

Optimization of Plastic Filling's Ratio into Thin Wall Injection Molded Part

Nguyen Ho

Nguyen Tat Thanh University, Vietnam.

Corresponding author. Email: Nho@ntt.edu.vn

ARTICLE INFO

Received: 04/10/2022
Revised: 11/11/2022
Accepted: 28/12/2022
Published: 28/04/2023

KEYWORDS

Injection Mold;
Short shot;
Thin Wall;
Cavity molding;
Taguchi Method.

ABSTRACT

The plastic injection molding process is very complicated and there are many defects encountered such as warping, not filling, black burning. In particular, the incomplete filling defect often occurs when pressing thin-walled plastic products. Most manufacturing engineers have used trial and error to set settings for a number of specifications, including melting temperature, injection pressure, injection velocity, and often depending on their experience. All that wastes time and does not optimize the specifications. In this study, the plastic filling rate of thin-walled injection molds was determined by simulation using SolidWorks software. The Taguchi method is used to predict the filling rate of resin in the cavity of the mold. The SolidWork simulation results show that the plastic filling rate in the thin-walled plastic injection mold is strongly influenced by design variables. This result is also determined by signal/noise analysis, analysis of variance, and regression analysis. The optimal value of the plastic filling ratio into the thin-walled plastic injection mold cavity is gained 0,59.

Tối Ưu Hóa Tỷ Lệ Điền Đầy Nhựa Vào Lòng Khuôn Ép Sản Phẩm Nhựa Dạng Thành Mỏng

Nguyễn Hộ

Trường Đại học Nguyễn Tất Thành, Việt Nam.

Tác giả liên hệ. Email: Nho@ntt.edu.vn

THÔNG TIN BÀI BÁO

Ngày nhận bài: 04/10/2022
Ngày hoàn thiện: 11/11/2022
Ngày chấp nhận đăng: 28/12/2022
Ngày đăng: 28/04/2023

TỪ KHÓA

Khuôn ép phun;
Không điền đầy;
Thành mỏng;
Lòng khuôn;
Phương pháp Taguchi.

TÓM TẮT

Quá trình ép phun sản phẩm nhựa xảy ra rất phức tạp và xuất hiện rất nhiều khuyết tật gặp phải như cong vênh, không điền đầy, cháy đen. Trong đó, khuyết tật không điền đầy thường hay xảy ra khi ép các sản phẩm nhựa thành mỏng. Hầu hết sản xuất các kỹ sư đã sử dụng phương pháp thử sai để cài đặt cho một số thông số kỹ thuật, bao gồm nhiệt độ nóng chảy, áp suất phun, vận tốc phun và thường phụ thuộc vào kinh nghiệm của họ. Điều đó gây lãng phí thời gian và không tối ưu được các thông số kỹ thuật. Trong nghiên cứu này, tỷ lệ điền đầy nhựa vào lòng khuôn ép phun dạng thành mỏng được xác định bởi mô phỏng bằng phần mềm SolidWorks. Phương pháp Taguchi được sử dụng dự báo tỷ lệ điền đầy nhựa vào trong lòng khuôn. Kết quả mô phỏng SolidWorks chỉ ra tỷ lệ điền đầy nhựa vào lòng khuôn ép phun nhựa dạng thành mỏng bị ảnh hưởng mạnh bởi các biến thiết kế. Kết quả này còn được xác nhận bởi phân tích tín hiệu/nhiều, phân tích phương sai, phân tích hồi quy. Giá trị tối ưu của tỷ lệ điền đầy nhựa vào lòng khuôn ép phun nhựa dạng thành mỏng đạt được là 0,59.

Doi: <https://doi.org/10.54644/jte.76.2023.1286>

Copyright © JTE. This is an open access article distributed under the terms and conditions of the [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium for non-commercial purpose, provided the original work is properly cited.

