and fabricating the automatically controlled furnace. The printing test results have demonstrated the functionalities of the designed kiln.

1. Giới thiệu chung

Các lò nung đầu tiên được phát hiện ở vùng Cận Đông có niên đại khoảng 8000 năm trước công nguyên với mục đích để sản xuất bánh mì [1]. Cho đến khoảng 4000 năm trước công nguyên, một bước tiến mới trong nung đốt là các lò được xây dựng thẳng. Các lò như vậy giúp nhiệt độ được ổn định hơn, có nhiệt độ nung cao hơn, hiệu quả hơn để sản xuất sản phẩm gốm. Càng về sau, cấu trúc lò càng hoàn thiện hơn với ngăn chứa nhiên liệu riêng phía dưới, phía trên là vật liệu nung. Trong quá trình phát triển rất dài của lịch sử lò nung, đã có nhiều biến thể của nó được phát hiện. Các biến thể có một số khác biệt về hình dạng, cách sắp xếp các chi tiết. Hiện nay, lò nung được chia làm hai loại là lò nung liên tục và lò nung gián đoạn. Lò nung gián đoạn là dạng lò nung làm việc theo mẻ. Vật liệu nung được chất vào lò theo các mẻ.

Thuộc nhóm lò gián đoạn nên lò nung con thoi luôn có những ưu, nhược điểm chung của nhóm. Các ưu điểm có thể kể đến như cấu tạo đơn giản, dễ dàng xây dựng, lắp đặt hay sửa chữa; kích thước đa dạng phù hợp với nhiều nhu cầu sản xuất khác nhau; nhiệt độ làm việc có thể tùy biến theo nhu cầu, miễn là lớp vật liệu có thể chịu được và có thể áp dụng tự động hóa và IOT, giảm chi phí nhân công và tăng mức độ an toàn. Tuy nhiên, lò con thoi cũng tồn tại các nhược điểm như tiêu tốn nhiên liệu định mức cao hơn so với lò nung liên tục; các

mẻ lò bị giới hạn thời gian làm việc và không gian làm việc cố định nên năng suất bị ảnh hưởng.

Trên thế giới hiện nay có nhiều hãng sản xuất lò nung nói chung và lò nung con thoi nói riêng. Có thể chia ra làm ba khu vực sản xuất lớn là phương Tây, Ấn Độ và Trung Quốc. Mỗi khu vực có một đặc trưng riêng. Khu vực phương Tây bao gồm Châu Mỹ và Châu Âu. Đặc thù của các sản phẩm đến từ phương Tây là có chất lượng tốt, tính thẩm mỹ và độ hoàn thiện cao; khả năng đồng bộ tốt và ứng dụng khoa học kỹ thuật đầy đủ. Ấn Độ có sự khác biệt rõ rệt khi vẫn tồn tại rất nhiều lò gốm thủ công phục vụ các hoạt động sản xuất hàng mỹ nghệ hay các cơ sở sản xuất nhỏ lẻ, trình độ sản xuất kỹ thuật trong điều kiện như vậy không cao. Trung Quốc là một thị trường năng động với nhu cầu cao về các sản phẩm gốm sứ. Do đó, nhu cầu sản xuất lò nung ở đây cũng rất cao. Các sản phẩm ở đây có đầy đủ mọi phân khúc từ lò kích thước nhỏ đến kích thước lớn, từ đơn giản đến hiện đại. Đây là thể mạnh cạnh tranh rất lớn khi mà các nước đang phát triển không yêu cầu cao về mức độ an toàn cũng như vấn đề môi trường. Tuy nhiên, chi phí thấp thường sẽ đi kèm với nhiều yếu tố rủi ro về chất lượng sản phẩm cũng như cơ chế bảo hành. Hiện nay, các nhà sản xuất của Trung Quốc cũng nổi lên như một đối trọng đối với phương Tây khi họ cũng có những sản phẩm mang đầy đủ tính tăng cao cấp và an toàn tương tự. Cùng với chi phí đầu tư ban đầu thấp, họ có rất nhiều khách hàng ở các quốc gia đang phát triển (như Việt Nam). Các lò nung con thoi đã

*Liên hệ tác giả: cttung.hut@gmail.com

Nhận ngày 09/11/2023, sửa xong ngày 18/09/2024, chấp nhận đăng ngày 20/09/2024

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.06.2024.593>

có khả năng điều khiển tự động hoặc điều khiển thông qua các thiết bị di động. Thợ đốt lò có khả năng kiểm soát các thông số công nghệ của lò mà không cần trực cạnh lò. Có thể trong tương lai gần, các công nghệ hiện đại đang áp dụng ở phương Tây như tự động phân tích quá trình nung hay IOT (internet of things) cũng sẽ được áp dụng trong các lò nung của họ.

