

ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC THÔNG SỐ SẤY ĐẾN KHẢ NĂNG TÁCH KHUÔN CỦA SẢN PHẨM TRÊN HỆ THỐNG GỐM SỨ

THE INFLUENCE OF DRYING EQUIPMENT PARAMETERS ON THE MOLD RELEASE CAPABILITY OF PRODUCTS IN CERAMIC SYSTEMS

Nguyễn Văn Thiện², Phạm Đức Cường¹,
Nguyễn Việt Hùng^{2,*}, Nguyễn Đức Luận¹

DOI: <https://doi.org/10.57001/huiv5804.2026.053>

TÓM TẮT

Nghiên cứu đề xuất phương pháp đánh giá ảnh hưởng của ba thông số sấy tới khả năng tách sản phẩm gốm khỏi khuôn sau tạo hình (demolding) sau quá trình sấy nhiệt của thiết bị sấy. Ba thông số sấy chính gồm nhiệt độ (T), lưu lượng gió (Q) và tốc độ băng tải (v) đến khả năng tách khuôn của sản phẩm. Thông qua thực nghiệm, kết quả cho thấy việc kiểm soát động học tách ẩm trong buồng sấy đóng vai trò quyết định đối với sự toàn vẹn của cấu trúc xương đất của sản phẩm. Tại giá trị độ ẩm dư mục tiêu đạt 20%, sản phẩm đạt được trạng thái "cứng cứng" (leather-hard) với độ bền cơ học ổn định, đủ khả năng chịu được các ứng suất vật lý trong quá trình tháo khuôn/ tách khuôn mà không gây biến dạng. Đồng thời, sự co ngót thể tích diễn ra đồng nhất, tạo khe hở kỹ thuật từ 0,5 - 1mm giữa sản phẩm và thành khuôn, giúp giảm ma sát, hạn chế nứt vỡ bề mặt và nâng cao hiệu quả tách khuôn. Ngoài ra, sự chênh lệch nhiệt độ giữa các vị trí thành và đáy trên sản phẩm không lớn, đảm bảo ổn định hình học và giảm thiểu khuyết tật vênh. Những kết quả này khẳng định thông số sấy đã thiết lập không chỉ đảm bảo hiệu suất tách khuôn mà còn tạo tiền đề quan trọng để nâng cao tỷ lệ thành phẩm trong các giai đoạn nung tiếp theo, góp phần nâng cao hiệu quả kinh tế trong sản xuất gốm sứ quy mô công nghiệp.

Từ khóa: Gốm sứ; truyền ẩm; thiết bị sấy; độ ẩm; cốc men sứ.

ABSTRACT

This study proposes a method to evaluate the influence of three drying parameters, temperature (T), air flow (Q) and conveyor speed (v) on the demolding performance of ceramic products after shaping. Experimental results show that controlling the moisture removal dynamics in the drying chamber is critical to maintaining the integrity of the ceramic body. At a target residual moisture of 20%, the samples reached the leather-hard state with stable green strength, allowing them to withstand physical stresses during demolding without deformation. Volumetric shrinkage is observed, creating a technical gap of 0.5 - 1mm between the product and the mold, which reduced friction, prevented surface cracks, and improved demolding efficiency. Furthermore, temperature differences between the upper and lower of the product is not significant, ensuring geometric stability and minimizing warping defects. These findings confirm that optimized drying parameters not only enhance demolding performance but also provide a solid basis for improving yield in subsequent firing stages, thereby contributing to higher economic efficiency in industrial-scale ceramic production.

Keywords: Ceramics; moisture transfer; drying equipment; humidity; ceramic mug.

¹Viện Công nghệ HaUI, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

²Trường Cơ khí - Ô tô, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

*Email: hung2009hauivn@gmail.com

Ngày nhận bài: 01/3/2026

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 25/3/2026

Ngày chấp nhận đăng: 30/3/2026

1. GIỚI THIỆU

Trong sản xuất gốm sứ, quá trình sấy sản phẩm mộc sau tạo hình là một công đoạn quan trọng, có ảnh hưởng trực

tiếp đến chất lượng và độ bền của sản phẩm cuối cùng. Nhiều nghiên cứu đã chỉ ra rằng nếu quá trình sấy không được kiểm soát tốt, sản phẩm dễ bị nứt vỡ, biến dạng hoặc

xuất hiện khuyết tật bề mặt, gây khó khăn cho giai đoạn nung tiếp theo [1, 2]. Vì vậy, việc nghiên cứu cơ chế sấy và các thông số vận hành có ý nghĩa thiết thực trong việc nâng cao hiệu quả sản xuất và giảm tỷ lệ phế phẩm.