1. Giới thiệu

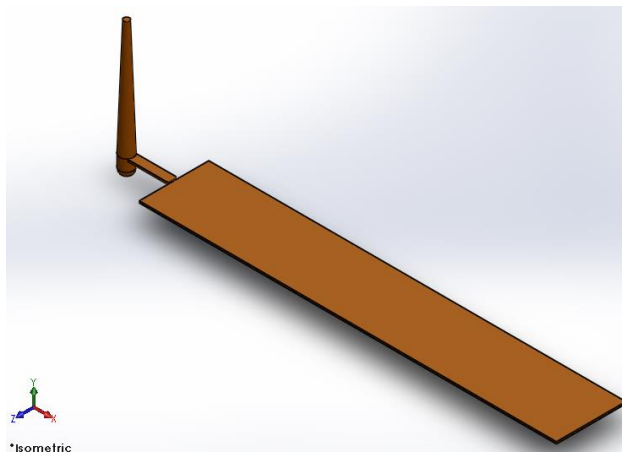
Công nghệ phun ép nhựa là công nghệ phun nhựa nóng chảy vào trong lòng một khuôn đóng kín với áp lực cao và tốc độ nhanh bằng một lượng nhựa xác định, sau thời gian ngắn, sản phẩm được định hình, và khi đạt đến nhiệt độ nhất định theo yêu cầu kỹ thuật, sản phẩm được lấy ra ngoài, kết thúc chu kỳ phun ép một sản phẩm. Trong quá trình phun ép nhựa vào khuôn với sản phẩm nhựa thành mỏng (sản phẩm có bề dày dưới 1mm), những lớp nhựa tiếp xúc với bề mặt của khuôn nhựa (bề mặt khuôn ở nhiệt độ thấp hơn) sẽ đông lại. Quá trình đông lại ở bề mặt tiếp xúc với khuôn sẽ làm giảm áp lực của dòng nhựa làm cho nhựa sẽ không điền đầy được lòng khuôn gây nên khuyết tật không điền đầy [1]-[3]. Để cải thiện việc đông lại của dòng nhựa do mất nhiệt, trong nghiên cứu [4], [5] sử dụng biện pháp nâng cao bề mặt lòng khuôn. Chọn loại vật liệu không phù hợp, quá trình cài đặt ép phun chưa tối ưu, thiết kế khuôn và các phần khác chưa hợp gây ra khuyết tật không điền đầy cũng được nghiên cứu [6]. Nghiên cứu của Moayyedean, M.; Abhary, K và Marian, R [7] xác nhận đường dẫn nhựa và yếu tố công vào ảnh hưởng tới khả năng điền đầy lòng khuôn. Shen và cộng sự [8] chỉ ra việc gia tăng nhiệt độ của dòng nhựa dẫn đến việc điền đầy dễ dàng hơn. Nghiên cứu [9] chỉ ra rằng khi tăng áp suất phun lên cao hơn, nhiệt độ bề mặt khuôn tăng và nhiệt độ dòng nhựa tăng sẽ làm giảm được khuyết tật không điền đầy. Do vậy, tác giả lựa chọn 4 yếu tố đầu vào để nghiên cứu bao gồm: nhiệt độ khuôn, nhiệt độ dòng nhựa, áp suất phun tối đa và thông số kỹ thuật công vào được trình bày ở bảng 3.1.

Khác với các nghiên cứu trước, trong nghiên cứu này phương pháp Taguchi [10]-[13] được sử dụng để dự báo tỉ lệ điền đầy khuôn trong lòng khuôn ép phun nhựa dạng thành mỏng. Những phần còn lại của bài báo: thiết kế mô hình và phương pháp Taguchi được trình bày trong phần 2, kết quả và thảo luận được trình bày trong phần 3, kết luận được trình bày trong phần 4 và cuối cùng là tài liệu tham khảo.

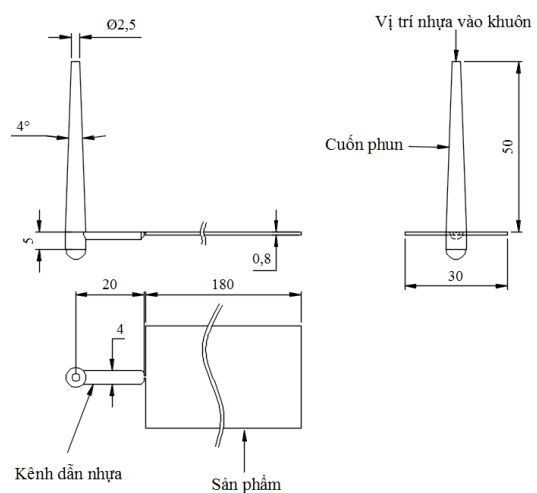
2. Thiết kế mô hình và phương pháp taguchi

2.1. Mô hình phân tích

Trong nghiên cứu này, mô hình 3D dùng để nghiên cứu về tỉ lệ điền đầy nhựa vào lòng khuôn sản phẩm dạng thành mỏng nhựa sau khi thiết kế trên phần mềm 3D solidwork có hình dáng như hình 1.

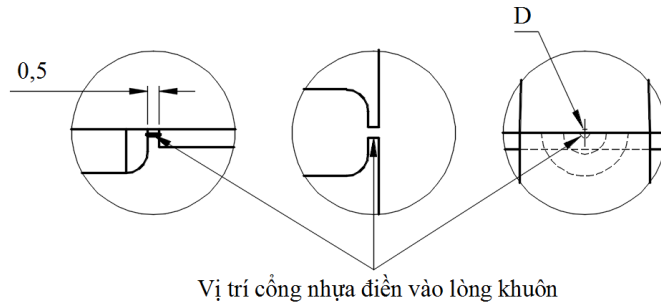


Hình 1. Mô hình 3D dùng phân tích khả năng điền đầy dòng nhựa



Hình 2. Bản vẽ 2D của mô hình và kích thước cơ bản của sản phẩm

Với sản phẩm có kích thước 180x30x0,8 được trình trên bản vẽ 2D như hình 2. Ngoài sản phẩm nhựa, mô hình còn có cuống phun, kênh dẫn, cổng phun cũng được trình bày như hình 2. Trong đó, kênh dẫn nhựa có kích thước là nửa hình trụ với $R=2$ và chiều dài $L=20$, cuống phun với vị trí nhựa vào khuôn có đường kính là 2,5mm, chiều dài 50mm, độ côn cuống phun là 4^0 . Cổng nhựa vào khuôn có kết cấu là nửa hình trụ chiều dài 0,5mm được trình bày như hình 3 và Đường kính cổng vào D là yếu tố thay đổi trong nghiên cứu này.