Tại Việt Nam hiện nay, nổi tiếng nhất trong ngành sản xuất lò nung con thoi là Công ty cổ phần thiết kế và sản xuất gốm sứ Bát Tràng của ông Lê Đức Trọng. Vào khoảng những năm 2005-2006, đây là đơn vị đi đầu trong áp dụng công nghệ lò bông đốt gas trong khi thời kì đó các lò nung chủ yếu đốt than. Hiện công ty đã chế tạo và chuyển giao công nghệ được các lò nung cỡ lớn lên đến 130 m³ và đang nghiên cứu hoàn thiện lò nung 150 m³ [2] tiết kiệm năng lượng. Nhiệt độ làm việc của các lò nung do công ty thiết kế và chế tạo chủ yếu là dưới 1300°C nhằm phục vụ nhu cầu của các làng nghề sản xuất gốm sứ trên cả nước.

2. Thiết kế lò nung con thoi tự động

Từ những năm 2002, Viện Nghiên cứu Sành sứ Thủy tinh Công nghiệp đã cử chuyên gia tiếp cận và học tập xây dựng lò con thoi nung gốm tại Thái Lan theo chương trình chuyển giao công nghệ từ Đức. Tiếp sau đó là tiếp cận lò bông gốm được du nhập về năm 2006 từ Đài Loan.

Lò nung tự động được nghiên cứu chế tạo có dung tích hữu ích 1,2 m³. Nhiệt độ nung tối đa tới 1500 °C. Đây là ngưỡng nhiệt độ cao mà rất ít lò nung trong nước đạt tới ngoài các lò nấu thủy tinh và vật liệu chịu lửa. Quy trình tự động cho phép thiết lập 8 công đoạn cài đặt nhiệt độ, đáp ứng được cơ bản nhu cầu của các quy trình nung vật liệu sứ kỹ thuật. Sử dụng nhiên liệu khí gas LPG cho môi trường nung sạch, giảm bụi, tạp chất lẫn vào sản phẩm cũng như khí thải đạt chuẩn khi thải ra môi trường. Áp dụng phương thức đốt cưỡng bức hoàn toàn chủ động trong việc cấp gió cho quá trình đốt cũng như điều khiển lò nung. Toàn bộ quá trình thiết kế, xây dựng lò cũng như lựa chọn chương trình nung do nhóm nghiên cứu tự nghiên cứu, thiết kế, thử nghiệm, hiệu chỉnh trong điều kiện thực tế.

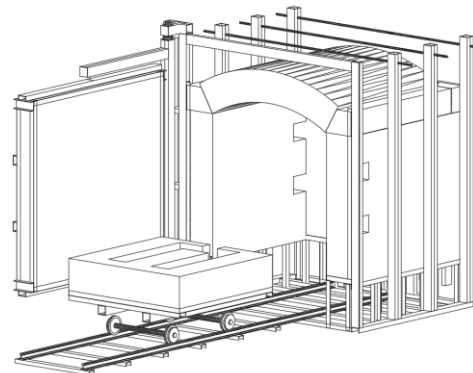
2.1. Thiết kế cơ khí và kết cấu

Thiết kế cơ khí bao gồm lớp vỏ thép khung lò, chân đỡ, ống khói, sàn xe và đường ray được chế tạo bằng thép đúc dày 5mm có sẵn trên thị trường. Gạch sử dụng gồm gạch chịu nhiệt HJM30, gạch cách nhiệt xốp samot Cầu Đuống và bông chịu nhiệt. Các loại gạch xây tường có kích thước tiêu chuẩn. Các khối gạch dị hình được cắt bằng máy đảm bảo độ chính xác theo yêu cầu. Gạch vòm được đặt riêng theo đúng kích thước yêu cầu trong thiết kế [3-6] (Hình 1, 2).

2.2. Thiết kế phần mềm

Hiện nay, do vấn đề bảo mật công nghệ nên các hãng rất hạn chế công bố phương thức điều khiển vận hành tự động lò nung con thoi.

Các báo cáo chủ yếu đi vào giải thích, lựa chọn hệ thống điều khiển PLC hay lọc Karman, fuzzy-PID...[7-9] mà không đi sâu và trình bày thuật toán điều khiển cũng như chương trình vận hành. Hệ thống điều khiển tự động được nghiên cứu và ứng dụng khá sớm tại Việt Nam. Nhóm tác giả Trần Lê Dũng [10] đã báo cáo nghiên cứu xây dựng lò nung và ứng dụng tự động hóa cho lò nung trong dự án cấp nhà nước năm 2003. Dự án đã xây dựng được lò nung 18 m³ có nhiệt độ nung tối đa 1250 °C, đốt tự nhiên và điều khiển tự động quá trình nung. Mức độ chênh lệch nhiệt độ trung bình so với cài đặt là 25 °C. Các vôi được đốt bằng tay.