Các nghiên cứu trước đây đã tập trung vào việc phân tích động học sấy của vật liệu gốm. Các nghiên cứu [1-3] đã đánh giá ảnh hưởng của nhiệt độ và lưu lượng gió đến tốc độ bay hơi nước trong sản phẩm gốm, kết quả cho thấy rằng nhiệt độ cao giúp rút ngắn thời gian sấy nhưng đồng thời làm tăng nguy cơ nứt vỡ. Tương tự, nghiên cứu [3] đã chỉ ra rằng lưu lượng gió lớn giúp quá trình thoát ẩm diễn ra nhanh hơn, song nếu không đồng đều sẽ dẫn đến hiện tượng khô không đều giữa các vùng của sản phẩm. Các kết quả này cho thấy cần có sự cân bằng giữa các thông số để đạt hiệu quả tối ưu. Hơn nữa, một số nghiên cứu quốc tế cũng đã đề cập đến vai trò của tốc độ băng tải trong hệ thống sấy liên tục, nghiên cứu [4] nhận định rằng tốc độ băng tải quyết định thời gian lưu của sản phẩm trong buồng sấy, từ đó ảnh hưởng đến mức độ khô đồng đều. Nếu tốc độ quá nhanh, sản phẩm chưa đạt độ khô cần thiết; ngược lại, tốc độ quá chậm sẽ làm giảm năng suất của dây chuyền [5]. Điều này đặt ra yêu cầu phải tối ưu hóa tốc độ băng tải cùng với nhiệt độ và lưu lượng gió để đảm bảo chất lượng sản phẩm [4, 6]. Hơn nữa, độ ẩm đóng vai trò quyết định đến lực dính kết và lực liên kết nội; khi độ ẩm cao, sự hình thành màng nước liên tục tại bề mặt gây khó khăn cho việc tách khuôn. Trong quá trình sấy, việc giảm độ ẩm giúp thúc đẩy sự co ngót thể tích của vật liệu gốm, tạo ra một khoảng trống vi mô giữa sản phẩm và bề mặt khuôn, từ đó làm giảm ma sát và lực dính bề mặt [7]. Tuy nhiên, độ ẩm cần được kiểm soát vì nếu độ ẩm giảm quá nhanh hoặc không đồng đều, sự chênh lệch ẩm có thể dẫn đến hiện tượng nứt vỡ hoặc biến dạng trước khi tách khuôn hoàn toàn [8]. Do đó, việc duy trì nhiệt độ và lưu lượng gió phù hợp để đưa sản phẩm về độ ẩm mục tiêu, qua đó có thể giảm năng suất bám dính và đạt hiệu quả thu hồi sản phẩm, tách khuôn theo hệ thống sản xuất.

Tuy đã có nhiều nghiên cứu, song phần lớn mới chỉ tập trung vào từng thông số riêng lẻ. Khoảng trống hiện nay là thiếu các nghiên cứu toàn diện về mối tương quan giữa nhiệt độ, lưu lượng gió và tốc độ băng tải trong cùng một hệ thống sấy gốm sứ. Việc phân tích đồng thời ba thông số này sẽ giúp xây dựng mô hình tối ưu hóa quá trình sấy, từ đó nâng cao chất lượng sản phẩm và hiệu quả sản xuất [9, 10].

Mục tiêu của nghiên cứu hiện tại là làm rõ cơ sở lý thuyết về mối quan hệ giữa các thông số nhiệt độ, lưu

