

TỐI ƯU HÓA CÔNG NGHỆ SẢN XUẤT TẤM POLYURETAN DẠNG XỐP THÂN THIỆN VỚI MÔI TRƯỜNG TRÊN DÂY TRUYỀN LIÊN TỤC

OPTIMIZING THE PRODUCTION TECHNOLOGY OF ECO-FRIENDLY FOAM POLYURETHANE PANELS ON THE CONTINUOUS LINE

Phùng Xuân Sơn¹, Vũ Thị Huệ¹, Bàn Tiến Phi¹, Tống Thái Bảo¹,
Nguyễn Minh Quang¹, Nguyễn Tiến Tùng¹, Mai Đức Thuận², Lê Thị Phương Thanh^{1,*}

TÓM TẮT

Với tính năng ưu việt của tấm panel polyurethane (PU) như: Cách âm, cách nhiệt, chống cháy, chịu tải cao, trọng lượng nhẹ, thẩm mỹ cao, đặc biệt sử dụng phương pháp thi công lắp ghép đơn giản dễ dàng tháo lắp, di chuyển nên tấm panel PU mới hiện nay là lựa chọn hàng đầu cho các công trình xây dựng. Trong nghiên cứu này, các tác giả nghiên cứu chất tạo bọt vật lý thể hệ mới cyclopentane có tính thân thiện với môi trường và hoàn toàn không gây phá hủy tầng ôzôn. Nghiên cứu khảo sát và đánh giá ảnh hưởng của hàm lượng chất tạo bọt vật lý cyclopentane đến trọng lượng riêng nở tự do, thời gian phản ứng của xốp cứng polyurethane (R-PUF) và các giá trị thời gian phản ứng (cream time, gel time, tack-free time và rise time). Hình thái và kích thước tế bào kín của các mẫu R-PUF với các hàm lượng cyclopentane tăng dần từ 0% đến 20% được quan sát bởi ảnh kính hiển vi quang học và biểu đồ phân bố kích thước tế bào kín được xác định bằng phần mềm IT3. Ngoài ra, tính chất cơ lý độ ổn định kích thước và độ bền nén được phân tích để đánh giá chất lượng của vật liệu cách nhiệt R-PUF nở trong khuôn sử dụng tác nhân tạo bọt vật lý cyclopentane. Các tiến trình thực nghiệm theo phân tích thực nghiệm Taguchi trên dây truyền sản xuất liên tục nhằm đưa ra các thông số tối ưu cho quá trình sản xuất tấm panel PU trong công nghiệp. Các kết quả nghiên cứu đưa ra giá trị tham khảo tuyệt vời cho các nhà sản xuất nhằm nâng cao hơn nữa năng suất và chất lượng của tấm panel PU.

Từ khóa: Polyurethane, Panel PU, cyclopentane, R-PUF.

ABSTRACT

With the preeminent features of polyurethane (PU) panels such as sound insulation, heat insulation, fireproof, high load capacity, lightweight, high aesthetics, especially using simple and easy assembly construction and move, so new PU panel is now the first choice for construction projects. In this paper, the authors study the new generation physical foaming agent cyclopentane that is environmentally friendly and completely does not destroy the ozone layer. Study investigating and evaluating the effect of content of physical foam cyclopentane on free expansion density, reaction time of rigid polyurethane foam (R-PUF), and reaction time values (cream time, gel time, tack-free time, and rise time). The morphology and size of the closed-cell of the R-PUF samples with cyclopentane concentrations increasing from 0% to 20% are observed by the optical microscope image and the closed-cell size distribution chart is determined by IT3 software. In addition, the physical and mechanical properties of dimensional stability and compressive strength were analyzed to evaluate the quality of the expanded R-PUF insulation in the mold using a cyclopentane physical foaming agent. Experimental procedures according to Taguchi analysis on the continuous production line are aimed at giving optimal parameters for the industrial PU panel manufacturing process. The research results provide an excellent reference value for manufacturers to further improve the performance and quality of PU panels.

Keywords: Polyurethane, Panel PU, cyclopentane, R-PUF.

¹Khoa Cơ khí, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

²Khoa Chấn thương - Chính hình, Bệnh viện Quân y 108

*Email: lethiphuongthanh2@gmail.com

Ngày nhận bài: 10/7/2021

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 25/9/2021

Ngày chấp nhận đăng: 27/12/2021

1. GIỚI THIỆU

Polyurethane (PU) thuộc nhóm vật liệu polyme có khả năng kết hợp với nhiều loại vật liệu có các tính chất khác

nhau như sơn, chất đàn hồi, lớp phủ lông, chất cách điện, sợi đàn hồi... cùng với các đặc tính về độ bền cơ lý cao do đó chúng được ứng dụng rộng rãi trong y sinh, xây dựng,

tự động hóa, dệt may và trong một số lĩnh vực khác. Ngoài ra, PU có thể tổng hợp từ nhiều nguồn nguyên liệu khác nhau do đó có được nhiều đặc tính khác nhau và được phân thành nhiều loại dựa trên các tính chất của nó như xốp cứng, xốp mềm, nhựa nhiệt dẻo, chất kết dính, lớp phủ, chất bịt kín và chất đàn hồi [1].

Ngày nay, các tác động ảnh hưởng tới môi trường và biến đổi khí hậu đang trở thành mối quan tâm hàng đầu của nhân loại. Do nhu cầu phát triển của xã hội, con người đã phát thải vào khí quyển những khí thải gây ô nhiễm như SO_x , NO_x , CH_4 và các chất thải độc hại khác thông qua những hoạt động sản xuất hằng ngày. Để giảm tác động đến môi trường, phải kể đến các chất tạo bọt vật lý sử dụng trong công nghiệp như sản xuất polyurethane, đặc biệt là xốp cứng polyurethane (R-PUF). Trong đó, R-PUF được xếp vào nhóm vật liệu cách nhiệt tốt và được sử dụng phổ biến hiện nay, đây thuộc nhóm biện pháp tối ưu trong tiết kiệm nguồn năng lượng [2]. R-PUF có mật độ liên kết ngang cao nên có độ cứng cao, độ mềm dẻo rất thấp và không thể phục hồi lại hoàn toàn sau khi bị nén [3]. Đặc tính quan trọng của R-PUF là trong cấu trúc có hàm lượng bọt kín (chứa các khí có hệ số dẫn nhiệt thấp) trên 90%. Do đó, R-PUF có độ cách nhiệt vượt trội so với các vật liệu cách nhiệt tương tự khác [4].