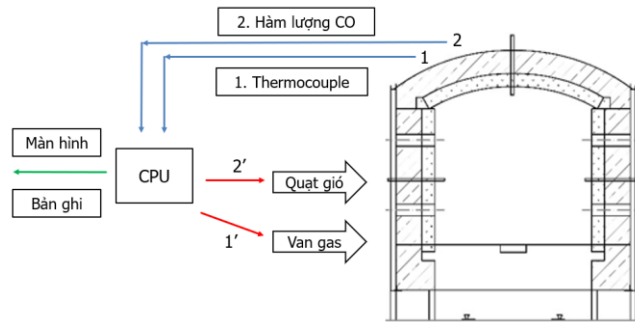
Hình 1. Thiết kế lò nung con thoi.



Hình 2. Lò nung con thoi điều khiển tự động đã lắp đặt.

Mô hình điều khiển nhiệt độ lò nung sản phẩm được xây dựng dựa trên bộ điều khiển PLC (Hình 3). Bộ phận điều khiển tương tác (nút bấm, màn hình HMI) liên kết với bộ điều khiển PLC. Bộ điều khiển PLC nhận tín hiệu từ cặp nhiệt độ được chuyển đổi tương thích bởi mô đun điều khiển analog, phân tích, tích toán và gửi tín hiệu điều khiển lượng gas thông qua các thiết bị vận hành là van điện từ tuyến tính. Hai yếu tố quan trọng trong hệ thống điều khiển là độ chính xác và khả năng phản hồi tín hiệu của hệ thống. Độ chính xác của các cảm biến và khả năng phản hồi tín hiệu tốt sẽ khiến cho quá trình vận hành lò trơn tru, ít có biến động nhiệt và sai số theo cài đặt thấp.

Hệ thống đảm bảo an toàn nung gốm có cảm biến phát hiện ngọn lửa ion, cảnh báo mở van, van điện từ, công tắc áp suất nhằm đảm bảo quá trình nung an toàn.



Hình 3. Mô hình phần mềm điều khiển lò nung.

Mô hình điều khiển môi trường nung dựa trên tín hiệu phản hồi từ cảm biến hàm lượng CO. Tùy theo môi trường nung và cài đặt giới hạn hàm lượng CO cho từng giai đoạn nhiệt độ. Khi hàm lượng CO tăng hay giảm do lượng gas cấp vào thay đổi thì bộ điều khiển tính toán để thay đổi lượng gió cấp vào vòi đốt thông qua biến tần, giữ cho quá trình cháy tạo ra môi trường phù hợp [11].

Thực hiện vận hành thử nghiệm tự động theo đường cong nung dự kiến như sau:

Bảng 1. Đường cong nung dự kiến.

Giai đoạn	Nhiệt độ đầu, °C	Nhiệt độ cuối, °C	Thời gian, phút	Tốc độ nâng nhiệt, °C/phút
1	0	300	60	5,0
2	300	300	15	0,0
3	300	1000	175	4,0
4	1000	1100	50	2,0
5	1100	1280	90	1,9
6	1280	1400	120	1,0
7	1400	1500	200	0,5
8	1500	1500	15	0,0

Phần mềm được xây dựng cho PLC Siemens S7-1200. Đây là PLC thường được ứng dụng trong điều khiển lò nung do được tối ưu hóa các tập lệnh có sẵn. Cảm biến nhiệt độ sử dụng cặp nhiệt điện loại R có nhiệt độ làm việc lên tới 1600 °C. Cảm biến áp suất khí điện tử, cảm biến hàm lượng khí CO xác định theo nguyên tắc NDIR. Lò sử dụng bộ van điều áp điện tuyến tính và vòi đốt có hệ thống phát hiện ngọn lửa ion hóa. Hệ thống cấp gas có bao gồm máy hóa hơi nhằm đảm bảo lượng cung cấp gas đều, ổn định, không phụ thuộc vào môi trường, van điều áp 2 cấp đảm bảo lượng cung cấp gas phù hợp yêu cầu lò nung.

Sơ đồ thuật toán phần mềm điều khiển quá trình nung được xây dựng như sau:

Bước 1: Chuẩn bị trước khi vận hành

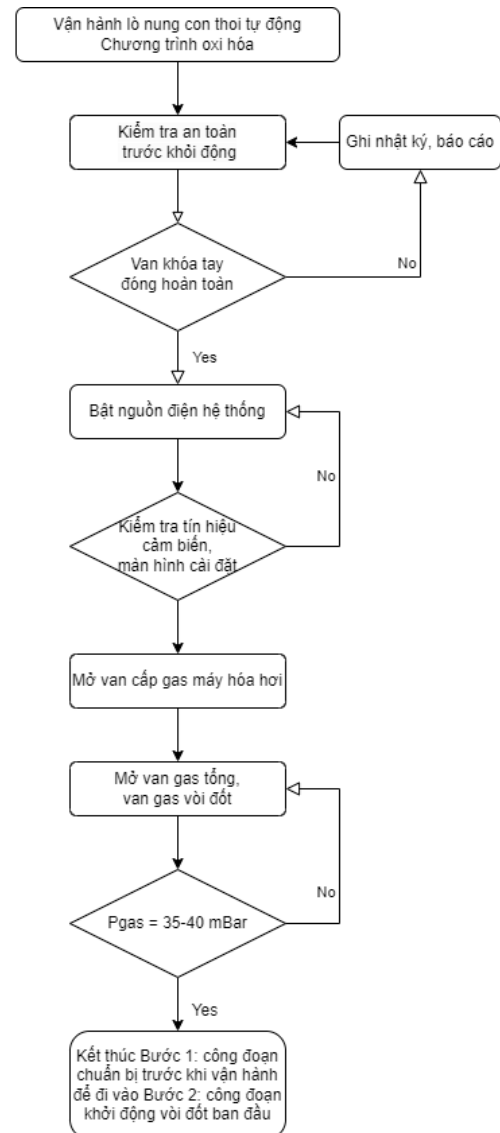
Công đoạn này bao gồm các hành động kiểm tra điều kiện vận hành như nguồn điện, nguồn cấp gas, hệ thống van an toàn, đường ống đảm bảo quá trình vận hành lò nung sau này.

