

MÔ PHỎNG ĐIỀU KHIỂN HỆ THỐNG PHUN PU TRONG SẢN XUẤT TÔN 5 SÓNG VỚI TIA PORTAL

SIMULATION OF PU SPRAYING SYSTEM CONTROL FOR 5- WAVE SHEET PRODUCTION WITH TIA PORTAL

Nguyễn Thị Ngọc Huyền

Khoa Cơ khí, Trường Cơ khí, Đại học Bách khoa Hà Nội

Email: huyen.nguyenthingoc@hust.edu.vn

TÓM TẮT

Hệ thống dây chuyền sản xuất tôn lợp 5 sóng, 3 lớp có lớp Polyurethane Foam (PU) được phun ở giữa lớp tôn và lớp giấy bạc PVC làm lớp cách nhiệt, cách âm, chống thấm cho tôn lợp mái, do đó hệ thống phun PU cần hoạt động đồng thời, liên tục đảm bảo sản xuất với năng suất ổn định, đạt yêu cầu kỹ thuật. Bài báo này đề xuất mô phỏng thiết kế hệ thống điều khiển phun PU trên nền tảng TIA Portal bao gồm điều khiển cụm băng tải, hệ thống gia nhiệt, hệ thống phun hóa chất, súng phun PU và làm sạch. Kết quả mô phỏng cho thấy hệ thống phun PU đáp ứng được các yêu cầu hoạt động tốt của các thiết bị, cảm biến và chuyển động, có thể ngăn chặn hiệu quả các thao tác sai trong quá trình vận hành đồng thời nâng cao đáng kể độ an toàn cho dây chuyền sản xuất tôn 5 sóng.

Từ khóa: Mô phỏng; TIA Portal; Tôn cách nhiệt; PU.

ABSTRACT

The five-wave, three-layer roofing sheet production line incorporates a layer of polyurethane sprayed between the steel substrate and a PVC-coated aluminum foil to provide thermal insulation, sound attenuation, and waterproofing. Consequently, the PU-spraying system must operate synchronously and continuously to ensure stable throughput and compliance with technical specifications. This paper presents a simulation-based design of the PU-spraying control system implemented in the TIA Portal environment, encompassing the conveyor unit, heating system, chemical metering and spraying stations, PU spray gun, and cleaning module. Simulation results demonstrate that the proposed control scheme meets operational requirements for equipment, sensors, and actuator movements; effectively prevents incorrect operational procedures; and substantially enhances the safety of the five-wave roofing sheet production line.

Keywords: Simulation; TIA Portal; Insulated roofing sheet; PU.

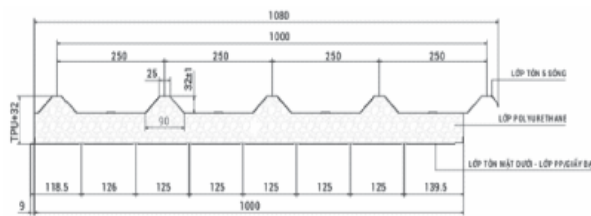


1. TỔNG QUAN

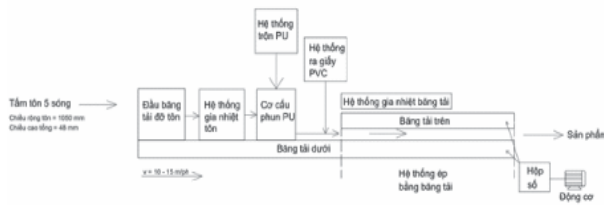
PU là một loại nhựa dạng bọt xốp được tạo thành từ hai loại chất lỏng chính là Polyols và Isocyanate. Hai thành phần này được trộn với nhau bằng máy cao áp chuyên dụng. Sau khi trộn sẽ tạo ra phản ứng hóa học, tùy theo từng loại hóa chất Polyols mà tốc độ phản ứng sẽ khác nhau. Sau khi phản ứng xong, thành phẩm được tạo thành chính là bọt xốp PU Foam. Phun PU là một quy trình khép kín bắt đầu từ lúc phối trộn 2 thành phần lỏng và cuối chu trình sẽ tạo ra sản phẩm bọt xốp PU Foam đóng rắn ngay trên bề mặt vật liệu. Độ dày của lớp PU tùy theo yêu cầu của công trình. Lớp PU có khả năng cách nhiệt tốt, chống oxy hóa hiệu quả, độ đàn hồi tốt và có khả năng kết dính cao với các loại vật liệu khác [1, 2].