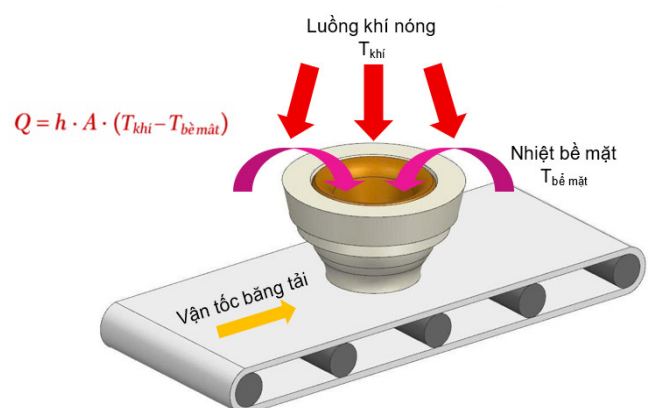
lượng gió và tốc độ băng tải trong hệ thống sấy gốm sứ [5, 11]. Trên cơ sở đó, nghiên cứu hướng tới việc đề xuất các giải pháp điều chỉnh hợp lý nhằm đạt được quá trình sấy hiệu quả, đồng đều và tiết kiệm năng lượng. Kết quả của nghiên cứu không chỉ có ý nghĩa về mặt khoa học mà còn mang tính ứng dụng thực tiễn cao trong các nhà máy sản xuất gốm sứ hiện nay.

Bài báo được cấu trúc ở các phần tiếp theo như sau: Phần 2 trình bày cơ sở lý thuyết cho quá trình sấy vật liệu gốm sứ; Phần 3 đưa ra sơ đồ thực nghiệm, thiết kế thực nghiệm và kết quả đánh giá các thông số thực nghiệm trên thiết bị sấy; và Phần 4 là các kết luận cho nghiên cứu.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

Quá trình sấy sản phẩm thô sau tạo hình là công đoạn quan trọng nhằm loại bỏ ẩm, đảm bảo độ bền cơ học và hạn chế nứt vỡ trong giai đoạn nung. Ba thông số chính chi phối hiệu quả sấy gồm: nhiệt độ, lưu lượng gió và tốc độ băng tải [8]. Trong đó, nhiệt độ (T) và lưu lượng gió (Q): nhiệt độ cung cấp năng lượng để hóa hơi nước, trong khi lưu lượng gió đóng vai trò "vận chuyển" hơi nước đó ra khỏi bề mặt sản phẩm. Nếu T cao mà Q thấp, không khí sát bề mặt sẽ nhanh chóng bão hòa hơi nước, làm đình trệ quá trình sấy. Ngược lại, Q cao mà T thấp sẽ gây lãng phí năng lượng điện cho quạt mà hiệu quả tách ẩm không cao. Hơn nữa, nhiệt độ (T) và tốc độ băng tải (v): tốc độ băng tải quyết định thời gian lưu (t) của sản phẩm trong hầm sấy. Có một mối quan hệ nghịch biến: Nếu tăng tốc độ băng tải, thời gian lưu giảm, do đó buộc phải tăng nhiệt độ T để bù đắp lại lượng nhiệt cần thiết cho việc bay hơi trong khoảng thời gian ngắn hơn. Lưu lượng gió (Q) và tốc độ băng tải (v): Tốc độ băng tải nhanh đòi hỏi sự trao đổi nhiệt đối lưu mạnh mẽ hơn, do đó lưu lượng gió cũng cần được điều chỉnh tăng để đảm bảo lớp biên ẩm trên bề mặt sản phẩm luôn được làm mới liên tục.

2.1. Phương trình truyền nhiệt



Hình 1. Truyền nhiệt đối lưu trên sản phẩm gốm

Truyền nhiệt trong sản phẩm gốm sứ diễn ra chủ yếu thông qua đối lưu giữa luồng khí nóng và bề mặt sản phẩm. Nhiệt lượng từ dòng khí được hấp thụ, lan tỏa vào cấu trúc gốm, giúp nước bên trong bay hơi dần ra ngoài. Quá trình này quyết định tốc độ khô và ảnh hưởng trực tiếp đến chất lượng, độ bền của sản phẩm sau sấy. Nhiệt lượng cung cấp cho sản phẩm gốm chủ yếu qua đối lưu [7] và thể hiện qua công thức (1). Hình 1 thể hiện quá trình truyền nhiệt cho sản phẩm gốm sứ trên dây chuyền sản xuất tự động

$$Q = h \cdot A \cdot (T_{khí} - T_{bề\ mặt}) \tag{1}$$

Trong đó:

Q (W): Nhiệt lượng truyền vào sản phẩm.