Tuy nhiên, mối quan tâm lớn nhất trong công nghiệp sản xuất xốp cách nhiệt polyurethane (PU) là tìm ra chất tạo bọt vật lý thân thiện với môi trường mà vẫn cho hiệu quả làm việc cao. Loại chất tạo bọt vật lý đầu tiên được sử dụng trong công nghiệp sản xuất R-PUF là các hợp chất chlorofluorocacbons (CFCs), điển hình là trichlorofluoromethane (CFC11) được sử dụng phổ biến do khối lượng phân tử thấp, điểm sôi gần với nhiệt độ phòng, không cháy, ít độc và độ dẫn nhiệt thấp [5]. Nhưng CFC11 được xác định là nguyên nhân chính gây nên sự suy giảm tầng ôzôn với chỉ số suy giảm ôzôn (ozone depletion potential, ODP) xấp xỉ 1 và gây ra hiệu ứng nhà kính với chỉ số làm nóng trái đất (global warming potential, GWP) lên đến 4600, cao gấp hàng nghìn lần so với CO_2 [6]. Hợp chất thay thế cho CFC 11 được sử dụng sau đó là 1,1-dichloro-1-fluoroethane (HCFC-141b) [7]. Tuy nhiên, với các chỉ số ODP và GWP lần lượt là 0,11 và 630, loại H-CFC này cũng góp phần vào quá trình suy giảm tầng ôzôn và tăng hiệu ứng nhà kính [8]. Yêu cầu đặt ra cho ngành công nghiệp sản xuất PU là phải sử dụng các tác nhân tạo bọt thay thế hoàn toàn CFCs và thân thiện với môi trường. Cyclopentane với các chỉ số ODP = 0 và GWP = 11 có thể thay thế được các loại tác nhân tạo bọt CFCs, bên cạnh đó với khối lượng riêng tương đối thấp, cyclopentane hoàn toàn thích hợp làm tác nhân tạo bọt trong quá trình chế tạo PU cứng cho sản phẩm có độ xốp cao, tính cơ lý ổn định và độ bền nén cao [9, 10].

Trong những năm gần đây, nhiều nhà khoa học trong nước đã tiến hành nghiên cứu và tìm cách ứng dụng về vật liệu polyurethane xốp, tuy nhiên kết quả nghiên cứu còn rất hạn chế, các kết quả nghiên cứu mới dừng ở quy mô phòng thí nghiệm. Việc triển khai nghiên cứu trong sản xuất những loại vật liệu đặc chủng này mới dừng ở giai

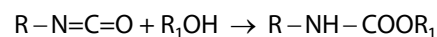
đoạn sản xuất thử nghiệm, nên phạm vi sử dụng cũng như giá trị sản phẩm chưa được đánh giá một cách đúng mức. Với mục đích nhằm đưa ra công nghệ chế tạo vật liệu xốp trên vật liệu polyurethane (PU) để gia công thành vật liệu hữu ích, thân thiện với môi trường, ứng dụng trong công nghiệp và đời sống các tác giả đi vào nghiên cứu thực nghiệm theo phương pháp Taguchi nhằm đưa ra được bộ thông số tối ưu quá trình sản xuất tấm Panel PU thân thiện với môi trường trên dây chuyền liên tục.

2. POLYURETHANE

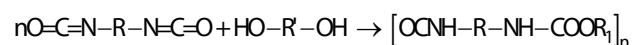
Các nghiên cứu trong nước về R-PUF mới chỉ dừng lại bởi các nghiên cứu trong quy mô thí nghiệm, trong đó chủ yếu nghiên cứu tạo ra R-PUF với các hóa chất CFCs, HCFC. Tuy nhiên ngày nay các hóa chất CFCs, HCFC đang dần hạn chế sử dụng do có tác động tiêu cực tới môi trường [11]. Các nghiên cứu gần đây chủ yếu tập trung vào nghiên cứu về hình thái tạo xốp, ảnh hưởng của một số thông số đến quá trình tạo xốp PU và ảnh hưởng của chúng đến một số chỉ tiêu chất lượng [9]. Chưa có công trình nào nghiên cứu ảnh hưởng của quá trình tạo xốp đến các thông số chất lượng của vật liệu R-PUF trên dây chuyền sản xuất liên tục (tỉ trọng, tỉ suất hút ẩm, độ bền kéo, độ bền nén). Các nghiên cứu về thiết kế, chế tạo, ảnh hưởng của hệ thống công nghệ tới quá trình sản xuất tấm PU trên hệ thống máy thực còn thiếu và chưa đầy đủ.

Để khắc phục vấn đề này các tác giả tiến hành theo phương pháp phân tích thực nghiệm Taguchi nhằm đưa ra các thông số tối ưu cho quá trình sản xuất tấm panel PU liên tục nhằm tạo ra năng suất và chất lượng của tấm panel PU từ đó đưa ra mục tiêu tối ưu hóa quá trình sản xuất tấm PU.

Polyurethane là sản phẩm do polyisocyanat tác dụng với polyancol. Do kết quả phản ứng isocyanat tác dụng với nước tạo ra amin. Nhưng khi tác dụng với rượu thì tạo ra este aminocacboxylic gọi là urethane.

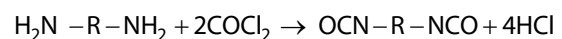


Nếu thay monoisocyanat và thay rượu một nguyên tử thành rượu hai nguyên tử sẽ tạo ra Polyurethane thẳng. Tri-isocyanat và Triol tạo ra sản phẩm có cấu trúc không gian.