Quy trình sản xuất tôn mát 5 sóng PU 3 lớp gồm 5 giai đoạn. Giai đoạn 1 (kiểm soát nhiệt độ hóa chất và nhiệt độ băng tải): Polyurethane Foam được tạo thành từ hai loại hóa chất chính là Polyols và Isocyanate, để tính chất của lớp PU được ổn định sau khi pha trộn, nhiệt độ của hai hóa chất trước khi khuấy trộn cần đảm bảo ở mức $25 \div 40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Sau khi 2 hóa chất được trộn lẫn, nhiệt độ tối ưu cho quá trình giãn nở của hóa chất là từ $50 \div 60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Giai đoạn 2 (gia nhiệt tôn): tôn sau khi cán thành biên dạng 5 sóng được chuyển vào băng tải đỡ (băng tải dưới) và được gia nhiệt khi đi qua hệ thống gia nhiệt sử dụng hệ thống đèn sấy. Giai đoạn 3 (phun hóa chất PU lên bề mặt tôn): tôn sau khi được gia nhiệt được đưa vào cụm phun hóa chất PU, tại đây hóa chất được trộn bằng súng phun chuyên dụng và phun lên bề mặt tôn. Giai đoạn 4 (thêm lớp PP/PVC): cuộn giấy PP/PVC xả lớp PP/PVC vào hệ thống ép đồng thời với tấm tôn sau khi được phun lớp PU. Giai đoạn 5 (ép sản phẩm): Hệ thống ép bao gồm hai băng tải trên dưới. Băng tải dưới sẽ có biên dạng

trùng khớp với biên dạng của tấm tôn và cần chính xác với biên dạng tại hai sóng tôn ngoài cùng. Tấm băng tải bên trên thì sẽ có biên dạng là tấm phẳng có nhiệm vụ ép xốp PU. Khoảng cách giữa băng tải trên với dưới chính là chiều dày xốp PU mong muốn. Sau 5 giai đoạn, sản phẩm sẽ được cắt theo chiều dài mong muốn. Thông số tôn được trình bày ở hình 1, lớp tôn 5 sóng dày 0.30 ~ 0.50mm; lớp PU có độ dày có thể: 20, 40, 50, 60 mm; lớp tôn mặt dưới dày khoảng 0.30 ~ 0.45mm; Kích thước hiệu dụng: 1000/1080 mm. Sơ đồ nguyên lý thể hiện các cụm chi tiết chính trong hệ thống phun PU trên hình 2 [3].



Hình 1. Thông số tôn PU 5 sóng 3 lớp
(Tôn -PU-PVC)



Hình 2. Sơ đồ nguyên lý dây chuyền sản xuất tôn PU 5 sóng

Bài báo này đưa ra một phương án thiết kế điều khiển tự động hệ thống phun PU sử dụng PLC và mô phỏng quá trình vận hành hệ thống trên phần mềm TIA Portal. Từ kết quả mô phỏng, có thể đánh giá hiệu suất của hệ thống điều khiển PLC và so sánh với hệ thống điều khiển truyền thống, đề xuất khả năng tích hợp các thiết bị phù hợp, kiểm soát lỗi hoạt động nhằm nâng cao chất lượng, năng suất trong quá trình sản xuất tôn PU 5 sóng.