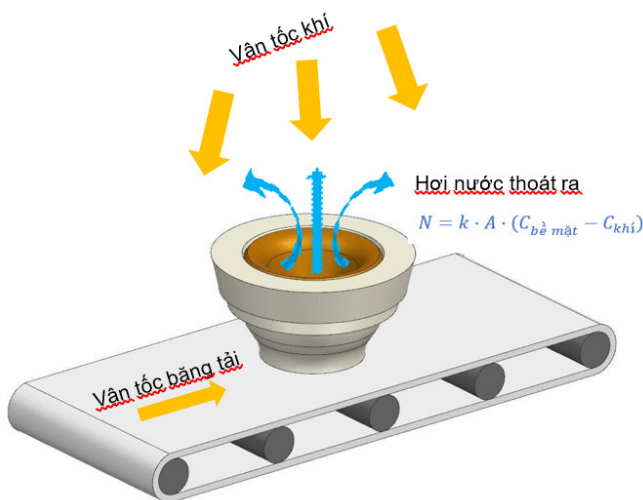
h (W/m².K): Hệ số truyền nhiệt đối lưu $h = C \cdot V^n$ phụ thuộc vào tốc độ dòng khí V, hệ số đặc trưng cho hình dạng của sản phẩm và vật liệu gốm C, n số mũ phụ thuộc dòng khí, n ≈ 0,6 – 0,8.

A (m²): Diện tích bề mặt tiếp xúc của sản phẩm với dòng khí.

T_{khí} (K): Nhiệt độ của luồng khí sấy.

T_{bề mặt} (K): Nhiệt độ bề mặt sản phẩm.

2.2. Phương trình truyền ẩm



Hình 2. Sơ đồ truyền ẩm của sản phẩm trong hầm sấy

Truyền ẩm trong sản phẩm gốm sứ là quá trình hơi nước thoát ra khỏi vật liệu nhờ sự chênh lệch nồng độ ẩm giữa bề mặt sản phẩm và môi trường không khí. Nước từ lõi gốm khuếch tán dần ra lớp biên và bề mặt, sau đó được dòng khí mang đi. Đây là cơ chế song song với truyền nhiệt, quyết định tốc độ khô và mức độ đồng đều của sản phẩm trong quá trình sấy. Quá trình thoát ẩm được mô tả bằng công thức (2) [7, 8] và hình 2 mô tả quá trình hơi nước thoát ra khỏi vật liệu sản phẩm.

$$N = k \cdot A \cdot (C_{bề\ mặt} - C_{khí}) \tag{2}$$

Trong đó:

N (kg/s): Lượng ẩm thoát ra khỏi sản phẩm.

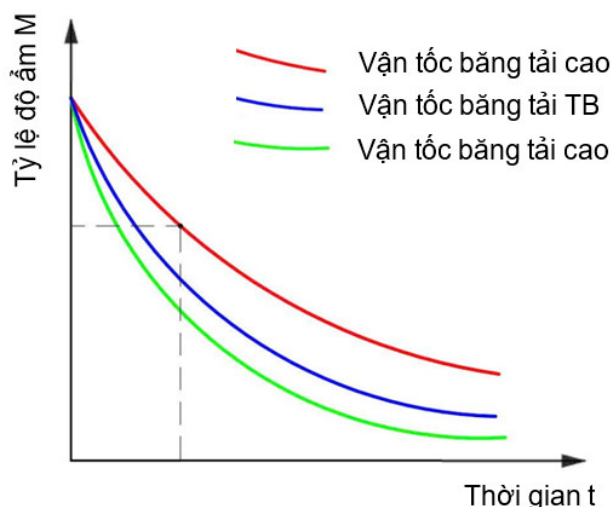
k: Hệ số truyền khối, phụ thuộc vào tốc độ khí và đặc tính bề mặt.

A (m²): Diện tích bề mặt tiếp xúc.

C_{bề mặt} (kg/m³): Nồng độ hơi nước tại bề mặt sản phẩm.

C_{khí} (kg/m³): Nồng độ hơi nước trong luồng khí.

2.3. Động học sấy và thời gian



Hình 3. Đồ thị ảnh hưởng của thời gian sấy tới thoát ẩm khi vận tốc băng tải thay đổi

Tổng lượng ẩm được tách ra phụ thuộc vào thời gian sản phẩm nằm trong buồng sấy, được điều khiển bởi tốc độ băng tải (v) như công thức (3) [7]:

$$\text{Thời gian sấy } (t) = L / v \tag{3}$$

Trong đó:

L: Chiều dài buồng sấy (m).

v: Tốc độ băng tải (m/s).