Nghiên cứu bởi Buyer và các cộng sự [16] đã tạo ra Polyurethane mạch thẳng thích hợp cho quá trình kéo sợi. Sợi Polyurethan có tính chất giống polyamit, do có chứa nhóm amit (-NH-CO-) có khả năng tạo liên kết hidro nên lực tác dụng giữa các phân tử lớn. Nhưng lại mềm hơn polyamit do mạch chính của polymer có chứa nguyên tử oxy.

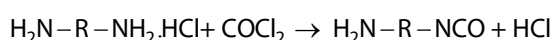
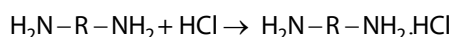
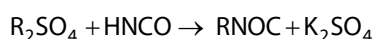
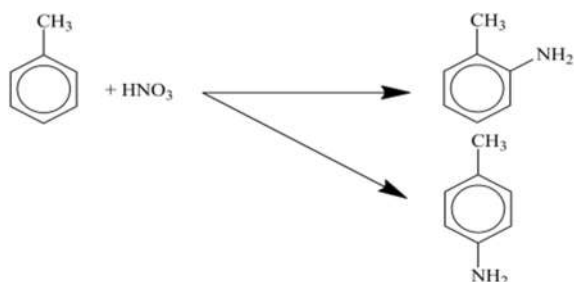
Nguyên liệu chính để sản xuất Polyurethane là isocyanat và tri-isocyanat. Phương pháp cơ bản dựa vào phản ứng tác dụng của isocyanat và tri-isocyanat với fotgan trong môi trường dung môi (toluen, o-clobenzen, p-clobenzen) trong điều kiện nhiệt độ (0 - 150°C)



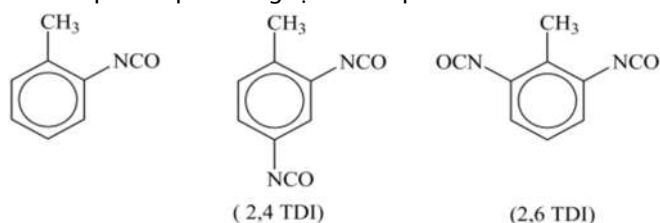
Isocyanat và tri-isocyanat là chất có mùi hắc mạnh và độc.

Các hợp chất chứa nhóm -OH dùng để sản xuất: Glycol, polyete mạch thẳng và nhánh.

Vật liệu Isocyanat được tổng hợp dựa trên các hợp chất hữu cơ:



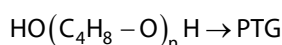
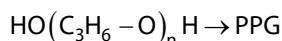
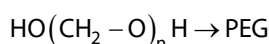
Kết quả các phản ứng tạo ra sản phẩm:



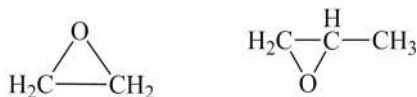
Trong đó có thể tách riêng 2,4 TDI và 2,6 TDI tuy nhiên trong sản xuất công nghiệp thường sử dụng hỗn hợp tồn tại cả 2,4 và 2,6 TDI với tỷ lệ 80/20 hoặc 65/35 isocyanat dạng mạch thẳng và mạch vòng: HMDI, IPDI, MDI, NDI.

Trên thị trường có khoảng 450 loại chứa nguyên tử hidro linh động. Về nguyên tắc: tất cả các sản phẩm chứa từ hai nguyên tử hidro linh động đều được dùng để tổng hợp Polyurethane.

Các hợp chất chứa nhóm OH, NH, hay COOH là những nhóm thông dụng nhất để chế tạo ra.

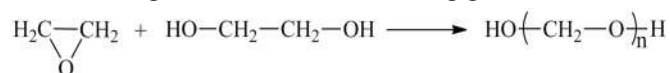


Tuy nhiên trong quá trình biến tính sản phẩm còn sử dụng thêm:



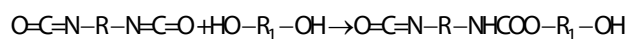
Polyol là hợp chất có khối lượng phân tử nhỏ, thuận tiện cho việc tổng hợp. Ngoài những loại đa chức có khối lượng phân tử nhỏ, còn sử dụng chủ yếu hai loại: Polyeste polyol và polyete polyol.

Sử dụng cấu tạo ở mạch thẳng hay vòng polyete polyol được sử dụng hạn chế hơn với sản lượng gần 10%.



Những loại sản phẩm polyeste, polyete tùy thuộc vào mục đích sử dụng mà có khối lượng phân tử M từ 200 đến 2000.

Khối lượng phân tử thấp thường sử dụng dẻo hoặc xốp cứng.



Hoạt tính phụ thuộc vào nhóm: $N=C=O$

Những sản phẩm có khối lượng phân tử cao, sử dụng chế tạo ra elastome, sơn, các sản phẩm bám cứng và mềm.

3. TÍNH TOÁN TỐC ĐỘ VÀ LƯU LƯỢNG VỎI PHUN PU TRÊN DÂY CHUYỂN SẢN XUẤT

3.1. Mạch gồm m nhánh chảy song song bằng nhau

Trong đó: P_n là áp suất trong trục đục lỗ; d_1 đường kính trong trục đục lỗ; p là áp suất tại vị trí phun z ; d_2 đường kính lỗ phun trên trục đục lỗ; m là số lỗ, $m = x \cdot y$ lỗ, với x là số lỗ trên 1 hàng; y là số hàng lỗ; z là khoảng cách phun. Khi chuyển mỗi lỗ là 1 điện trở khi đó mô hình mạch điện gồm m điện trở R_2 mắc song song, R_1 là điện trở đầu vào, mối quan hệ giữa p và P_n , R_1 , R_2 được xác định như sau:

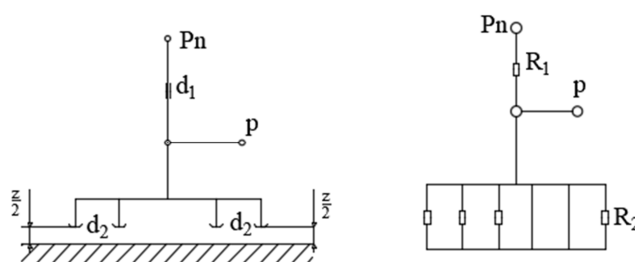
$$p = \frac{P_n}{R_1 + R_{td}} R_{td} \quad (1)$$

$$R_{td} = \frac{R_2}{m} \quad (2)$$

$$p = \frac{R_2 P_n}{\left(R_1 + \frac{R_2}{m}\right) m} = \frac{P_n}{\left(1 + \frac{m R_1}{R_2}\right)} \quad (3)$$

$$R_1 = \frac{1}{F_1^2}; R_2 = \frac{1}{F_2^2} \quad (4)$$

$$\Rightarrow \frac{R_1}{R_2} = \frac{F_2^2}{F_1^2} = \left(\frac{4d_2}{d_1}\right)^2 \cdot \left(\frac{z^2}{4}\right) \quad (5)$$



Hình 1. Sơ đồ quy trình phun tấm Panel PU liên tục

Phương trình biểu diễn mối quan hệ giữa áp suất tại lỗ phun P và áp suất nguồn P_n :

$$p = \frac{P_n}{\left(\frac{az}{\sqrt{m}}\right)^2 + 1} \quad (6)$$

$$\text{Trong đó: } a = \left(\frac{4 \cdot d_2}{d_1}\right)$$

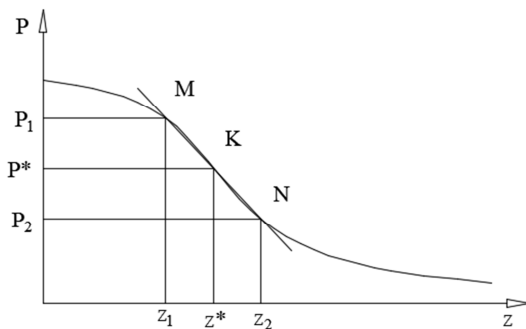
Có thể thấy áp suất phun P phụ thuộc vào áp suất nguồn P_n và d_1 , d_2 và khoảng cách phun z và số lỗ phun m .

Tính toán tỉ số truyền lớn nhất:

$$i_{\max} = \frac{-0,65 \cdot a \cdot P_n}{\sqrt{m}} \quad (7)$$

$$\text{Giới hạn phun } z: z_1 = \frac{0,4 \cdot \sqrt{m}}{a}; z_2 = \frac{0,8 \cdot \sqrt{m}}{a}$$

So với trường hợp đầu phun 1 lỗ phun 1 nhánh chảy thì trường hợp đầu phun 1 lỗ phun m nhánh chảy song song có tỉ số truyền giảm $\sqrt{m}$ lần và phạm vi làm việc $\sqrt{m}$ lần.



Hình 2. Đường cong đặc tính quan hệ áp suất P và khoảng cách Z

Đường đặc tính của chuyển đổi khí nén (hình 2): Đường cong đặc tính có điểm uốn tại K và đoạn xung quanh K được coi là đoạn tuyến tính. Người ta chọn K làm điểm tham khảo để xác định đoạn làm việc của đầu phun, khi thiết kế chọn điểm k nằm ở giữa lớp vải được nhuộm. Đoạn MN là đoạn làm việc của đầu phun, đoạn trước điểm M áp suất lớn nhưng tốc độ dòng chảy cao nên độ bám dính của hóa chất PU không tốt, đoạn sau điểm N có áp suất thấp nên không nên sử dụng để làm việc. Tóm lại đoạn phù hợp nhất để phun là chiều cao nằm trong khoảng $Z_1 - Z_2$.

Bảng 1. Bảng thông số cơ bản của vòi phun

Số thứ tự	Chỉ tiêu làm việc	Công thức	Kết quả tính
1	p	$\frac{P_n}{\left(\frac{az}{\sqrt{m}}\right)^2 + 1}$	$p = 0,797$
2	i^*	$-0,65 P_n \cdot a \frac{1}{\sqrt{m}}$	$i^* = -0,07$
3	z^*	$0,6 \frac{1}{a} \sqrt{m}$	$z^* = 41,396$
4	Z_1	$0,4 \frac{1}{a} \sqrt{m}$	$Z_1 = 27,597$
5	Z_2	$0,8 \frac{1}{a} \sqrt{m}$	$Z_2 = 55,195$
6	p^*	$0,75 P_n \cdot \frac{1}{\sqrt{m}}$	$p^* = 1,148$

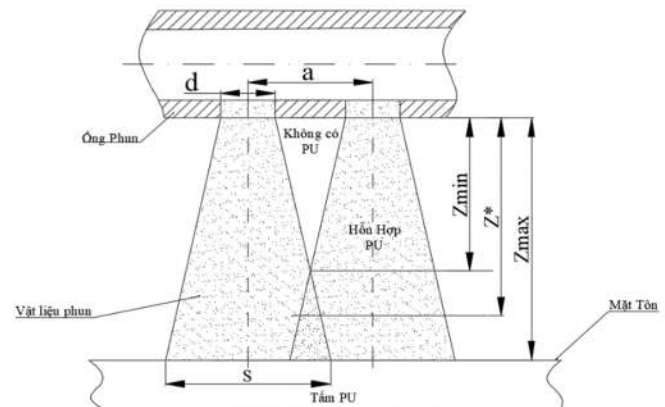
3.2. Lưu lượng phun trên dây chuyền sản xuất

Trên dòng chảy của khí nén với áp suất P_1 cố định, ta có tiết diện độ thắt F_1 , độ thắt F_1 sẽ làm cản trở dòng khí chảy qua nó. Giả thiết là không khí nén được sấy khô, quá trình chảy đoạn nhiệt. Sau khi chảy qua F_1 , áp suất giảm xuống P_2 , lưu lượng khí chảy qua F_1 là Q . Theo phương trình Becnuli ta có phương trình xác định lưu lượng khí chảy qua F_2 :

$$Q = \begin{cases} \mu F_1 P_1 \sqrt{\frac{2}{gRt} \cdot \frac{k}{k-1} \cdot \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k+1}{k}}} & \text{khí } \frac{P_2}{P_1} \geq \beta \\ \mu F_1 P_1 \sqrt{\frac{2}{gRt} \cdot \frac{k}{k-1} \cdot \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{2}{k-1}}} & \text{khí } \frac{P_2}{P_1} \leq \beta \end{cases} \quad (l/ph) \quad (8)$$

Trong đó: μ : Hệ số chảy kể đến tính chịu nén của không khí; g : Gia tốc trọng trường ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$); R : Hằng số chất khí; t : Nhiệt độ tuyệt đối của không khí; P_1, P_2 : Áp suất tuyệt đối của dòng khí nén trước và sau cản trở F_2 ; k : Chỉ số đoạn nhiệt của không khí ($k = 1,4$); Điểm tới hạn của sự chảy: $\beta = 0,528$.