Hình 3. Kết cấu cổng nhựa điền vào lòng khuôn

2.2. Thông số cài đặt và phân tích

Vật liệu nhựa ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) được tin dùng trong nghiên cứu. Đây là loại vật liệu nhựa thuộc nhóm polyme vô định hình (Amorphous). Vật liệu ABS có độ ổn định nhiệt tốt và độ nhớt nóng chảy trung bình. Các sản phẩm đúc bằng nhựa ABS có độ cứng bề mặt cao, cấu trúc chiều ổn định, độ bền và kháng hóa chất, và dễ dàng định hình và xử lý. Các thông số chi tiết về vật liệu được trình bày chi tiết ở bảng 1

Bảng 1. Thông số chi tiết vật liệu ABS

Đặt tính vật lí	Giá trị
Nhiệt độ hóa thủy tinh (Glass Transition Temperature)	100.00 °C
Độ dẫn nhiệt (Thermal Conductivity)	$1,8 \cdot 10^4$ (1/°C)
Modun đàn hồi (Young Modulus)	2250 (Mpa)
Hệ số Poisson (Poisson's Ratio)	0,39
Khối lượng riêng (Density)	1,02 g/cc
Nhiệt độ nóng chảy thấp nhất (Min melt temperature)	200 ⁰ C
Nhiệt độ nóng chảy cao nhất (Max melt temperature)	280 ⁰ C
Tốc độ dòng chảy lớn nhất (Max shear rate)	50000 (1/s)
Ứng suất trượt lớn nhất (Max shear stress)	300000 Pa

Quá trình phân tích dòng chảy được thực hiện trên phần mềm Solidwork. Các thông số cài đặt chung và không đổi để mô phỏng dòng nhựa trình bày ở bảng 2. Quá trình chia lưới phân tích dạng tam giác với kích thước 0,5mm đạt được 112079 nút và 371098 phần tử tam giác.

Bảng 2. Thông số cơ bản khi cài đặt mô phỏng

Thông số cài đặt mô phỏng	Giá trị
Dạng chia lưới (Solid Mesh; Triangle size)	0,5 mm
Thời gian điền đầy (Filling time)	Auto
Điểm chuyển từ trạng thái điền đầy sang trạng thái nén (Flow/pack switch point in filled volume)	100%
Tốc độ dòng chảy phun ép lớn nhất (Max. Inject Flow Rate)	194 cc/s
Đường kính vị trí nhựa vào khuôn	2 mm
Áp suất khí trong lòng khuôn (Cavity Initial Air Pressure)	0,1 MPa

2.3. Phương pháp Taguchi.

Để tối ưu hóa các đặc tính khả năng điền đầy dòng nhựa, trước hết các mô hình toán học phải thiết lập, sau đó phương pháp tối ưu hóa được sử dụng. Tuy nhiên, nếu sai số của mô hình toán học quá lớn, kết quả tối ưu hóa không thể chấp nhận. Do đó, trong nghiên cứu này đã sử dụng phương pháp Taguchi (TM) trong phần mềm Minitab tạo mảng trực giao để tối ưu hóa nghiên cứu tỉ lệ điền đầy (1) trong lòng khuôn. Do đó, nghiên cứu sẽ tập trung ứng dụng công cụ Computer assisted Engineering (CAE) dự đoán kết quả tỉ lệ điền đầy lòng khuôn và Phương pháp Taguchi [14]-[17] nhằm phân tích tối ưu hóa quá kết quả. Thông qua mô phỏng trên phần mở rộng Plastic của phần mềm Solidwork để dự báo tỉ lệ điền đầy

nhựa vào lòng khuôn. Sau đó, ứng dụng phần mềm Minitab phân tích kết quả theo phương pháp Taguchi để đánh giá tối ưu.

$$\text{Ti lệ điền đầy } KQ = \frac{\text{Thể tích điền đầy thực tế}}{\text{Thể tích sản phẩm}} \quad (1)$$

Hàm mục tiêu “càng lớn càng tốt” [18]-[21]:

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (2)$$

Trong đó y_i là số liệu trung bình quan sát được ở thí nghiệm thứ i , n là số lần đo trong một thí nghiệm:

Các bước thực hiện trong nghiên cứu này như sau:

Bước 1: Chọn các tham số kết hợp tối ưu hóa cho các đặc tính đầu ra.

Bước 2: Thiết kế các yếu tố kiểm soát và mức độ của chúng.

Bước 3: Bố trí mảng trực giao L27

Bước 4: Tiến hành mô phỏng và thu thập dữ liệu mô phỏng.

Bước 5: Phân tích S/N.

Bước 6: Phân tích hồi quy.

Bước 7: Phân tích phương sai (ANOVA).

Bước 8: Phân tích kết quả trung bình và kết quả dự đoán.

Bước 9: Xác minh kết quả.

Ưu điểm của phương pháp Taguchi bao gồm ít mô phỏng bằng cách sử dụng các mảng trực giao và khả năng giảm thiểu ảnh hưởng của các tham số không thể kiểm soát được. Hơn hết, nó là một phương pháp đơn giản và dễ sử dụng.