Mối tương quan: Để đạt được độ ẩm mục tiêu (16,5%), nếu tốc độ băng tải (v) tăng lên (giảm thời gian sấy), thì hệ thống điều khiển buộc phải tăng nhiệt độ (T) hoặc lưu lượng gió (Q) để đảm bảo tốc độ tách ẩm đủ lớn nhằm bù đắp cho sự thiếu hụt về thời gian.

Hình 3 cho thấy quá trình khô của gốm sứ diễn ra theo tốc độ giảm dần, khi thời gian tăng nữa nhưng tỷ lệ thoát ẩm chậm đi do khi đó hơi nước phải khuếch tán từ bên trong ra ngoài. Đường cong minh họa sự khác biệt giữa các điều kiện nhiệt độ, lưu lượng gió và tốc độ băng tải, qua đó cho thấy việc tối ưu đồng thời các thông số này là cần thiết để đạt hiệu quả sấy cao và đồng đều.

Trong nghiên cứu này, ba thông số liên quan đến nhiệt độ, lưu lượng gió và tốc độ băng tải/ thời gian sấy được lựa chọn để thử nghiệm đánh giá khả năng tách khuôn.

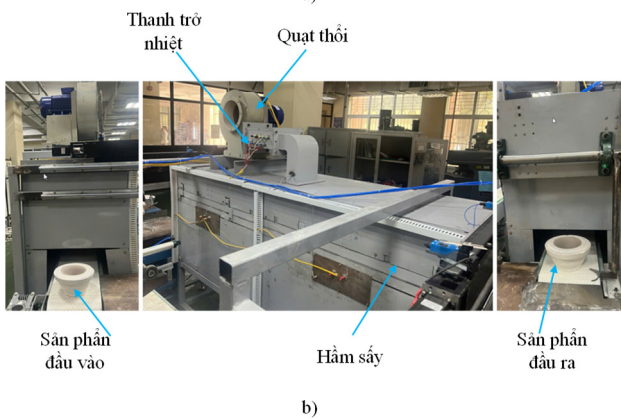
3. THỰC NGHIỆM VÀ KẾT QUẢ

3.1. Sơ đồ thực nghiệm và quy hoạch

Mẫu gốm sứ được lựa chọn có kích thước D x d x H x t = 120 x 85 x 100 x 4 (mm) sau tạo hình được đưa qua hệ thống sấy với các thông số được thiết lập. Độ ẩm sản phẩm ban đầu 20%. Sản phẩm đi qua hệ thống sấy được thực hiện ở bước tách sản phẩm ra khỏi khuôn với độ ẩm mong muốn đạt được 16% để có thể tách khuôn. Vật sấy được vận chuyển trên băng tải đi vào hầm sấy (chiều dài hầm sấy 2,5m). Các thông số của thiết bị với công suất nhiệt lớn nhất 8 (kW), lưu lượng gió lớn nhất 3150 (m³/h) và tốc độ băng tải nhỏ nhất 0,5 (m/phút). Trong đó, quạt thổi sẽ hút gió từ bên ngoài thổi qua hệ thống nhiệt nóng để cung cấp luồng gió nóng theo lưu lượng thiết lập. Các thông số sấy của thiết bị được lập thực hiện theo bảng 1. Các thông số hình học sản phẩm được kiểm tra sau sấy và sản phẩm được tách khuôn để hệ thống gốm sứ tiếp tục chu trình.



a)



b)

Hình 4. Sơ đồ thực nghiệm quá trình sấy a) Sản phẩm; b) Mô hình thực nghiệm

Kỹ thuật tách khuôn được sử dụng đầu hút chân không, đảm bảo tính tinh gọn trong thực nghiệm. Khi thực nghiệm, số lần sản phẩm được tách khuôn, tỷ lệ hút sản phẩm sẽ được sử dụng để đánh giá. Chúng tôi, đã lựa chọn 5 lần thử nghiệm cho hút/ tách sản phẩm, thông số

này là cơ sở dữ liệu để phân tích các tương tác đa biến phức tạp trong công nghệ sấy gốm sứ. Sơ đồ thử nghiệm được bố trí như hình 4. Các thông số trên thiết bị được lựa chọn về nhiệt độ sấy (T), lưu lượng gió (Q) và tốc băng tải (v) (thời gian lưu sản phẩm trong hầm).