Để làm sạch đạt hiệu quả cao nhất thì áp suất P và khoảng cách phun L sẽ nằm trong một khoảng giá trị hợp lý nhất ứng với mỗi loại vòi phun tương ứng. Nếu L quá nhỏ máy sẽ quá tải áp suất gây nguy hiểm cho công nhân và máy móc thiết bị. Nhưng nếu L quá lớn thì hiệu quả làm sạch giảm. Trong điều kiện làm việc $P = 7 - 8$ (bar) thì xác định được $L = 100 - 200$ (mm).



Hình 3. Sơ đồ tính lưu lượng phun

4. THIẾT LẬP THÍ NGHIỆM

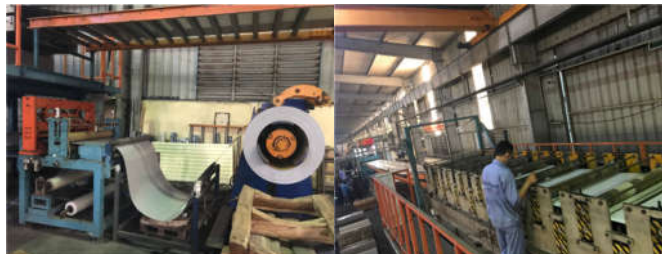
4.1. Thiết lập tỉ trọng hóa chất, hệ thống bơm hóa chất, làm sạch vòi phun hóa chất

Thông qua những yêu cầu của thí nghiệm từ đó điều chỉnh (calib) tỉ trọng và khối lượng hóa chất.

Sau khi cân định lượng, tiến hành kiểm tra hệ thống bơm áp lực hóa chất, đảm bảo khi thí nghiệm sẽ không bị sự cố. Tiến hành vệ sinh đầu van dẫn khí, các mạch điện, bình khuấy hóa chất và đo nhiệt độ của hóa chất khi được bơm. Kiểm tra và thay thế các thùng hóa chất đã hết bằng thùng hóa chất mới đảm bảo quá trình thí nghiệm được thực hiện thuận tiện nhất.

Sau khi kiểm tra hóa chất và vòi phun, điều chỉnh nhiệt độ của bàn ép sao cho thỏa mãn với yêu cầu của thí nghiệm thông qua bảng điều khiển nhiệt độ bàn ép. Thay thế những khuôn bị lỗi và biến dạng, điều chỉnh khoảng cách giữa hai bề mặt khuôn ép.

4.2. Quy trình thí nghiệm



Bước 1. Trải phẳng tôn

Bước 2. Kiểm tra quá trình trải tôn



Bước 3. Ép đầu tôn

Bước 4. Phun thử và làm sạch đầu phun



Bước 5. Đưa tôn vào khuôn

Bước 6. Định vị tôn vào khuôn ép PU

Hình 4. Quy trình thực nghiệm trên dây chuyền sản xuất liên tục

Sau khi kiểm tra và hiệu chỉnh nhiệt độ, hóa chất, khí nén xong; bắt đầu khởi động toàn bộ hệ thống làm việc. Các bước thực nghiệm như sau:

Bước 1: Cán sóng. Theo yêu cầu của thí nghiệm tôn được cắt theo kích thước sau đó được đưa vào máy cán sóng điều chỉnh khuôn và tốc độ cán để đạt hiệu suất tối ưu.

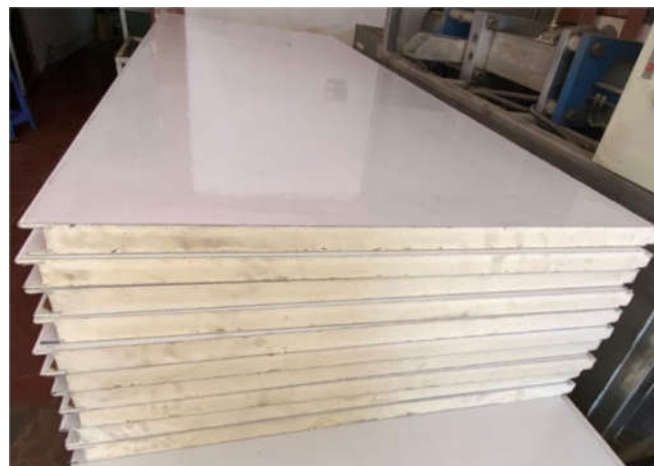
Bước 2: Xử lý hóa chất. Đo nhiệt độ hóa chất và lưu lượng khí nén, điều chỉnh buồng khuấy hóa chất để hóa chất lưu thông ổn định, xử lý những sự cố về khí về hóa chất trong quá trình thí nghiệm.

Bước 3: Điều chỉnh hệ thống phun hóa chất và bàn ép. Hiệu chỉnh thông số của hóa chất (tỉ lệ thành phần các hóa chất, nhiệt độ hóa chất); thông số của bàn ép thủy lực (nhiệt độ bàn ép, lực ép...) sao cho chất lượng sản phẩm thí nghiệm tốt nhất.

Bước 4: Đưa tôn vào bàn ép và tiến hành làm việc. Tôn sau khi được cán đưa vào bàn ép, hóa chất phun với lưu lượng thích hợp. Tiến hành hiệu chỉnh bàn ép đảm bảo yêu cầu kỹ thuật.