Màn hình HMI thông báo các cảm biến hoạt động bình thường. Áp suất gas cấp vào vòi đốt được giới hạn ở mức $P_{gas} = 35-40$ mBar.

Phần mềm thiết kế các giao diện nhắc nhở mở van sẵn sàng trước khi vòi đốt được khởi động.

Tình trạng hệ thống được ghi nhật ký để tiện cho việc kiểm soát quá trình, vật tư và tác phong vận hành.

Sau khi hoàn tất kiểm tra, chuyển sang bước vận hành tiếp theo để khởi động vòi đốt.



Hình 4. Công đoạn huấn bị trước khi vận hành.

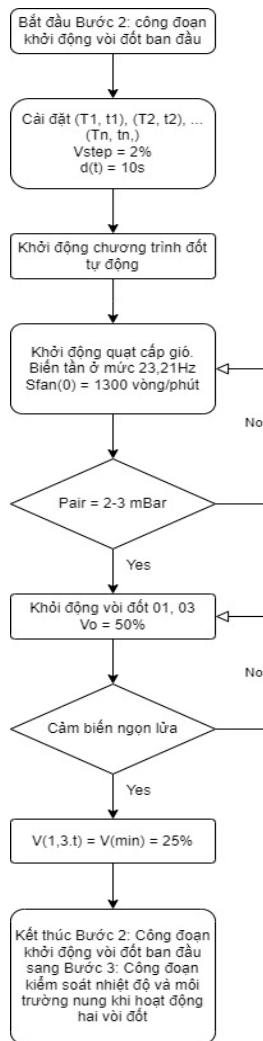
Bước 2: Khởi động vòi đốt ban đầu

Sau khi công đoạn chuẩn bị cơ học đã sẵn sàng, nhập chương trình vận hành, tham số vận hành, vào bảng điều khiển và khởi động.

Chương trình vận hành bao gồm

- Các điểm nhiệt độ trên đường cong nung, $T_1, T_2, \dots, T_n$, °C;
 - Khoảng thời gian gia nhiệt mỗi đoạn nhiệt độ, $t_1, t_2, \dots, t_n$, phút.
- Tham số vận hành bao gồm:
- V_{step} : bước độ mở van khi điều chỉnh, 2 %;

- $d(t)$: Khoảng thời gian giữa mỗi lần lấy mẫu nhiệt độ, hàm lượng CO, 10s



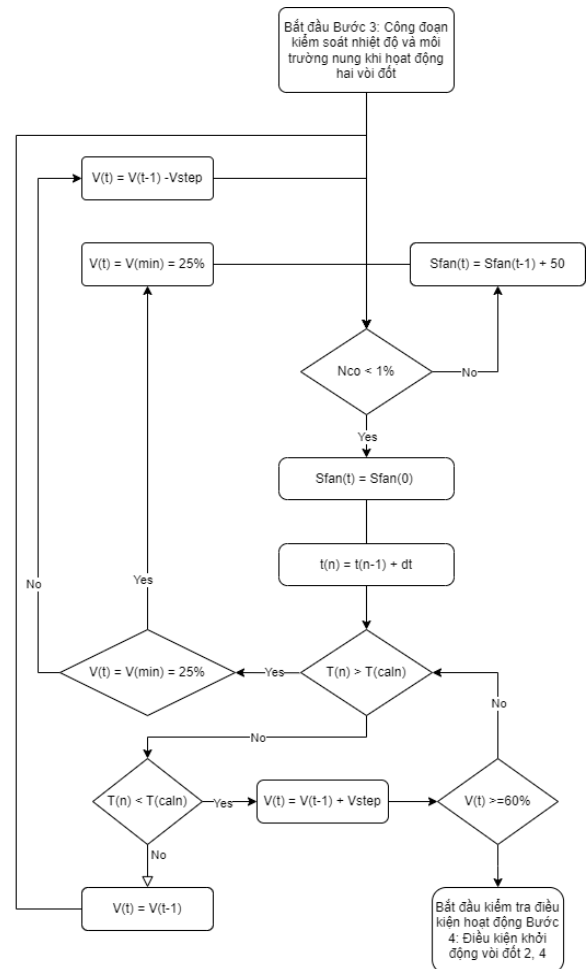
Hình 5. Công đoạn khởi động lò đốt ban đầu.