Trong nghiên cứu này, chúng tôi đã sử dụng phương pháp Box-Behnken rút gọn để thiết kế thực nghiệm [12]. Mục tiêu là thiết lập một mô hình toán học phản ánh mối quan hệ giữa các thông số công nghệ của thiết bị và chỉ tiêu chất lượng đầu ra là tỷ lệ tách được khuôn của sản phẩm. Bảng 1 thể hiện các thông số quy hoạch thực nghiệm trong nghiên cứu.

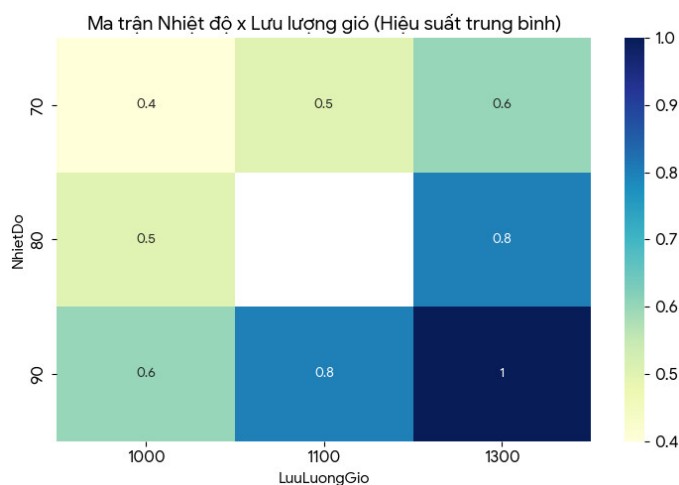
Bảng 1. Thiết kế thực nghiệm quá trình sấy

STT	Nhiệt độ (°C)	Tốc độ băng tải v (m/p)	Lưu lượng gió Q (m ³ /h)	Nhiệt độ (°C)	Tốc độ băng tải v (m/p)	Lưu lượng gió Q (m ³ /h)	Tỷ lệ hút được sản phẩm
1	-1	-1	0	70	0,8	1100	0,8
2	1	-1	0	90	0,8	1100	0,6
3	-1	1	0	70	1,2	1100	0,2
4	1	1	0	90	1,2	1100	1
5	-1	0	-1	70	1	1000	0,4
6	1	0	-1	90	1	1000	0,6
7	-1	0	1	70	1	1300	0,6
8	1	0	1	90	1	1300	1
9	0	-1	-1	80	0,8	1000	0,6
10	0	1	-1	80	1,2	1000	0,4
11	0	-1	1	80	0,8	1300	0,8
12	0	1	1	80	1,2	1300	0,8