Bước 5: Làm sạch. Sau khi ép, tôn được làm sạch những hóa chất và ba vĩa còn sót lại, đánh bóng phần PU đầu tấm tôn và hai bên mép tôn để khi lắp ghép dễ dàng hơn.

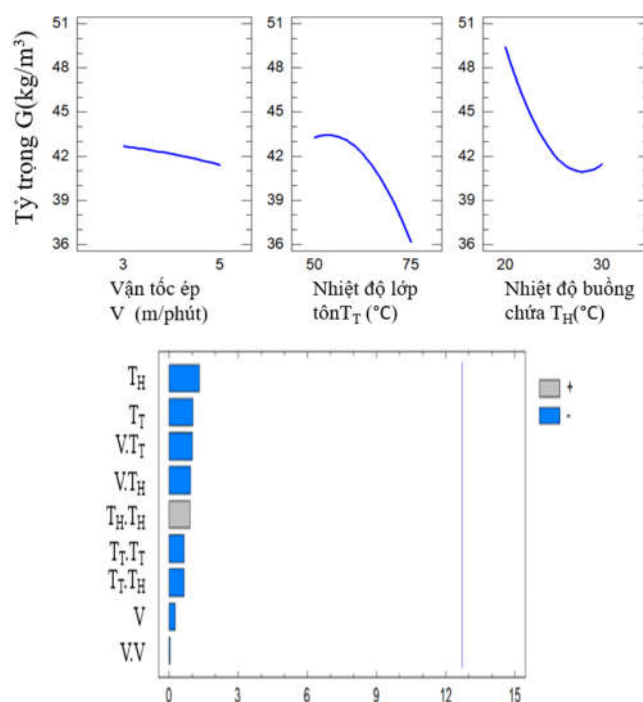
Bước 6: Đóng gói. Tôn đã được làm sạch sẽ được chuyển đến khâu đóng gói sản phẩm.



Hình 5. Sản phẩm thí nghiệm

5. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Kết quả thực nghiệm các nhân tố ảnh hưởng đến tỷ trọng như mô tả trên hình 6. Kết quả khảo sát cho thấy ảnh hưởng của nhiệt độ lớp tôn và nhiệt độ buồng chứa đến tỉ trọng G là lớn nhất, ảnh hưởng của vận tốc ép là nhỏ nhất đến tỉ trọng G. Bảng 2 cho thấy sự kết hợp của các mức yếu tố tối đa hóa tỷ trọng (G) trên vùng được thực nghiệm. Kết quả phân tích chỉ ra khu vực mà tối ưu hóa sẽ được thực hiện. Qua đó có thể đặt giá trị của một hoặc nhiều yếu tố thành một hằng số, bằng cách đặt giới hạn thấp và cao cho giá trị đó.



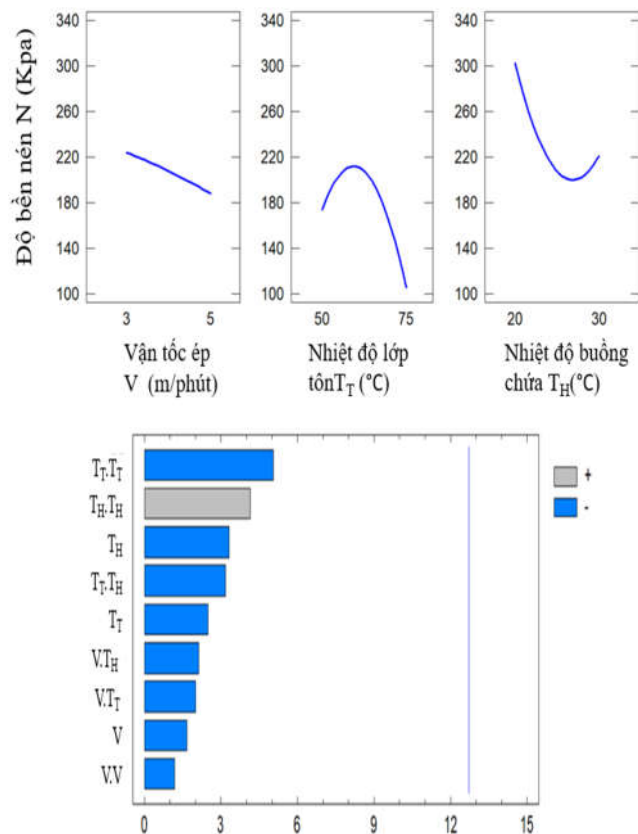
Hình 6. Biểu đồ các nhân tố tác động đến tỷ trọng G (kg/m³)

Bảng 2. Giá trị tối ưu hóa tỷ trọng G

Hệ số	Min	Max	Tối ưu	Đơn vị
Vận tốc ép (V)	3,0	5,0	4,89209	m/ phút
Nhiệt độ lớp tôn (T_T)	50,0	75,0	50,0	°C
Nhiệt độ buồng chứa (T_H)	3,0	5,0	4,89209	°C

Kết quả thực nghiệm các nhân tố tác động đến độ bền nén được mô tả như trên hình 7 kết quả khảo sát cho thấy sự ảnh hưởng của nhiệt độ lớp tôn và nhiệt độ buồng chứa đến độ bền nén là lớn nhất, ảnh hưởng của vận tốc ép là nhỏ nhất. Kết quả phân tích trên bảng 3 cho thấy vận tốc ép 4,42511 (m/phút), nhiệt độ lớp tôn 62,1245°C, nhiệt độ buồng chứa 20°C cho độ bền nén tốt nhất.