3. Kết quả và thảo luận

Các biến đầu vào và mức độ của chúng trong nghiên cứu này được trình bày trong Bảng 3. Đầu tiên, A là ký hiệu của nhiệt độ khuôn với 3 mức lần lượt là 40, 60 và 80, đơn vị $^{\circ}\text{C}$. Thứ hai, Nhiệt độ dòng nhựa là B với 3 cấp lần lượt là 200, 220, 240, đơn vị $^{\circ}\text{C}$. Thứ ba, Đường kính của cổng nhựa vào sản phẩm là C với 3 cấp lần lượt là 0,5, 1 và 1,5, đơn vị mm. Cuối cùng là áp suất phun vào ký hiệu là D, đơn vị là MPa với 3 cấp tương ứng như sau: 60, 70, 80.

Bảng 3. Thông số đầu vào nghiên cứu

TT	Thông số	Mức 1	Mức 2	Mức 3
A	Nhiệt độ khuôn ($^{\circ}\text{C}$)	40	60	80
B	Nhiệt độ dòng nhựa ($^{\circ}\text{C}$)	200	220	240
C	Đường kính D của cổng vào nhựa (mm)	0,5	1	1,5
D	Áp suất phun (MPa)	60	70	80

Sau khi sử dụng phần mềm Minitab và dựa trên các biến được thiết kế trong Bảng 3, nghiên cứu đã thực hiện 27 trường hợp mô phỏng hoàn toàn khác nhau nhằm phục vụ cho việc tối ưu. Tất cả được trình bày trong Bảng 4. Kết quả mô phỏng tỉ lệ điền đầy cũng được thể hiện trong bảng đó.

Theo Bảng 4, việc thay đổi các biến đầu vào làm cho tỉ lệ điền đầy nhựa vào lòng khuôn thay đổi. Kết quả của 27 trường hợp là khác nhau, đều đó chứng tỏ biến đầu vào có ảnh hưởng tới kết quả.

Bảng 4. Mảng trực giao L27, Kết quả mô phỏng và tỉ lệ S/N

STT	A	B	C	D	KQ	S/N
1	40	200	0,5	60	0,154	-16,2367
2	40	200	1	70	0,341	-9,35011
3	40	200	1,5	80	0,415	-7,63019
4	40	220	0,5	70	0,279	-11,1002
5	40	220	1	80	0,490	-6,1952
6	40	220	1,5	60	0,378	-8,44765
7	40	240	0,5	80	0,428	-7,37395

8	40	240	1	60	0,440	-7,12506
9	40	240	1,5	70	0,540	-5,35533
10	60	200	0,5	60	0,167	-15,563
11	60	200	1	70	0,353	-9,03875
12	60	200	1,5	80	0,428	-7,37395
13	60	220	0,5	70	0,291	-10,7208
14	60	220	1	80	0,515	-5,76511
15	60	220	1,5	60	0,403	-7,89422
16	60	240	0,5	80	0,453	-6,88309
17	60	240	1	60	0,453	-6,88309
18	60	240	1,5	70	0,565	-4,964
19	80	200	0,5	60	0,179	-14,9379
20	80	200	1	70	0,378	-8,44765
21	80	200	1,5	80	0,465	-6,64769
22	80	220	0,5	70	0,316	-10,0084
23	80	220	1	80	0,540	-5,35533
24	80	220	1,5	60	0,415	-7,63019
25	80	240	0,5	80	0,490	-6,1952
26	80	240	1	60	0,478	-6,4185
27	80	240	1,5	70	0,590	-4,58955

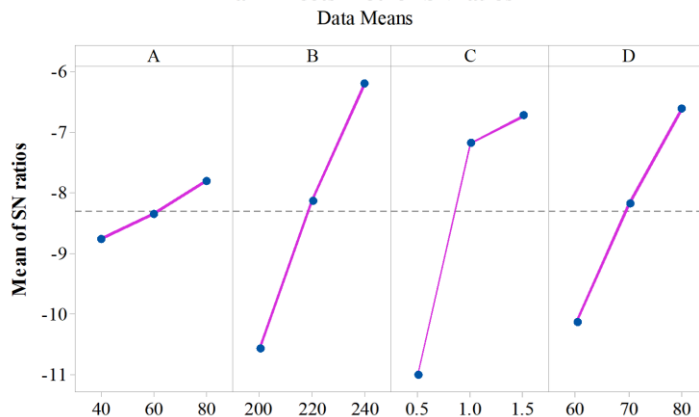
3.1. Phân tích tín hiệu/ nhiễu (S/N).