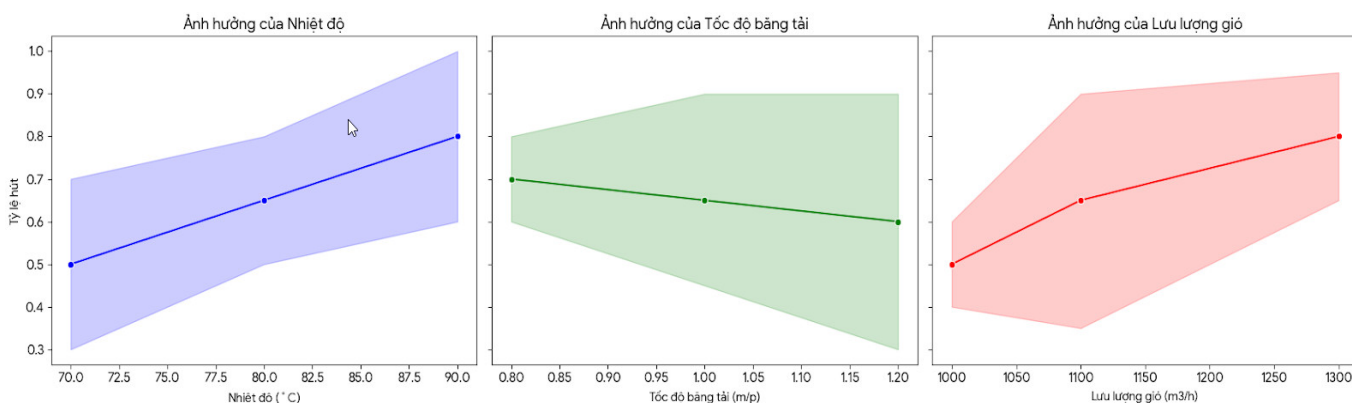
3.2. Sơ đồ thực nghiệm và quy hoạch

Quá trình thực nghiệm được tiến hành dựa trên ma trận thiết kế Box-Behnken, cho phép khảo sát đồng thời ảnh hưởng của nhiệt độ, lưu lượng gió và tốc độ băng tải đến chỉ số chất lượng sản phẩm. Các mẫu gốm sau tạo hình được đưa qua hệ thống sấy, hình 5 thể hiện biểu đồ nhiệt cho mức độ ảnh hưởng của các thông số. Từ bảng kết quả thực nghiệm ở trên, Bảng 1, các kết quả phân tích thực nghiệm, nghiên cứu chỉ ra tỷ lệ hút sản phẩm chịu ảnh hưởng mạnh mẽ nhất bởi hai yếu tố là nhiệt độ và lưu lượng gió. Hình 5 thể hiện khả năng bong tách khuôn tỷ lệ thuận với mức tăng của nhiệt độ và lưu lượng gió, trong đó vùng tối ưu tập trung tại ngưỡng 90°C và 1300 m³/h. Đáng chú ý, hình vẽ thể hiện rằng tốc độ băng tải đóng vai trò là biến điều tiết; cụ thể, tốc độ cao (1,2 m/phút) chỉ

phát huy hiệu quả tối đa khi đi kèm với nhiệt độ cao, nếu không sẽ gây sụt giảm hiệu suất nghiêm trọng.



Hình 5. Mức độ ảnh hưởng của các thông số thiết bị



Hình 6. Phân tích thông số ảnh hưởng khả năng tách khuôn

Kết quả phân tích ANOVA cũng xác nhận tỷ trọng đóng góp của nhiệt độ và lưu lượng gió là tương đương nhau (mỗi yếu tố chiếm ~31%), khẳng định đây là hai thông số kỹ thuật cốt lõi cần kiểm soát chặt chẽ. Việc đạt được giá trị hiệu suất tuyệt đối 100% hút được sản phẩm tại các tổ hợp thí nghiệm số 4 và số 8 minh chứng cho khả năng tối ưu hóa quy trình thông qua việc phối hợp đồng bộ các thông số vận hành. Tổng hợp lại, mô hình thực nghiệm này cung cấp cơ sở quan trọng để thiết lập chế độ làm việc ổn định, vừa đảm bảo năng suất vừa tối ưu hóa chi phí năng lượng cho hệ thống. Bảng 2 thể hiện kết quả phân tích ANOVA cho khả năng hút sản phẩm/ tách khuôn qua quá trình sấy.

Bảng 2 thể hiện nhiệt độ và lưu lượng gió đóng góp tỷ trọng lớn nhất vào sự thay đổi của kết quả (mỗi yếu tố chiếm khoảng 31% tổng biến thiên). Chỉ số P-value có giá trị 0,153 cho thấy nhiệt độ và lưu lượng gió là hai biến số "nhạy" nhất mà bạn cần tập trung kiểm soát.

Bảng 2. Phân tích thực nghiệm ANOVA

Thông số	Bậc tự do (df)	Tổng bình phương	Giá trị	P-value
Nhiệt độ	2	0,234	2,6	0,153
Lưu lượng gió	2	0,234	2,6	0,153
Tốc độ băng tải	2	0,021	0,23	0,801

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã thiết lập cơ sở khoa học và thực nghiệm cho quá trình sấy tách khuôn sản phẩm gốm sứ thông qua việc tối ưu hóa ba thông số vận hành cốt lõi: Nhiệt độ (T), lưu lượng gió (Q) và tốc độ băng tải (v). Qua quá trình triển khai quy hoạch thực nghiệm Box-Behnken rút gọn với 12 mẫu thử, các kết luận chính được rút ra như sau:

- Mô hình thực nghiệm đã xác nhận mối tương quan chặt chẽ và phi tuyến tính giữa các thông số đầu vào đối với tỷ lệ hút thành công. Kết quả định lượng cho thấy vùng vận hành tối ưu nằm ở dải nhiệt độ từ 80 - 90°C kết hợp với lưu lượng gió cao 1100 m³/h. Tại điều kiện này, tốc độ bay hơi bề mặt và khả năng khuếch tán độ ẩm giúp sản phẩm đạt độ co ngót đồng nhất, tạo khe hở tách khuôn tốt và đảm bảo độ bền cơ học cần thiết của sản phẩm.

