

SỬ DỤNG PHƯƠNG PHÁP TAGUCHI TỐI ƯU HÓA CÁC THÔNG SỐ ĐẦU VÀO QUÁ TRÌNH ÉP PHUN SẢN PHẨM MẶT NẠ XE MÁY HONDA WAVE 2012

TAGUCHI METHOD USE OPTIMIZE PARAMETERS INPUT INJECTION MOLDING PROCESS MASK OF MOTORCYCLE PRODUCT HONDA WAVE 2012

Kiều Xuân Viễn

Khoa Cơ khí - Trường Đại học Kinh tế Kỹ thuật Công nghiệp

Đến Tòa soạn ngày 14/02/2017, chấp nhận đăng ngày 10/5/2017

Tóm tắt: Sản phẩm nhựa hiện nay đang chiếm một vị trí rất quan trọng trong nền kinh tế quốc dân. Vật liệu nhựa ngày càng có những tính chất ưu việt như về chất lượng và độ bền. Để có được các sản phẩm nhựa đạt chất lượng và hiệu quả cao thì các thông số đầu vào cho quá trình ép phun là rất quan trọng. Phương pháp Taguchi là phương pháp tối ưu hóa quá trình gián đoạn, là phương pháp hiệu quả nhất để giải quyết vấn đề về tối ưu hóa các thông số đầu vào quá trình ép phun. Bài báo trình bày về các vấn đề trong thiết kế, phân tích sản phẩm nhựa, kiểm nghiệm quá trình ép phun sản phẩm trên phần mềm Moldflow và tối ưu hóa các thông số đầu vào quá trình ép phun bằng phương pháp Taguchi.

Từ khóa: Taguchi, tối ưu hóa, ép phun, Moldflow.

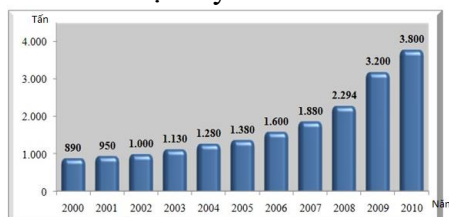
Abstract: Nowadays, plastic products have an important role in the national economy. The characteristics of plastic materials are increasingly superior. To get the plastic product quality and efficiency, the input parameters for the injection molding process is very important. Taguchi is the method of optimizing the interruption process. It is the most effective method to solve the problem of optimizing the input parameters of injection molding process. This paper presents the issues in the design, analysis plastic products, test injection molding process based on Moldflow software and optimization of input parameters by Taguchi method.

Keywords: Taguchi, optimize, injection mold, Moldflow.

I. GIỚI THIỆU

Sản phẩm nhựa ngày càng chiếm vị trí quan trọng trong đời sống sinh hoạt của con người bởi những ưu điểm nổi bật sau: *Giá thành rẻ, khả năng công nghệ tốt, dễ tạo hình, khối lượng riêng nhỏ do đó làm giảm khối lượng sản phẩm.*[1]

Thống kê tình hình sử dụng sản phẩm nhựa trong 10 năm trở lại đây:



Hình 1. Biểu đồ sử dụng nhựa theo từng năm

Công nghệ ép phun (Injection technology): được sử dụng để chế tạo các sản phẩm dân dụng

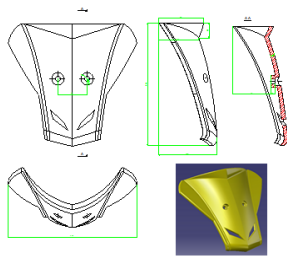
và phụ tùng cho các thiết bị điện-điện tử, công nghiệp phụ trợ. [1], [2]

Phương pháp taguchi là một phương pháp tối ưu hóa thực nghiệm được phát minh bởi “Taguchi Genichi” một giáo sư người Nhật sau chiến tranh thế giới lần thứ 2.[3]