Bảng 5. Bảng đáp ứng tỉ lệ tín hiệu/nhiều (S/N)

Level	A	B	C	D
1	-8,757	-10,581	-11,002	-10,126
2	-8,343	-8,124	-7,175	-8,175
3	-7,803	-6,199	-6,726	-6,602
Delta	0,954	4,382	4,276	3,524
Rank	4	1	2	3

Giá trị trung bình của S/N đối với mỗi biến ở mỗi mức được trình bày trong Bảng 5. Delta được tính bằng giá trị lớn nhất trừ đi giá trị nhỏ nhất của S/N trong cột thứ 2 đối với biến A, cột thứ 3 đối với biến B, cột thứ 4 đối với biến C và cột thứ 5 đối với biến D. Tại bảng 5, hàng Rank thể hiện là mức độ ảnh hưởng của các biến đầu vào. Ở đây biến B xếp thứ 1, biến C thứ 2, biến D thứ 3 và biến A xếp thứ 4. Bảng giá trị này còn được sử dụng để vẽ biểu đồ phân tích S/N được thể hiện trong Hình 4. Nó cho thấy ba biến là Nhiệt độ dòng nhựa (B), Đường kính cổng vào (C) và Nhiệt độ khuôn (D) ảnh hưởng mạnh đến tỉ lệ điền đầy dòng nhựa vào lòng khuôn. Trong biểu đồ, trục x biểu thị giá trị các mức của từng biến và trục y là giá trị trung bình của S/N. Giá trị lớn nhất trên trục y biểu thị trong biểu đồ ứng với mức trên trục x là mức tối ưu của từng biến, vì vậy mức tối ưu của biến kết hợp ở đây là A3B3C3D3.

Main Effects Plot for SN ratios



Hình 4. Biểu đồ S/N

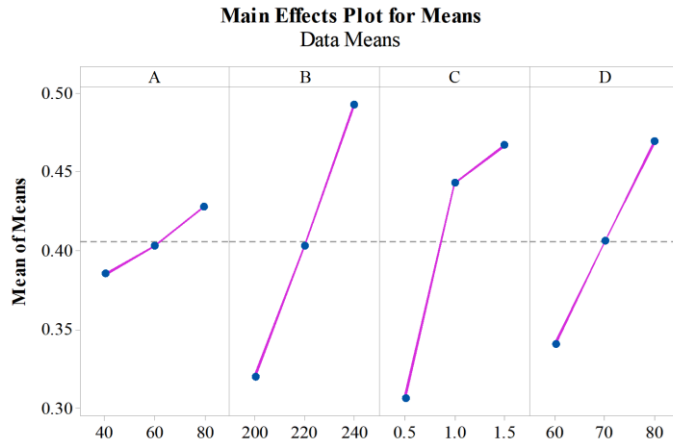
Độ dốc của đồ thị càng lớn cho thấy rằng các biến thiết kế ảnh hưởng đến tỉ lệ điền đầy dòng nhựa vào lòng khuôn càng lớn. Với thể hiện của hình 4, biến B có ảnh hưởng lớn nhất đến tỉ lệ điền đầy dòng nhựa vào lòng khuôn, tiếp theo là biến C, sau đó là biến D và cuối cùng biến A.

3.2. Phân tích trung bình.

Bảng 6. Bảng giá trị trung bình theo từng mức của từng biến

Level	A	B	C	D
1	0,3850	0,3201	0,3062	0,3408
2	0,4030	0,4030	0,4431	0,4057
3	0,4279	0,4928	0,4666	0,4693
Delta	0,0428	0,1727	0,1603	0,1285
Rank	4	1	2	3

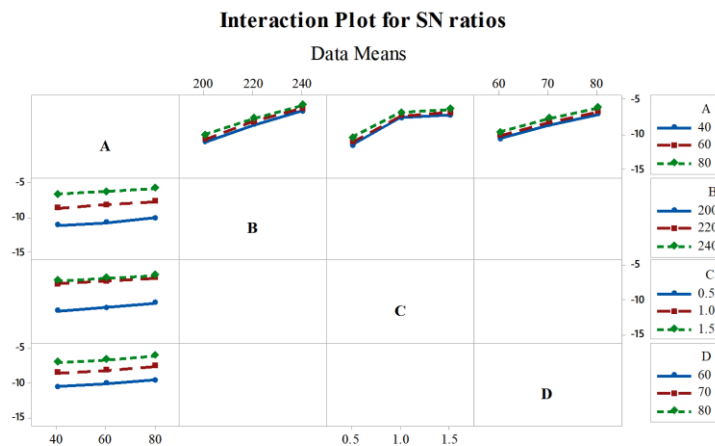
Giá trị trung bình của từng biến theo từng mức được trình bày trong Bảng 6. Độ lệch giá trị trung bình được tính bằng giá trị lớn nhất trừ đi giá trị nhỏ nhất của giá trị trung bình trong cột thứ 2 cho biến A, cột thứ 3 cho biến B, cột thứ 4 cho biến C và cột 5 biến D. Bảng giá trị này còn được sử dụng để vẽ biểu đồ giá trị trung bình theo mức của từng biến được thể hiện trong Hình 5. Nó xác nhận rằng ba biến B, C và D ảnh hưởng càng mạnh tới tỉ lệ điền đầy dòng nhựa vào lòng khuôn khi độ dốc càng lớn.