2. ĐIỀU KHIỂN PHUN PU VÀ MÔ PHỎNG VỚI TIA PORTAL

2.1. Nguyên lý điều khiển hệ thống phun PU

Điều khiển hệ thống phun PU cho tôn 5 sóng gồm: điều khiển cụm băng tải và điều khiển cụm phun hóa chất. Hệ thống điều khiển phun PU cần đảm bảo các yếu tố sau:

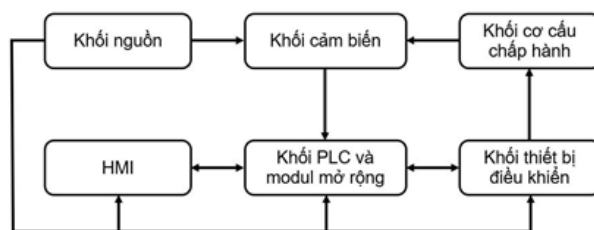
- Đảm bảo hóa chất Polyol Blend, Isocyanate có sẵn trong bình chứa và nhiệt độ hóa chất luôn ở mức quy định trong quá trình sản xuất.

- Bơm hóa chất ra súng phun chuyên dụng luôn đảm bảo lưu lượng với tỷ lệ hóa chất giữa Polyol Blend và Isocyanate theo yêu cầu. Làm sạch súng phun bằng hóa chất chuyên dụng sau mỗi lần sản xuất.

- Tốc độ băng truyền luôn ổn định. Nhiệt độ băng tải ép và nhiệt độ tôn luôn ở ngưỡng cho phép.

- Hiển thị các thông số trong quá trình vận hành hệ thống như nhiệt độ hóa chất, nhiệt độ băng tải, nhiệt độ tôn, tốc độ băng tải, báo lỗi và dừng toàn bộ hệ thống khi gặp sự cố.

Sơ đồ khối hệ thống điều khiển phun PU được thể hiện ở hình 3. Trong đó, khối cảm biến đo nhiệt độ ở các bộ phận gia nhiệt và đo tốc độ băng tải. HMI là màn hình hiển thị và điều khiển hệ thống. Khối PLC và module mở rộng là bộ điều khiển trung tâm gồm PLC và các module mở rộng DI/DO, module mở rộng analog AI/AO. Khối thiết bị điều khiển gồm các thiết bị điều khiển như contactor, relay, biến tần, nút bấm. Khối cơ cấu chấp hành thực hiện các hoạt động của hệ thống bao gồm động cơ băng tải, động cơ cán lác, bơm vào hóa chất, bơm ra hóa chất, gia nhiệt hóa chất, gia nhiệt băng tải ép, gia nhiệt tôn, van điện từ điều khiển súng phun và điều hướng hóa chất làm sạch MC [4, 5].



Hình 3. Sơ đồ khối hệ thống điều khiển phun PU

2.2. Phương pháp điều khiển [6-8]

a) Phương pháp điều khiển

- Điều khiển tốc độ băng tải:

Vận tốc của động cơ băng tải được tính theo công thức:

$$N = 60x \frac{f}{q} x(1-s) \text{ (vòng/phút)} \quad (1)$$

Trong đó: N - Tốc độ động cơ (vòng/phút);
f - Tần số của dòng điện (thường là 50Hz); p - Số cặp cực; s - Hệ số trượt.

Dựa vào tốc độ yêu cầu của hệ thống, ta tính được tần số dòng điện cần chỉnh và điều chỉnh tần số của dòng điện thông qua biến tần. Tốc độ băng tải có thể được đo bằng các thiết bị đo vận tốc là Encoder. Tôn và băng tải được gia nhiệt bằng cách dùng các bóng đèn tạo nhiệt. Để có thể kiểm soát nhiệt độ gia nhiệt sử dụng cảm biến nhiệt độ, hiển thị nhiệt độ và thay đổi bằng đồng hồ điều khiển.

- Điều khiển cụm hóa chất:

- Động cơ khuấy hóa chất sử dụng Contactor để bật tắt động cơ.

- Bơm hoá chất vào bình chứa dùng bơm màng khí nén, sử dụng cảm biến tiệm cận để nhận biết giới hạn hóa chất trong bình (cạn, 

đầy) → điều khiển bơm bằng van điện từ khí nén đóng mở nguồn khí.