II. THIẾT KẾ TỐI ƯU HÓA THÔNG SỐ HÌNH HỌC CHI TIẾT VÀ LÒNG KHUÔN

1. Các thông số thiết kế và phân tích chi tiết

Sản phẩm nhựa sử dụng ép phun là chi tiết trên xe máy Wave Honda 2012, là một sản phẩm nhựa có hình dáng phức tạp với những mặt cong được thiết kế 3D. Qua nghiên cứu và đo đạc, bản vẽ thiết kế chi tiết được xác định như sau:



Hình 2. Bản vẽ chi tiết

Các thông số hình học quan trọng cho việc phân tích thiết kế chi tiết bao gồm: Kích thước lắp ghép của chi tiết (kích thước tổng quan), kích thước lỗ tại vị trí cố định chi tiết (vị trí tập trung ứng suất) và bề dày của chi tiết.

Yêu cầu kỹ thuật:

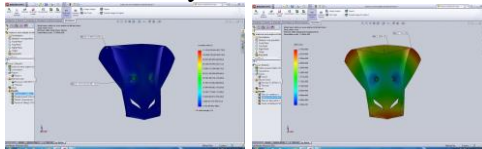
- Bề mặt chi tiết mặt nạ đạt độ nhám Ra2,5.
- Độ co ngót trên toàn bộ sản phẩm $\leq 1\%$.
- Vật liệu: nhựa ABS.

Kiểm nghiệm độ bền chi tiết dưới tác dụng của áp lực và nhiệt độ.

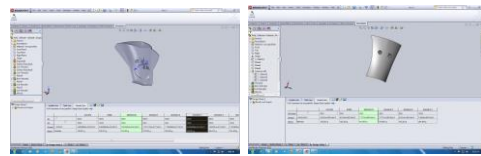
Các thông số áp lực đầu vào:

Thử nghiệm độ bền của sản phẩm với áp lực phân bố 10 N/m^2 là áp lực tổng cộng do áp lực mưa lên bề mặt, áp lực của gió, áp lực của vật nhỏ cứng tác dụng vào chi tiết.

Kết hợp với kết quả phân tích nhiệt, ta có kết quả độ bền của chi tiết khi chịu tác động của áp lực và nhiệt độ của môi trường xung quanh tại các biểu đồ dưới đây:



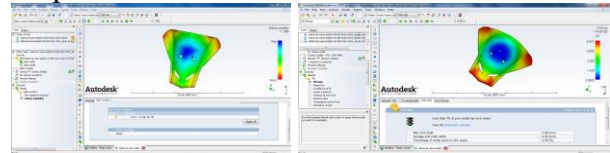
Hình 3. Biểu đồ phân tích lực, chuyển vị và ứng suất
Biểu đồ hình 3 cho biết ứng suất mà sản phẩm phải chịu dưới tác động của nhiệt độ và áp lực: Trên nền màu xanh có 2 chỗ đổi màu đỏ là chỗ cố định mặt nạ vào khung xe máy tại đó có ứng suất lớn nhất. Ứng suất nhỏ nhất là các điểm nằm trên tai trái của chi tiết. Chuyển vị tại các điểm trên sản phẩm. Điểm có chuyển vị lớn nhất là: $2,742e+009$ tại các điểm ở vùng đỏ trên đỉnh tại phải của chi tiết. Điểm có chuyển vị nhỏ nhất $1,000e-030$ tại điểm thuộc vùng xanh phía trên của lỗ cố định mặt nạ vào khung xe máy. Sức căng lớn nhất trên chi tiết là: $3,799e+007$ tại điểm thuộc vùng vàng xanh phía trên của lỗ cố định mặt nạ vào khung xe máy. Sức căng nhỏ nhất là: $3,608e+003$ tại điểm trên đỉnh tại phải của chi tiết.



Hình 5. Biểu đồ tối ưu hóa

2. Ứng dụng phần mềm moldflow trong đánh giá chất lượng sản phẩm (CAE)

Đưa mô hình thiết kế vào môi trường làm việc của phần mềm



Hình 6. Phân tích điểm đặt cuống phun và thời gian điền đầy lòng khuôn

- *Phân tích mô hình thiết kế.*

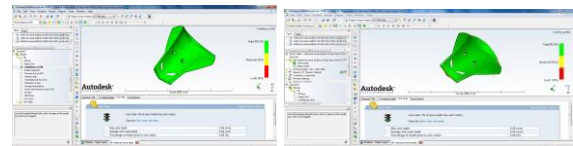
- + Chiều dày lớn nhất của chi tiết 8,16 mm.
- + Chiều dày nhỏ nhất của chi tiết 0,26 mm.
- + Xác định vị trí đặt đầu vòi phun hợp lý nhất.