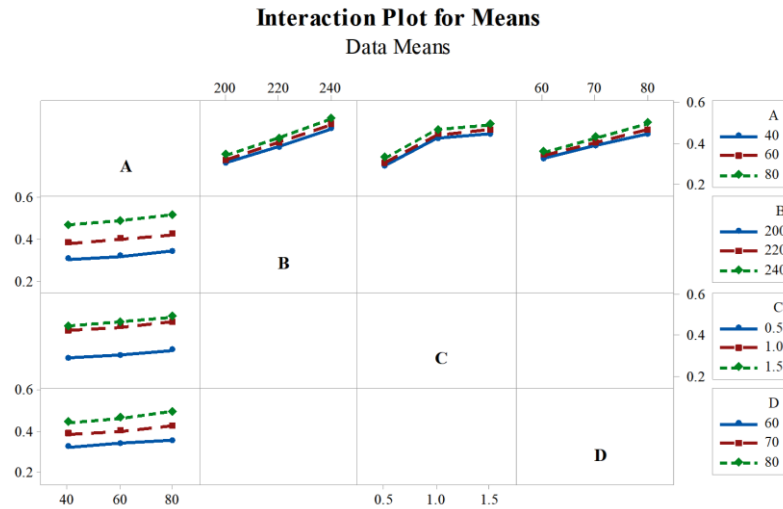
Hình 5. Biểu đồ giá trị trung bình theo mức của từng biến

Trong đồ thị, trục x thể hiện mức của từng biến và trục y là giá trị trung bình của từng biến theo từng mức. Các đỉnh của đồ thị xác định giá trị tối ưu của biến thiết kế. Do đó, mức tối ưu của biến kết hợp là A3B3C3D3.

3.3. Phân tích tương tác.



Hình 6. Biểu đồ tương tác S/N



Hình 7. Biểu đồ tương tác trung bình

Hình 6 cho thấy biểu đồ tương tác được vẽ giữa các biến đầu vào và tín hiệu đầu ra. Biểu đồ này có thể nghiên cứu các hiệu ứng tương tác giữa các biến đã chọn. Tương tác được cho là tồn tại, nếu mối quan hệ được thể hiện bằng các đường không song song và mỗi quan hệ đường song song chỉ ra rằng không có mối quan hệ nào tồn tại giữa các tham số đó. Trong biểu đồ tương tác này, quan sát thấy rằng, tồn tại các đường không song song giữa tất cả các biến đã chọn, điều này cho thấy rằng việc lựa chọn các biến đầu vào là rất quan trọng để nghiên cứu quá trình theo cách khả thi hơn. Hình 7 cho thấy các biến đầu vào được vẽ biểu đồ tương tác với giá trị đầu ra. Trong tương tác này, quan sát thấy rằng tồn tại các đường thẳng không song song giữa các biến đã chọn cho thấy việc lựa chọn các biến đầu vào là rất quan trọng để nghiên cứu quá trình theo cách khả thi hơn.

3.4. Phân tích phương sai.

ANOVA cho các phân hồi đầu ra được liệt kê trong bảng 7. Bảng này trình bày bậc tự do, tổng bình phương, phần trăm đóng góp, bình phương trung bình, thiết định F và thiết định P của phương trình hồi quy, sai số và tổng. Phần trăm đóng góp của A là 2,35%, B là 37,93%, C là 38,08%, D là 20,98%, sai số là 0,66%. Bình phương trung bình của A là 0,004165; B là 0,067180; C là 0,067455; D là 0,037168 và sai số là 0,000130. Giá trị P tiết lộ rằng các tham số đầu vào ảnh hưởng mạnh mẽ đối với tỉ lệ điền đầy nhựa vào lòng khuôn, vì giá trị P bằng '0'.

Bảng 7. Biểu đồ Phân tích phương sai

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Seq MS	F-Value	P-Value
A	2	0,008331	2,35%	0,008331	0,004165	32,07	0,000
B	2	0,134359	37,93%	0,134359	0,067180	517,28	0,000
C	2	0,134909	38,08%	0,134909	0,067455	519,40	0,000
D	2	0,074336	20,98%	0,074336	0,037168	286,19	0,000
Error	18	0,002338	0,66%	0,002338	0,000130		
Total	26	0,354272	100,00%				

Kết quả phân tích ANOVA phù hợp tốt với kết quả phân tích tín hiệu trên nhiều. Có nghĩa là biến C có ảnh hưởng nhiều nhất đến biến B, biến D và cuối cùng là biến A.

Bảng 8. Bảng tóm tắt Phân hồi từ phân tích

S	R-sq	R-sq(adj)	PRESS	R-sq(pred)
0,0113961	99,34%	99,05%	0,0052598	98,52%

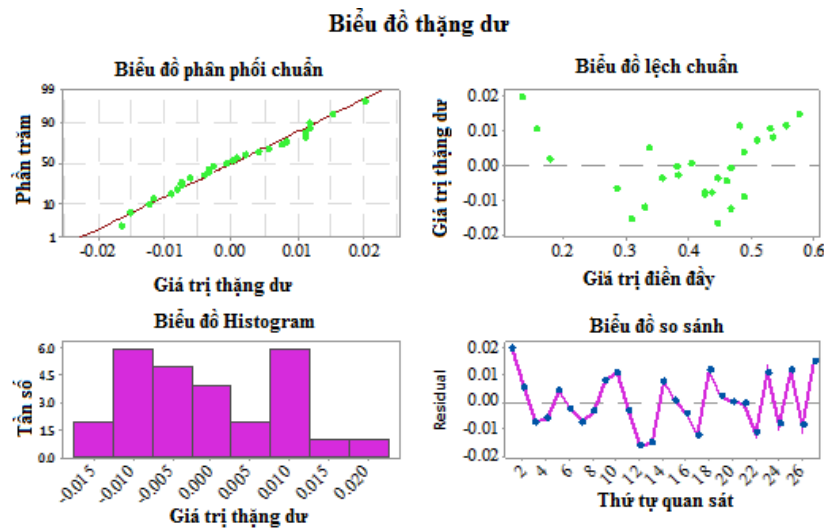
Bảng 8 đã chỉ ra R-sq là 99,34%, R-sq(adj) là 99,05%, R-sq(pred) là 98,52%.