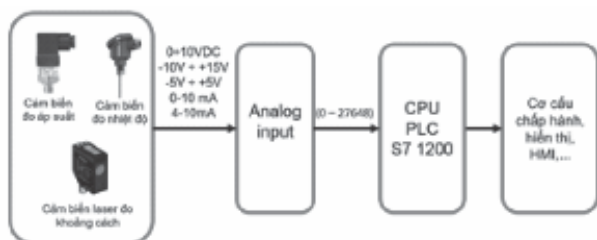
- Bơm hóa chất ra lựa chọn bơm bánh răng → để điều chỉnh lưu lượng của hóa chất → sử dụng biến tần để điều khiển tốc độ của động cơ.

- Điều khiển gia nhiệt hóa chất bằng dây mayso.

- Điều khiển súng phun PU: thông qua biến tần và sử dụng van điện từ khí nén để điều hướng hóa chất từ bơm - đầu phun hoặc hồi về bình.

b) Lựa chọn PLC

PLC S71200 1214C DC/DC/Relay của Siemens được lựa chọn để điều khiển đồng thời hai cụm băng tải và cụm phun hóa chất, hoạt động liên tục trong quá trình sản xuất. Việc mô phỏng bằng TIA Portal V17 có khả năng mô phỏng hệ thống điều khiển phun PU sử dụng PLC Siemens bằng cách kết hợp PLC logic, HMI mô phỏng, và công cụ PLCSIM có thể xây dựng, kiểm tra và cải tiến chương trình điều khiển một cách an toàn, tiết kiệm và hiệu quả. Hình 4 mô tả quá trình xử lý tín hiệu từ cảm biến sang tín hiệu số và PLC thể hiện trên hình 4.



Hình 4. Mô hình xử lý tín hiệu từ cảm biến sang tín hiệu số và PLC

Trong PLC của Siemens, hai hàm NORM_X và SCALE_X được sử dụng để nhận và xuất dữ liệu của module analog mở rộng.

2.3. Mô phỏng với TIA PORTAL

TIA Portal (Totally Integrated Automation Portal) là phần mềm của Siemens được sử dụng rộng rãi trong lập trình, cấu hình và mô phỏng hệ thống tự động hóa, đặc biệt là PLC, HMI và SCADA. Để mô phỏng hệ thống phun PU có điều khiển PLC, sử dụng ưu điểm mạnh của phần mềm là PLCSIM có thể mô phỏng chương trình PLC mà không cần phần cứng thực tế, cho phép kiểm tra logic điều khiển, gỡ lỗi, quan sát hoạt động trong thời gian thực. Giao diện tích hợp HMI mô phỏng để theo dõi và điều khiển trực quan, dễ dàng thiết kế các module tích hợp trong PLC [9-11] (Hình 5).



Hình 5. Màn hình giao diện thân thiện của TIA Portal V17

Sau khi đã mô phỏng và viết chương trình điều khiển cho PLC, ta nạp chương trình vào PLCSIM để mô phỏng chương trình chạy trên PLC và hệ thống mô phỏng.

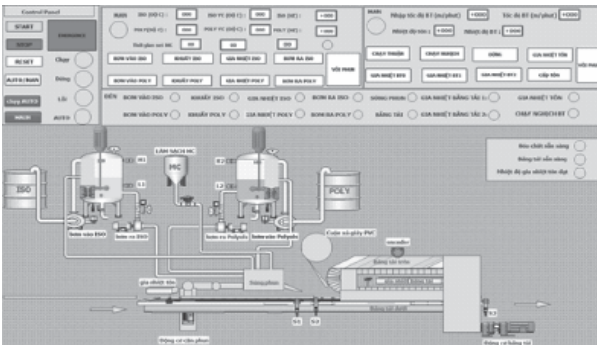
3. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG HỆ THỐNG PHUN PU

Chương trình mô phỏng trên TIA Portal đã đáp ứng được các yêu cầu cơ bản của hệ thống phun PU, thể hiện được các trạng thái của thiết bị và các chuyển động của hệ thống điều khiển được biểu diễn trên hình 6, hình 7 gồm:

- Hoạt động của các nút bấm, các hệ thống gia nhiệt;
- Chuyển động bơm vào, ra hóa chất từ bình chứa;
- Chuyển động quay của động cơ khuấy hóa chất;
- Hoạt động của các hệ thống gia nhiệt;
- Các chuyển động chạy của băng tải;
- Chuyển động phun, chuyển động chạy tôn;
- Sự thay đổi tín hiệu của các cảm biến, thông số hiển thị như: nhiệt độ hóa chất, nhiệt độ tôn, tốc độ chạy băng tải, nhiệt độ băng tải.