Khi đã nhập tham số và chương trình, thực hiện khởi động chương trình nung. Quạt cấp gió bật tự động ở mức 1300 vòng/phút. Khi đó, áp suất gió trên đường ống cấp vòi đốt đạt $P_{air} = 2-3$ mBar. Công tác áp suất được lắp đặt để ghi nhận tín hiệu có gió trong đường ống mới cho phép khởi động lò đốt. Hai vòi đốt được khởi động ban đầu là vòi đốt số 1 và 3 ở phía dưới của hai bên tường lò. Cảm biến ngọn lửa dạng cảm nhận ion sẽ xác định vòi đốt đã được khởi động chưa. Nếu vòi đốt chưa có ngọn lửa, sẽ có cảnh báo bằng đèn và còi để người vận hành reset quá trình khởi động lò đốt.

Vòi đốt khi được khởi động có độ mở van 50 %. Sau khi khởi động hai vòi đốt thành công thì độ mở van giảm đồng thời về 25 % là mức tối thiểu để vận hành được vòi đốt.

Sau khi hai vòi đốt được khởi động và hoạt động ổn định, chuyển sang bước tiếp theo để kiểm soát nhiệt độ và môi trường nung khi hoạt động hai vòi đốt.

Bước 3: Công đoạn kiểm soát nhiệt độ và môi trường nung khi hoạt động 2 vòi đốt



Hình 6. Công đoạn kiểm soát nhiệt độ và môi trường nung khi khởi động 2 vòi đốt.

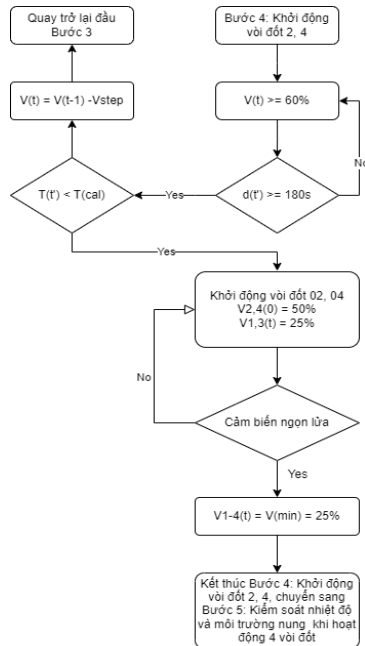
Quá trình kiểm soát nhiệt độ và môi trường nung được thực hiện tự động theo chương trình được lập trình sẵn dựa trên nguyên tắc so sánh nhiệt độ. Thực hiện vòng lặp liên tục cho đến khi nhiệt độ đạt điều kiện khởi động lò đốt 2, 4 ở bước kế tiếp. Ban đầu, hệ thống sẽ kiểm tra môi trường nung thông qua hàm lượng CO trong khí thải (N_{CO}). Với yêu cầu nung môi trường oxi hóa, hàm lượng khí CO trong khí thải được giữ ở mức dưới 1 %. Cảm biến xác nhận hàm lượng CO sẽ thông báo theo thời gian thực về hàm lượng khí CO mỗi 1 phút. Khi tăng độ mở van, hàm lượng CO trong khí thải tăng lên do lượng khí cháy cấp vào không thay đổi. Khi hàm lượng khí CO trong khí thải vượt quá 1 %, tăng tốc độ quạt thêm mỗi 50 vòng/phút cho đến khi hàm lượng khí CO trong khí thải trở về dưới 1 %.

Nhiệt độ thực tế tại một thời điểm cảm biến ghi nhận được $T_{(n)}$ so sánh với nhiệt độ tính toán theo lý thuyết $T_{(calc)}$ của chương trình nung đã nhập. Tại thời điểm mới khởi động, khi nhiệt độ thu được lớn hơn nhiệt độ tính toán ($T_{(n)} > T_{(calc)}$) thì độ mở van được giữ nguyên ở mức độ mở van tối thiểu $V_{(min)} = 25$ % cho đến khi nhiệt độ thực tế

thấp hơn nhiệt độ nung tính toán ($T_{(n)} < T_{(calc)}$). Sau khi $T_{(n)} < T_{(calc)}$, tăng độ mở van cấp gas theo bước mở van đã cài đặt. Khi $T_{(n)} > T_{(calc)}$, giảm độ mở van theo bước độ mở. Vòng lặp được diễn ra liên tục khi tín hiệu nhiệt độ thực tế được ghi nhận. Nếu $T_{(n)} = T_{(calc)}$, tại thời điểm ghi nhận, giữ nguyên độ mở van hiện tại ($V_{(t)} = V_{(t-1)}$).