3.5. Phương trình hồi quy.

$$KQ = -1,4081 + 0,001071A + 0,004319B + 0,6136C + 0,006426D - 0,2266C*C \quad (3)$$

Phương trình hồi quy kết quả điền đầy thu được như được viết trong công thức (3). Từ phương trình này, giá trị dự đoán của điền đầy thu được với các tham số kết hợp A3B3C3D3 là 0,63877. Giá trị tối ưu thu được là 0,59, sai số giữa giá trị dự đoán và giá trị tối ưu là 4,877%.

Đồ thị thẳng dư đầu ra được trình bày như trong Hình 8 thể hiện đồ thị hồi quy được tạo ra trong quá trình phát triển các mô hình thực nghiệm cho tỉ lệ điền đầy nhựa vào lòng khuôn phun ép dạng thành mỏng. Biểu đồ xác suất thông thường của phần dư của tỉ lệ điền đầy nhựa vào lòng khuôn phun ép dạng thành mỏng nằm sau một đường thẳng với hầu hết các điểm ở phía trên của đường thẳng. Biểu đồ là một đường cong hình chuông cho thấy sự phân bố của phần dư có trọng số cho tổng số 27 mô phỏng. Phần dư tạo ra từ mô hình thực nghiệm được phát triển so với thứ tự quan sát vẽ biểu đồ hữu ích hơn trong việc xác định kết hợp đầu vào ảnh hưởng đến kết quả.



Hình 8. Biểu đồ thẳng dư của kết quả điền đầy

4. Kết luận.

Bài nghiên cứu này đã trình bày và thảo luận về cách tối ưu hóa tỉ lệ điền đầy nhựa vào lòng khuôn ép nhựa sản phẩm dạng nhựa mỏng của vật liệu ABS. Các kết quả mô phỏng chứng minh rằng các biến thiết kế ảnh hưởng đến tỉ lệ điền đầy nhựa vào lòng khuôn ép nhựa. Vấn đề được xác minh bằng phân tích Taguchi, ANOVA, phân tích tín hiệu nhiễu (S/N), phân tích hồi quy phi tuyến được áp dụng để tối ưu hóa tỉ lệ điền đầy nhựa vào lòng khuôn ép nhựa. Các biến bao gồm: nhiệt độ khuôn, nhiệt độ dòng nhựa, áp suất phun và đường kính cổng vào nhựa đã được phân tích bởi phần mềm Solidworks. Phân tích Taguchi cũng được sử dụng để chọn kết quả tỉ lệ điền đầy nhựa vào lòng khuôn ép nhựa lớn nhất. Phân tích hồi quy và ANOVA có độ lệch nhỏ so với kết quả của phân tích phần mềm. Tỉ lệ điền đầy nhựa vào lòng khuôn ép phun dạng thành mỏng có giá trị tối ưu đạt được 0,59. Kết quả mô phỏng cho thấy sự thay đổi của Đường kính cổng vào (C) ảnh hưởng đáng kể đến ứng suất đến tỉ lệ điền đầy nhựa vào lòng khuôn ép phun dạng thành mỏng, tiếp theo là nhiệt độ dòng nhựa (B), áp suất phun ép tối đa và cuối cùng là nhiệt độ khuôn ép phun. Điều này cũng được xác nhận lại bởi phân tích Taguchi, phân tích Signal-to-noise, phân tích phương sai (ANOVA) và phân tích hồi quy.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] M. Moayyedean, K. Abhary, and R. Marian, "The analysis of short shot possibility in injection molding process," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 91, pp. 3977–3989, 2017.
- [2] S. Y. Yang, S. C. Nian, S. T. Huang, and Y. J. Weng, "A study on the micro-injection molding of multi-cavity ultra-thin parts," *Polymers Advances Technologies*, vol. 22, pp. 891–902, 2011.
- [3] Y. K. Shen, C. F. Huang, Y. S. Shen, S. C. Hsu, and M. W. Wu, "Analysis for microstructure of micro lens arrays on micro-injection molding by numerical simulation," *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol. 35, pp. 1097-1100, 2008.
- [4] K. F. Zhang and Z. Lu, "Analysis of morphology and performance of PP microstructures manufactured by micro injection molding," *Microsyst. Technol.*, vol. 14, pp. 209-214, 2008.