Hình 6. Màn hình mô phỏng điều khiển: a) Cụm băng tải; b) Cụm bơm hóa chất



Hình 7. Màn hình HMI mô phỏng điều khiển toàn bộ hệ thống phun PU

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này đóng góp vào việc nâng cao hiệu suất và tính cạnh tranh của ngành công nghiệp sản xuất Tôn PU 5 sóng thông qua khả năng ứng dụng PLC hiện đại trong điều khiển dây chuyền. Giao diện mô phỏng trên TIA PORTAL thân thiện với người dùng, dễ quan sát toàn bộ các phần tử điều khiển cũng như

hoạt động của cụm chi tiết, các loại cảm biến và giám sát hệ thống. Kết quả mô phỏng chỉ ra rằng việc sử dụng PLC trong quy trình sản xuất giảm thiểu lỗi sản xuất, tiết kiệm chi phí thiết bị và hóa chất thử nghiệm, kiểm tra phản ứng hệ thống đồng thời tối ưu hóa quy trình sản xuất.

Lời cảm ơn:

Tác giả chân thành cảm ơn sự hợp tác, hỗ trợ của Quý Công ty TNHH Công nghệ Công nghiệp Phú Sơn – Công ty sản xuất Panel, Tấm lợp và Tấm cách nhiệt mang thương hiệu JAVTA, INNOVA, SUMO theo tiêu chuẩn Châu Âu. ❖

Ngày nhận bài: **02/05/2025**

Ngày phản biện: **20/05/2025**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Caglayan, Cigdem, et al., “Impact response of shear thickening fluid filled polyurethane foam core sandwich composites”. Composite Structures 243 (2020): 112171.
- [2]. W Witkiewicz, A Zieliński, “Properties of the polyurethane (PU) light foams”. Advances in Materials Science, 2006.
- [3]. Catalogues – Công ty TNHH Công nghệ công nghiệp Phú Sơn.
- [4]. Hoàng Minh Sơn, “Cơ sở hệ thống điều khiển quá trình”. NXB. Bách Khoa, 2022.
- [5]. PGS,TS. Trịnh Chất, TS. Trịnh Đồng Tính, “Tự động hóa thiết kế cơ khí”, quyển 1, quyển 2. NXB. Bách Khoa.
- [6]. Trần Văn Hiếu, “Tự Động Hóa SIMATIC S7 – 1200 Với Tia Portal”. NXB. Khoa học & Kỹ thuật, 2021.
- [7]. He, Huajin, Yinxin Long, and Wei Yu, “Design and simulation of elevator emergency system based on TIA Portal V15. 1”. Journal of Physics: Conference Series. Vol. 1802. No. 4. IOP Publishing, 2021.
- [8]. Salih, Husam, Hammam Abdelwahab, and Areej Abdallah, “Automation design for a syrup production line using Siemens PLC S7-1200 and TIA Portal software”. 2017 International conference on communication, control, computing and electronics engineering (ICCCCEE). IEEE, 2017.
- [9]. Sobrino, Daynier Rolando Delgado, et al, “Into the early steps of virtual commissioning in Tecnomatix plant simulation using S7-PLCSIM advanced and STEP 7 TIA portal”. MATEC web of conferences. Vol. 299. EDP Sciences, 2019.
- [10]. Xu, Xingzhi, “Research on Modeling and Simulation of Virtual Elevator System Based on TIA Portal”. Open Access Library Journal 11.10 (2024): 1-16.
- [11]. Liam Bee, “PLC and HMI Development with Siemens TIA Portal: Develop PLC and HMI programs using standard methods and structured approaches with TIA Portal V17”. Packt Publishing, 2022.