➤ Vị trí đặt đầu vòi phun (Gate location) hợp lý nhất là tại giữa chi tiết (phần màu xanh da trời) như hình vẽ.

- *Thời gian điền đầy khuôn.*

➤ Thời gian điền đầy toàn bộ sản phẩm là 6,521s. Vùng được điền đầy muộn nhất là tại các cạnh của sản phẩm (phần màu đỏ trên đồ thị)

- *Hệ số điền đầy và đánh giá chất lượng làm mát*



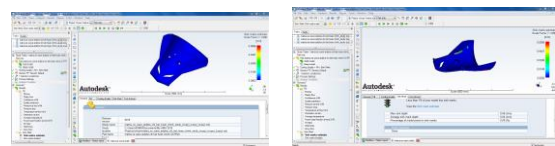
Hình 9. Biểu đồ hệ số điền đầy và chất lượng làm mát

- Hệ số điền đầy của sản phẩm rất cao: gần như 100% trên toàn bộ sản phẩm.

- Chất lượng làm mát của sản phẩm là tốt với chỉ số làm mát lên đến 95% trên hầu hết toàn bộ sản phẩm.

- *Đánh giá độ co ngót của chi tiết:*

Với vị trí vòi phun được xác định ở trên ta tiến hành phân tích độ co ngót trên toàn bộ sản phẩm



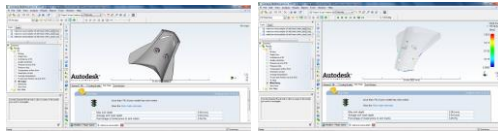
Hình 10. Biểu đồ phân tích độ co ngót sản phẩm.

Dựa vào đồ thị ta thấy độ co ngót trên toàn bộ sản phẩm là khá nhỏ, độ co ngót lớn nhất xuất hiện tại mép của sản phẩm, tuy nhiên độ co ngót

ở đây cũng chỉ là 0,09 mm. Do đó chất lượng của sản phẩm là khá tốt.

- *Xác định các vị trí có rỗ khí, đường hàn:*

Rỗ khí xuất hiện do khí không thoát ra ngoài được trong quá trình điền nhựa.

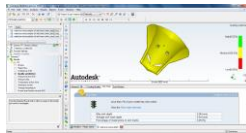


Hình 11. Biểu đồ phân tích rỗ khí và đường hàn

Ta thấy các vết rỗ xuất hiện tại mặt sau của sản phẩm tại vị trí mép ngoài của các lỗ bắt bulong. Đây là những vị trí không quan trọng, không ảnh hưởng đến chất lượng cũng như tính thẩm mỹ của sản phẩm.

Đường hàn xuất hiện khi hai dòng vật liệu gặp nhau. Chỗ tiếp xúc của hai dòng vật liệu sẽ xuất hiện đường hàn.

- Đánh giá chất lượng sản phẩm:



Hình 12. Biểu đồ đánh giá chất lượng sản phẩm

Qua việc tối ưu hóa các thông số hình học của chi tiết (kích thước lắp ghép, bề dày) sau đó kiểm nghiệm chi tiết tối ưu trên phần mềm Moldflow với các đánh giá như trên nhận được kết quả chất lượng sản phẩm tốt.

III. ỨNG DỤNG PHƯƠNG PHÁP TAGUCHI TỐI ƯU HÓA CÁC THÔNG SỐ ĐẦU VÀO QUÁ TRÌNH ÉP PHUN SẢN PHẨM

1. Các bước áp dụng phương pháp Taguchi

Bước 1: Xác định các chức năng chính, các nhân tố tác động, các dạng hỏng.