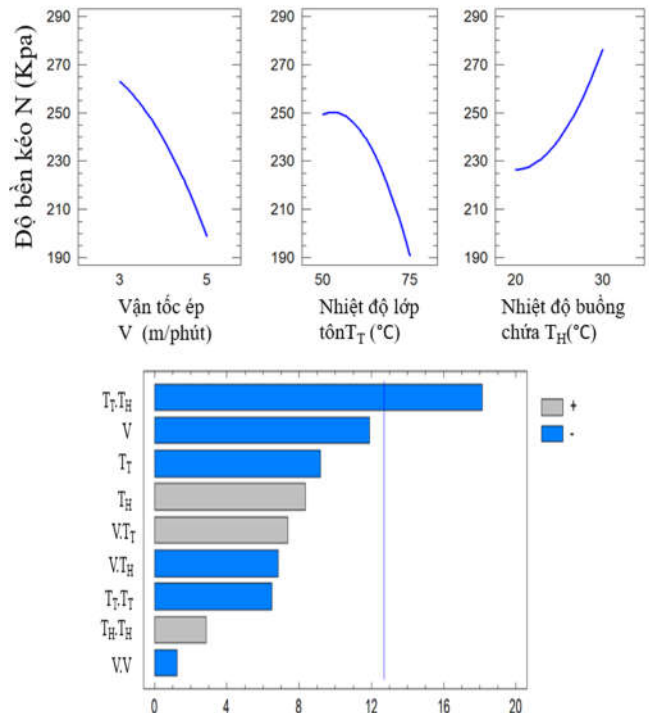
Mô tả trên hình 8 kết quả khảo sát cho thấy nhiệt độ lớp tôn, nhiệt độ buồng chứa và vận tốc ép đều ảnh hưởng lớn đến độ bền kéo K. Kết quả phân tích bởi Statgraphics cho thấy kết quả tối ưu các thông số công nghệ như mô tả trên bảng 4. Kết quả phân tích cho thấy vận tốc ép 3,64592 (m/phút), nhiệt độ lớp tôn 50°C, nhiệt độ buồng chứa 30°C cho độ bền kéo lớn nhất.



Hình 7. Biểu đồ các nhân tố tác động đến độ bền nén và các hệ số ảnh hưởng

Bảng 3. Tối ưu hóa độ bền nén N (kPa)

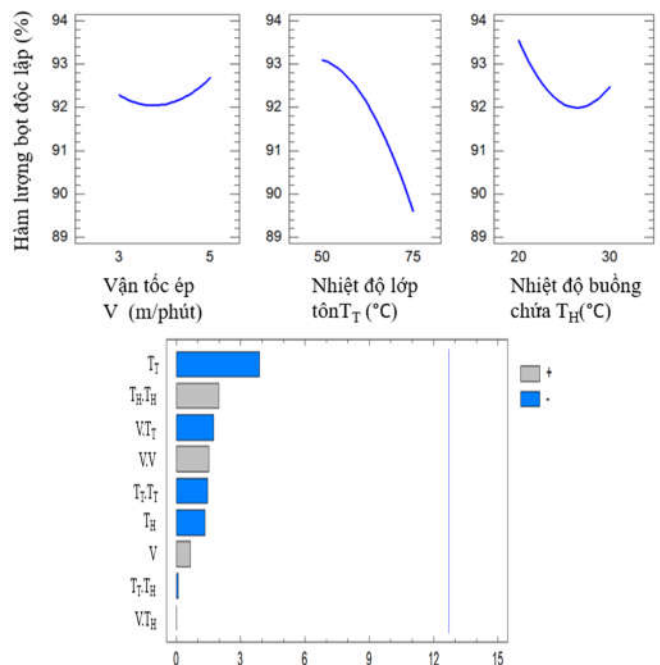
Hệ số	Thấp	Cao	Tối ưu	Đơn vị
Vận tốc ép (V)	3,0	5,0	4,42511	m/ phút
Nhiệt độ lớp tôn (T_T)	50,0	75,0	62,1245	°C
Nhiệt độ buồng chứa (T_H)	20,0	30,0	20,0	°C



Hình 8. Biểu đồ các nhân tố tác động đến độ bền kéo và các hệ số hàm hồi quy

Bảng 4. Tối ưu hóa độ bền kéo K (kPa)

Hệ số	Thấp	Cao	Tối ưu	Đơn vị
Vận tốc ép (V)	3,0	5,0	3,64592	m/ phút
Nhiệt độ lớp tôn (T_T)	50,0	75,0	50,0	°C
Nhiệt độ buồng chứa (T_H)	20,0	30,0	30,0	°C



Hình 9. Biểu đồ các nhân tố tác động đến hàm lượng bột độc lập và các hệ số hàm hồi quy

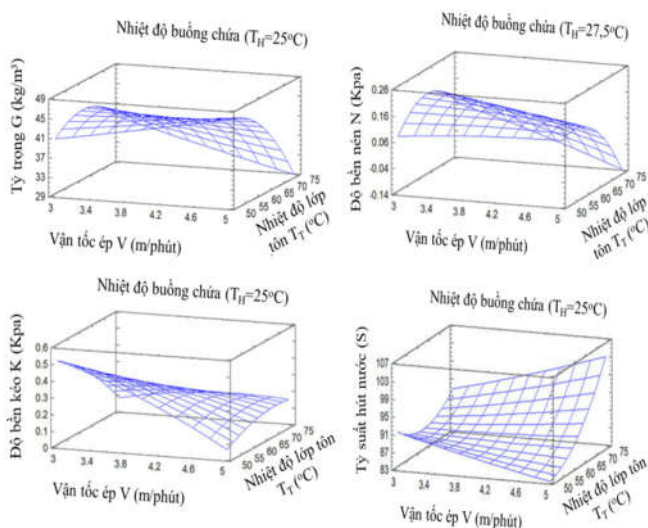
Kết quả thực nghiệm các nhân tố ảnh hưởng tới hàm lượng bột độc lập được mô tả như trên hình 9 cho thấy ảnh

hường của nhiệt độ lớp tôn là lớn nhất tới hàm lượng bột, nhiệt độ buồng chứa và vận tốc ép có sự ảnh hưởng ít hơn. Kết quả phân tích cho thấy vận tốc ép 5 m/phút, nhiệt độ lớp tôn 50°C, nhiệt độ buồng chứa 30°C cho hàm lượng bột độc lập cao nhất.