Nhiệt độ tăng dần khi lò vận hành theo thời gian và độ mở van tăng lên. Khi độ mở van đạt đến 60 %, chương trình bước vào giai đoạn tiếp theo để xác nhận và tìm điều kiện khởi động thêm hai vòi đốt còn lại.

Bước 4: Khởi động vòi đốt 2, 4

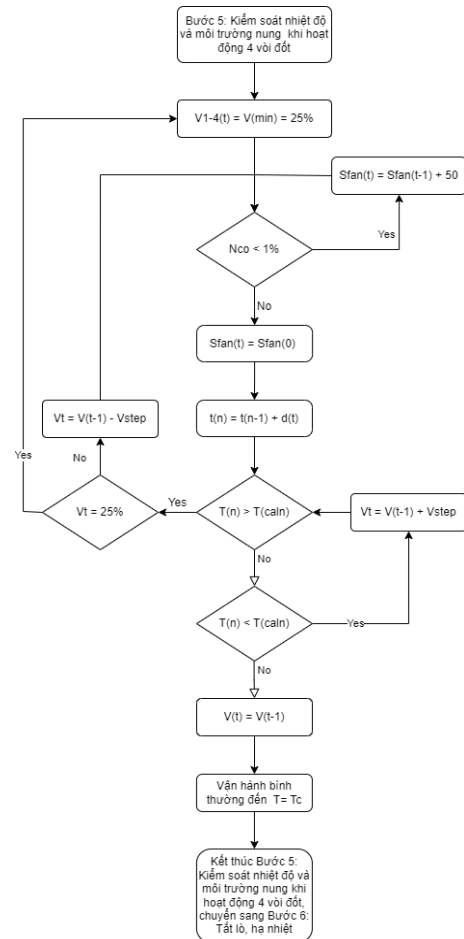


Hình 7. Điều kiện khởi động vòi đốt số 2, 4.

Tới vùng nhiệt độ cao, hai vòi đốt không thể cung cấp đủ công suất nhiệt dẫn tới cần khởi động bổ sung 2 vòi đốt còn lại. Khi độ mở van hai vòi đốt 1, 3 đạt 60 % hoặc hơn ($V_{(t)} \geq 60\%$) thì phần mềm bắt đầu ghi nhận điểm thời gian (t'). Sau 3 phút từ thời điểm này, nếu nhiệt độ thực tế khi nhận vẫn thấp hơn so với nhiệt độ lý thuyết, thực hiện khởi động hai vòi đốt 2, 4. Độ mở van cấp gas cho hai vòi đốt 2, 4 cũng là 50 %. Đồng thời, giảm độ mở van của vòi đốt 1, 3 về 25 %. Vòi đốt cũng được kiểm soát bằng cảm biến ngọn lửa. Nếu vòi đốt không được khởi động thành công, reset bộ điều khiển. Khi hai vòi đốt 2, 4 khởi động thành công, giảm độ mở hai vòi về 25 % tương tự như hai vòi 1, 3. Quá trình này giúp nhiệt độ lò nung không tăng đột ngột.

Nếu trong vòng 3 phút từ thời điểm $V_{(t)} \geq 60\%$, nhiệt độ thực tế ghi nhận cao hơn so với nhiệt độ tính toán, giảm độ mở van theo tham số biên độ điều chỉnh van $Vstep$. Đồng thời, chu trình quay lại vòng lặp theo Bước 3 để tiếp tục kiểm soát cho đến thời điểm tiếp theo độ mở van đạt 60 %.

Bước 5: Kiểm soát nhiệt độ và môi trường nung của 4 vòi đốt



Hình 8. Công đoạn kiểm soát nhiệt độ và môi trường nung khi vận hành 4 vòi đốt.

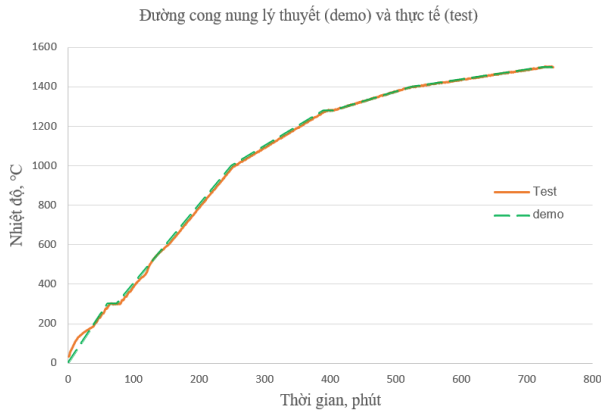
Sau khi cả 4 vòi đốt đều vận hành khi kết thúc Bước 4, chương trình bước vào giai đoạn tiếp theo để kiểm soát môi trường (Bước 5).

Quá trình kiểm soát nhiệt độ và môi trường nung tương tự như giai đoạn 2 vòi đốt. Chỉ khác ở đây là quá trình điều khiển nhiệt vận hành cùng lúc 4 vòi đốt. Quá trình tăng nhiệt diễn ra bình thường cho tới cuối chu trình nung. Khi chu trình nung kết thúc, vòi đốt sẽ tự tắt. Cán bộ vận hành khóa van gas, dừng hệ thống hóa hơi. Quạt tiếp tục hoạt động cho đến khi nhiệt độ lò còn 500 °C, sau đó tự động tắt. Ngắt nguồn điện vào tủ điều khiển.