- [5] B. Sha, S. Dimov, C. Griffiths, and M. S. Packianather, "Investigation of micro-injection moulding: Factors affecting the replication quality," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 183, pp. 284–296, 2007.
- [6] V. V. Gaddamwar and S. P. Bhosle, "Optimization of Process Parameter for ABS, Nylon, Polypropylene Material in Injection Molding using Taguchi Method," *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, vol. 8, no. 6, Jun. 2019.
- [7] M. Moayyedian, K. Abhary, and R. Marian, "Gate design and filling process analysis of the cavity in injection molding process," *Adv. Manuf.*, vol. 4, pp. 123–133, 2016.
- [8] Y. K. Shen, P. H. Yeh, and J. S. Wu, "Numerical simulation for thin wall injection molding of fiber-reinforced thermoplastics," *Intern. Comm. Heat Mass Transf.*, vol. 28, pp. 1035–1042, 2001.
- [9] M. Moayyedian, K. Abhary, and R. Marian, "Optimization of injection molding process based on fuzzy quality evaluation and Taguchi experimental design," *CIRP J. Manuf. Sci. Technol.*, vol. 21, pp. 150–160, 2018.
- [10] M. Moayyedian, A. Dinc, and A. Mamedov, "Optimization of Injection-Molding Process for Thin-Walled Polypropylene Part Using Artificial Neural Network and Taguchi Techniques," *Polymers*, vol. 13, p. 4158, 2021.
- [11] S. Kamaruddin, Z. A. Khan, and S. H. Foong, "Application of Taguchi Method in the Optimization of Injection Moulding Parameters for Manufacturing Products from Plastic Blend," *IACSIT International Journal of Engineering and Technology*, vol. 2, no. 6, Dec. 2010, doi: 10.7763/IJET.2010.V2.184.
- [12] C. Y. Wu, C. C. Ku, and H. Y. Pai, "Injection molding optimization with weld line design constraint using distributed multi-population genetic algorithm," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 52, pp. 131–141, 2011.
- [13] M. Zhai and Y. Xie, "A study of gate location optimization of plastic injection molding using sequential linear programming," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 49, pp. 97–103, 2010.
- [14] J. K. Kim and E. S. Jeon, "Optimization of Injection Molding Process Parameters to Improve Mechanical Strength of LFT Specimen," *International Journal of Applied Engineering Research*, vol. 12, no. 13, pp. 3671–3676, 2017.
- [15] J. Sreedharan and A. K. Jeevanantham, "Optimization of Injection Molding Process to Minimize Weld-line and Sink-mark Defects Using Taguchi based Grey Relational Analysis," *Materials Today: Proceedings*, vol. 5, pp. 12615–12622, 2018.
- [16] R. Baesso, M. Salvador, and G. Lucchetta, "Filling Balance Optimization for Plastics Injection Molding," *AMST'05 Advanced Manufacturing Systems and Technology*, pp. 617–624, 2005.
- [17] J. H. Jung and W. T. Kwon, "Optimization of EDM process for multiple performance characteristics using Taguchi method and Grey relational analysis," *Journal of Mechanical Science and Technology*, vol. 24, pp. 1083–1090, 2010.
- [18] V. H. Hoang, N. T. Huynh, H. Nguyen, and S. C. Huang, "Analysis and optimal design of a new flexible hinge displacement amplifier mechanism using Finite Element Analysis based on Taguchi method," in *2019 IEEE Eurasia Conference on IoT, Communication, and Engineering (ECICE)*, pp. 259–262.
- [19] N. T. Huynh, S. C. Huang, and T. P. Dao, "Design variables optimization effects on acceleration and contact force of the double sliders-crank mechanism having multiple revolute clearance joints by use of the Taguchi method based on a grey relational analysis," *Sādhanā*, vol. 45, no. 1, pp. 1–22, 2019.
- [20] N. C. Vu, N. T. Huynh, and S. C. Huang, "Optimization of the first frequency modal shape of a tensural displacement amplifier employing flexure hinge by using Taguchi Method," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1303, no. 1, p. 012016, 2019.
- [21] C. N. Wang, K. P. Truong, N. T. Huynh, and H. Nguyen, "Optimization on effects of design parameter on displacement amplification ratio of 2 DOF working platform employing Bridge-type compliant mechanism flexure hinge using Taguchi method," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1303, no. 1, p. 012053, 2019.
- [22] C. N. Wang, K. P. Truong, N. T. Huynh, "Optimization effects of design parameter on the first frequency modal of a Bridge-type compliant mechanism flexure hinge by using the Taguchi method," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1303, no. 1, p. 012063, 2019.
- [23] Q. P. Tran, N. T. Huynh, S. C. Huang, "Artificial neural network based on grey relational analysis estimate displacement of bridge-type amplifier," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 1113, no. 1, p. 012007, 2021.



NGUYEN HO received his Bachelor's Degree in Mechanical Engineering from the Industrial University of Ho Chi Minh City, Viet Nam in 2011. He received his Master Degree in Mechanical Engineering from the Ho Chi Minh City University of Technology and Education, Viet Nam in 2015. Currently, he is a lecturer at the Faculty of Engineering - Technology, Nguyen Tat Thanh University, Viet Nam. His interests include optimal systems design, injection mold, Cad/Cam/CNC. Mobile phone: 0977951638. Email: Nho@ntt.edu.vn