Bảng 5. Tối ưu hóa hàm lượng bột độc lập

Hệ số	Thấp	Cao	Tối ưu	Đơn vị
Vận tốc ép (V)	3,0	5,0	5,0	m/ phút
Nhiệt độ lớp tôn (T_T)	50,0	75,0	50,0	°C
Nhiệt độ buồng chứa (T_H)	20,0	30,0	30,0	°C

Kết quả phân tích được biểu diễn trực quan như mô tả trên hình 10, kết quả cho thấy vận tốc ép tăng thì tỷ trọng giảm, nhiệt độ lớp tôn tăng thì tỷ trọng tăng nhưng đến 57°C thì tỷ trọng sẽ giảm, bên cạnh đó nhiệt độ buồng chứa tăng thì tỷ trọng giảm nhưng đến 28°C thì tỷ trọng sẽ tăng lên.



Hình 10. Mối quan hệ giữa các thông số công nghệ tới tỷ trọng, độ bền nén, độ bền kéo và tỷ suất hút nước

6. KẾT LUẬN

Bài báo này trình bày phương pháp xác định hóa chất, cách tính lưu lượng phun và các thông số công nghệ trong dây chuyền sản xuất tấm Panel PU liên tục. Trong đó, các vấn đề về độ bền của lớp PU, độ thấm hút ẩm, nước đã được tối ưu hóa và hoàn thiện hơn trong đó vấn đề về hóa chất an toàn đến môi trường cũng đã được giải quyết. Dựa vào kết quả đã thực nghiệm theo phương pháp Taguchi, nghiên cứu đã trình bày được các yếu tố ảnh hưởng đến chất lượng và năng suất khi chế tạo tấm panel PU trên dây chuyền liên tục. Các tiến trình thực nghiệm cho ra các tấm panel PU có tính thương mại cao cùng với đó đã đáp ứng được yêu cầu sử dụng thực tế. Các kết quả chính khi phân tích và tối ưu hóa các yếu tố tác động tới các chỉ tiêu chất lượng được mô tả như sau:

- Kết quả khảo sát cho thấy ảnh hưởng của nhiệt độ lớp tôn và nhiệt độ buồng chứa đến tỷ trọng G là lớn nhất, ảnh hưởng của vận tốc ép là nhỏ nhất đến tỷ trọng G. Thông số cho tỷ trọng tối ưu tương ứng với các điều kiện công nghệ:

vận tốc ép 4,89209 m/phút; nhiệt độ lớp tôn 50,0°C; nhiệt độ buồng chứa 20,63°C.

- Kết quả phân tích cho thấy ảnh hưởng của nhiệt độ lớp tôn và nhiệt độ buồng chứa đến độ bền nén là lớn nhất, ảnh hưởng của vận tốc ép là nhỏ nhất. Độ bền nén tối ưu tương ứng với các thông số công nghệ: vận tốc ép 4,42511 m/phút; nhiệt độ lớp tôn 62,1245°C; nhiệt độ buồng chứa 20°C.

- Kết quả phân tích cho thấy ảnh hưởng của nhiệt độ lớp tôn là lớn nhất tới hàm lượng bột, nhiệt độ buồng chứa và vận tốc ép có sự ảnh hưởng ít hơn. Kết quả độ bền nén tối ưu tương ứng với các thông số công nghệ: vận tốc ép 5m/phút; nhiệt độ lớp tôn 50°C; nhiệt độ buồng chứa 30°C.

Các kết quả thu được mang lại giá trị tham khảo tuyệt vời nhằm nâng cao hơn nữa năng suất và chất lượng cho các nhà máy sản xuất tấm panel PU.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Jagadeeswaran S., S.D. Pohekar, 2009. *Performance enhancement in latent heat thermal storage system: A review*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13(9): p. 2225-2244.
- [2]. Yan R., et al., 2015. *Quasi-static and dynamic mechanical responses of hybrid laminated composites based on high-density flexible polyurethane foam*. Composites Part B: Engineering, 83: p. 253-263.
- [3]. Jin L., et al., 2006. *Preparation of soap-free cationic emulsion using polymerizable surfactant*. Journal of Applied Polymer Science, 299: p. 1111-1116.
- [4]. Chang B.P., et al., 2019. *Novel sustainable biobased flame retardant from functionalized vegetable oil for enhanced flame retardancy of engineering plastic*. Scientific reports, 9(1): p. 15971-15971.
- [5]. Cinelli P., I. Anguillesi, A. Lazzeri, 2013. *Green synthesis of flexible polyurethane foams from liquefied lignin*. European Polymer Journal, 49: p. 1174-1184.
- [6]. Pizzatto L., et al., 2009. *Synthesis and characterization of thermoplastic polyurethane/nanoclay composites*. Materials Science and Engineering: C, 29(2): p. 474-478.
- [7]. Hosur M., M. Al-Mayahi, S. Jeelani, 2005. *Manufacturing and low-velocity impact characterization of foam filled 3-D integrated core sandwich composites with hybrid face sheets*. Composite Structures - Compos Struct, 69: p. 167-181.
- [8]. Middleton J.C., Tipton A.J., 2000. *Synthetic biodegradable polymers as orthopedic devices*. Biomaterials, 21, pp. 2335-2346.
- [9]. Morgan A.B., Wilkie C.A., 2007. *Flame retardant polymers nanocomposites*. Wiley Interscience. ISBN: 978-0-471-73426-0.
- [10]. Grand A.F., Wilkie C.A. (Eds), 2000. *Fire Retardancy of Polymeric Materials*. Marcel Dekker Inc., New York, NY, USA. ISBN 0-8247-8879-6.
- [11]. Lyon R.E., Takemori M.T., Safronova N., Stolarov S.I., Walters R.N., 2009. *A molecular basis for polymer flammability*. Polymer, 50, pp. 2608-2617.

AUTHORS INFORMATION

Phung Xuan Son¹, Vu Thi Hue¹, Ban Tien Phi¹, Tong Thai Bao¹, Nguyen Minh Quang¹, Nguyen Tien Tung¹, Mai Duc Thuan², Le Thi Phuong Thanh¹

¹Faculty of Mechanical Engineering, Hanoi University of Industry

²Department of Trauma - Orthopedics, 108 Central Military Hospital