Các thông số của quá trình nung như thời gian, nhiệt độ, tốc độ vòng quay quạt, áp suất gió, áp suất gas, hàm lượng CO được khi lại và trích xuất dữ liệu qua USB để lưu trữ và xây dựng đồ thị. Việc trích xuất dữ liệu qua USB cần được thực hiện thường xuyên làm nhiều lượt trong quá trình vận hành để tránh hiện tượng USB bị quá nhiệt trong trường hợp kết nối liên tục với tủ điện.

3. Kết quả và thảo luận

Vận hành thực nghiệm lò nung con thoi theo chương trình được đề cập trong Bảng 1, thu được kết quả như trong giản đồ Hình 9 dưới đây:



Hình 9. Giảm đồ đường cong nung thử nghiệm (test) và cài đặt (demo).

Bảng 2. Nhiệt độ ghi nhận (test) và nhiệt độ cài đặt (demo) tại các điểm thời gian cài đặt.

Giai đoạn	Nhiệt độ đầu, °C	Nhiệt độ cuối, °C	Thời gian cuối, phút	Nhiệt độ ghi nhận, °C
1	30	300	60	285
2	300	300	75	300
3	300	1000	250	987
4	1000	1100	300	1092
5	1100	1280	390	1270
6	1280	1400	510	1394
7	1400	1500	710	1495
8	1500	1500	725	1500

Qua giảm đồ đường cong nung thử nghiệm (Hình 9, Bảng 2), có thể thấy lò nung đã đạt được một số kết quả như sau:

Lò nung đã vận hành được tới nhiệt độ nung 1500 °C. Quá trình vận hành hoàn toàn tự động sau khi cài đặt các công đoạn nung và khởi động lò. Lò nung cho phép cài đặt 8 công đoạn vận hành độc lập từ tăng nhiệt cho đến lưu nhiệt. Tốc độ nâng nhiệt từng giai đoạn là khác nhau và giảm dần từ vùng nhiệt độ thấp tới vùng nhiệt độ cao.

Bên cạnh các kết quả đạt yêu cầu đặt ra theo thiết kế, lò nung vẫn còn tồn tại một số vấn đề và nhóm nghiên cứu đã có một số biện pháp khắc phục như sau:

Giai đoạn khởi động, nhiệt độ dưới 200 °C, tốc độ tăng nhiệt vượt qua khá nhiều so với đường cong nung dự kiến. Điều này là một bất lợi cơ bản đối với lò nung con thoi có không gian nhỏ, số vòi đốt ít nhưng công suất vòi đốt cao. Quá trình khởi động đốt 02 vòi nhằm đảm bảo nhiệt độ đồng đều của lò dẫn tới lượng nhiên liệu cấp vào lớn, nhiệt độ ban đầu của lò tăng nhanh hơn so với đường cong nung dự kiến.

Giai đoạn tăng nhiệt độ về sau có xu hướng nhiệt độ bám theo đường cong nung nhưng có độ trễ về thời gian từ 3 đến 4 phút. Điều này được xác định là do quán tính nhiệt của lò. Lò được thiết kế hệ thống điều khiển theo phương thức so sánh nhiệt độ tại một điểm thời gian. Tại điểm thời gian đó, nếu nhiệt độ thực tế (T_{real}) thấp hoặc cao

hơn nhiệt độ tính toán (T_{cal}) thì hệ thống sẽ điều chỉnh bằng cách tăng hoặc giảm độ mở van để thay đổi lượng nhiên liệu vào lò. Lượng nhiên liệu này cần thời gian để cháy và sinh nhiệt nên gây ra quán tính nhiệt sẽ tăng sau khi điều chỉnh. Với thực tế lò con thoi chế tạo thì khoảng thời gian này khoảng 3-4 phút.

Về mặt vận hành thực tế đối với đường cong nung lựa chọn, ở khoảng 450-500 °C, đường cong có sự tăng nhanh tốc độ nâng nhiệt, không bám sát đường cong nung dự kiến. Điều này là do đây là thời điểm khởi động hai vòi đốt còn lại khi tốc độ tăng nhiệt không đạt yêu cầu (điểm vòng ở thời điểm 120' trên đường cong nung). Sau thời điểm này, hai vòi đốt còn lại được khởi động dẫn tới tốc độ tăng nhiệt tăng cục bộ. Để hạn chế sự chênh lệch quá cao về nhiệt độ thực tế và dự kiến, hệ thống đã thiết kế để giảm độ mở van cấp gas của hai vòi đốt ban đầu về mức tối thiểu và khởi động hai vòi sau nhưng không thể hoàn toàn khắc phục sự chênh lệch cục bộ này. Điều này cũng là bất lợi đối với lò nung nhỏ đã trình bày ở trên. Tuy nhiên, điều này gần như không ảnh hưởng tới quá trình nung các sản phẩm gốm sứ do khoảng nhiệt độ này có rất ít ảnh hưởng đến vật liệu.