- Nghiên cứu chỉ ra rằng lưu lượng gió đóng vai trò quan trọng, cho phép duy trì hiệu suất sản xuất cao như tăng tốc độ băng tải mà không cần gia tăng nhiệt độ quá mức, từ đó giúp bảo vệ kết cấu xương đất khỏi các ứng suất nhiệt gây nứt vỡ. Tỷ lệ hút tách khuôn thành công đạt 100% tại các mẫu tương ứng nhiệt độ sấy giúp tạo khả năng thoát ẩm của sản phẩm tốt.

Trong các nghiên cứu tới, chúng tôi sẽ thiết kế hệ thống gốm sứ áp dụng bộ thông số điều khiển đã xác định để giảm thiểu tỷ lệ phế phẩm và tiết kiệm năng

lượng. Nghiên cứu có thể mở rộng khảo sát đối với các biến số về độ ẩm khác nhau và đặc tính thành phần nguyên liệu đất sét để hoàn thiện hơn nữa cho mô hình dự báo chất lượng sấy trong điều kiện sản xuất công nghiệp biến động.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Đề tài nghiên cứu ứng dụng và phát triển công nghệ cấp thành phố Hà Nội, mã số CT03/04-2023-3. Nhóm tác giả trân trọng cảm ơn Trường Cơ khí - Ô tô, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội đã hỗ trợ nhóm tác giả trong quá trình thực hiện nghiên cứu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. B. Nait-Ali, A. Alzina, N. Lauro, D. S. Smith, "Perspectives in drying of ceramics," *Open Ceramics*, 17, 100554, 2024. doi: <https://doi.org/10.1016/j.oceram.2024.100554>.
- [2]. J. S. Reed, *Principles of ceramics processing*. Wiley, 1995.
- [3]. R. Gomez, et al., "Investigating the Drying Process of Ceramic Sanitary Ware at Low Temperature," *Energies*, 16, 4242, 2023. doi: [10.3390/en16104242](https://doi.org/10.3390/en16104242).
- [4]. P. Just, R. Kaczorowski, M. Topola, T. Pacyniak, C. Rapiejko, "Studies of Accelerated Drying of Ceramic Moulds with the use of Microwaves," *Archives of Foundry Engineering*, 24, pp. 101-108, 2024. doi: [10.24425/afe.2024.151298](https://doi.org/10.24425/afe.2024.151298).
- [5]. K. Wang, et al., "Study on defect-free debinding green body of ceramic formed by DLP technology," *Ceramics International*, 46, 2, 2438-2446, 2020.
- [6]. F. Zhang, et al., "Mathematical model and numerical investigation of the influence of spray drying parameters on granule sizes of mold powder," *Particuology*, 85, 280-295, 2024. doi: <https://doi.org/10.1016/j.partic.2023.06.017>.
- [7]. T. L. Bergman, A. S. Lavine, F. P. Incropera, D. P. DeWitt, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. Wiley, 2020.
- [8]. A. S. Mujumdar, *Handbook of industrial drying*. CRC press, 2006.
- [9]. Y. Wan, X. Li, J. Ma, "Mullite porous ceramics with high strength for high-temperature thermal insulation," *Journal of Materials Research and Technology*, 27, 5692-5700, 2023.
- [10]. Z. Yang, et al., "Effect of sintering aid combined vacuum infiltration on the properties of Al₂O₃-based ceramics via binder jetting," *Additive Manufacturing*, 79, 103898, 2024.

[11]. S. Oummadi, *Drying behaviour of ceramic green bodies: experimental characterization and numerical modelling*. Thesis Doctor, Université de Limoges, 2019.

[12]. A. Dean, D. Voss, *Design and analysis of experiments*. Springer, 1999.

AUTHORS INFORMATION

**Nguyen Van Thien², Pham Duc Cuong¹, Nguyen Viet Hung²,
Nguyen Duc Luan¹**

¹HaUI Institute of Technology, Hanoi University of Industry, Vietnam

²School of Mechanical and Automotive Engineering, Hanoi University of Industry, Vietnam