Ngoài ra, ở giai đoạn sử dụng hai vòi đốt, nhiệt độ lò thấp, chưa có nhiệt tích lũy vào thành lò nhiều nên biến động nhiệt trong lò sẽ rõ ràng hơn. Diễn hình có thể thấy ở giai đoạn 200-400 °C, đường cong nhiệt có sự biến đổi không tuyến tính. Tuy nhiên, khi sử dụng cả 4 vòi đốt, hết giai đoạn nhiệt độ cục bộ thì nhiệt độ nung bám sát đường cong dự kiến do nhiệt độ trong lò lúc này đã cao, một phần nhiệt bức xạ từ tường lò giúp ổn định nhiệt độ trong lò dẫn tới biên độ nhiệt ở giai đoạn này đã ổn định, bám sát đường cong nung hơn.

4. Kết luận

Lò nung con thoi điều khiển tự động quá trình nung thiết kế cho lò nung gốm sứ do Viện Nghiên cứu Sành sứ Thủy tinh Công nghiệp thiết kế, chế tạo đã đạt nhiệt độ cao nhất 1500 °C.

Đường cong nung tuân thủ tốc độ tăng nhiệt ở từng giai đoạn nhiệt theo dự kiến và được điều khiển hoàn toàn tự động.

Quá trình thử nghiệm và hiệu chỉnh trong quá trình vận hành cho thấy một số vấn đề cố hữu không thể khắc phục hoàn toàn do giới hạn của thiết bị lò dung tích nhỏ, ít vòi đốt và công suất các vòi đốt cao. Giai đoạn khởi động có tốc độ tăng nhiệt độ cao do năng suất tiêu thụ gas lớn. Điều này có thể được hạn chế bằng cách tăng lượng cấp gas ban đầu để hạ nhiệt độ ngọn lửa nhưng không được quá lớn khiến cho vòi đốt bị tắt.

Ngoài ra, vấn đề nhiệt độ tăng đột ngột ở thời điểm khởi động cặp vòi đốt thứ hai cũng cần được hiệu chỉnh hợp lý. Biên độ tăng đột ngột này có thể được giới hạn ở mức dưới 20 °C. Điều này có thể được khắc phục bằng cách thiết kế phần mềm so sánh nhiệt độ thực tế với nhiệt độ tính toán kèm biên độ nhiệt dự kiến. Khoảng biên độ nhiệt dự kiến là 5 °C (so sánh T_{real} và $T_{cal} + 5$). Xu hướng này ổn định trên toàn bộ đường cong nung còn lại nên coi như không ảnh hưởng đến chu trình nung.

Lời cảm ơn

Báo cáo này được tài trợ bởi Bộ Công thương theo đề tài khoa học mã số 071.2021.ĐT.BO/HĐKHCN.

Tài liệu tham khảo

- [1]. R. J. Forbes, *Vol. 6: Heat and Heating* (Studies in Ancient Technology). BRILL, 1966.
- [2]. P. D. L. pottery. <https://pdlpottery.com/vi/gioi-thieu/>.
- [3]. F. L. Olsen, *The kiln book: Materials, Specifications & Construction*. Krause Publications, 2001.
- [4]. N. Đ. Hùng, *Công nghệ sản xuất Vật liệu chịu lửa*. Nhà xuất bản Bách khoa, 2013.
- [5]. D. Đ. H. Phạm Văn Trí, Nguyễn Công Cần, *Lò công nghiệp*. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, 1999.
- [6]. N. V. Dũng, *Tính toán trong công nghệ gốm sứ*. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, 2010.
- [7]. M. Yi and Z. P. Yang, "The Design and Application of DCS in Control System for Ceramic Kiln," *Applied Mechanics and Materials*, vol. 321-324, pp. 1848-1853, 2013.
- [8]. Y. Z. Yonghong Zhu, "Hybrid Intelligent Control of Ceramic Shuttle Kiln Firing Temperature," presented at the International Conference on Applied Mathematics, Simulation and Modelling, 2016.
- [9]. H. X. He Wang, "Applications of Fuzzy-PID to the Firing Process Control System of High-Temperature Shuttle Kiln for Zirconia-Alumina Products," presented at the Proceeding of the 11th World Congress on Intelligent Control and Automation, 2014.
- [10]. T. L. Dũng, "Hoàn thiện công nghệ: Thiết kế, chế tạo, vận hành lò nung con thoi dung tích lớn hơn 18m³ phục vụ sản xuất làng nghề gốm sứ," Bộ công nghiệp, 2003.
- [11]. F. Z. Weiting Huang, Zaosheng Zhong, "Energy saving of shuttle kiln furnace : a study based on PLC control " *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 2044, 2021. doi:10.1088/1742-6596/2044/1/012183.