Bước 2: Xác định các hệ số nhiễu, kiểm tra các điều kiện và các đặc tính chất lượng yêu cầu.

Bước 3: Xác định các yếu tố cần tối ưu hóa.

Bước 4: Xác định các yếu tố điều khiển và các mức của chúng.

Bước 5: Lựa chọn bảng trực giao và ma trận thí nghiệm.

Bước 6: Đưa ra các ma trận thí nghiệm.

Bước 7: Phân tích dữ liệu: Dự đoán các giá trị tối ưu của tác động điều khiển và giá trị của kết quả.

Bước 8: Đưa ra các thí nghiệm kiểm tra và lập kế hoạch xử lý sai số [4]

2. Giải quyết vấn đề

Xác định các chức năng chính, các nhân tố tác động, các dạng hỏng.

- *Tác nhân chính dẫn đến độ bền của chi tiết ép phun:* là vật liệu nhựa, áp suất và nhiệt độ [2]. Do thời gian thực hiện đề tài có hạn và vật liệu nhựa ép phun mặt nạ xe máy đã được lựa chọn là loại nhựa ABS nên nghiên cứu tập trung áp dụng phương pháp Taguchi cho hai yếu tố: áp suất và nhiệt độ.

- *Các dạng hỏng của sản phẩm ép phun:* độ co ngót, lỗ khí, sản phẩm bị giòn, các đốm cháy, vết rạn nứt, chóc bề mặt, sản phẩm bị hụt, sản phẩm bị đổi màu, ba via [2]

Xác định các hệ số nhiễu, kiểm tra các điều kiện và các đặc tính chất lượng yêu cầu.

- *Các yếu tố nhiễu:* Tay nghề của người công nhân đứng máy, chất lượng nhựa, bề mặt khuôn, mặt phân khuôn không sạch trước khi đưa lên máy ép phun.

- *Xác định các yếu tố cần tối ưu hóa:* Độ co ngót của sản phẩm.

- *Xác định các yếu tố điều khiển và các mức của chúng:* Áp suất phun, nhiệt độ chảy của vật liệu (lựa chọn theo kinh nghiệm từ quá trình thực nghiệm) như sau:

Mức	Áp suất (A)	Nhiệt độ (B)
1	100	220
2	150	230
3	200	240
4	250	250
5	300	260

Lựa chọn bảng trực giao và ma trận thí nghiệm.

- *Phân tích dữ liệu:* Dự đoán các giá trị tối ưu của tác động điều khiển và giá trị của kết quả [5]

Bảng 1: Bảng trực giao và tính toán dữ liệu

S/N của yếu tố A				
A1	A2	A3	A4	A5
24,354631	27,964234	23,27911	25,9594	20,9373
S/N của yếu tố B				
B1	B2	B3	B4	B5
25,499500	24,201989	24,25703	24,3101	24,2261
S/N của yếu tố C				
(AxB)1	(AxB)2	(AxB)3	(AxB)4	(AxB)5
24,448802	24,283127	25,47009	24,0488	24,2438

Từ bảng 1 đã được thiết lập ở trên kết hợp với việc sử dụng phần mềm mô phỏng Mold flow.

- Ta có: Kết quả độ co ngót lớn nhất.

- Từ kết quả đó ta tính được Sumsq của từng hàng.

Hàng 1: ta có sumsq = $0,063^2 = 0,003969$.

Tương tự các hàng còn lại.

- Tiếp theo đó là cột S/N: Yêu cầu đặt ra là sản phẩm ép phun phải có độ co ngót lớn nhất đạt giá trị nhỏ nhất.

Công thức tính s/n được chọn sẽ là:

$$S / N = -10 \log_{10}(MSD)$$

Kết quả đầu ra càng nhỏ càng tốt:

$$MSD = (Y_1^2 + Y_2^2 + + Y_n^2) / N$$

Khi đó: Hàng 1

$$S / N = -10 \log_{10} \left(\frac{0,003969}{1} \right) = 24,013189$$

Tương tự các hàng còn lại.

Từ bảng 1 ta tính được giá trị s/n trung bình của từng yếu tố tại từng mức:

A_i = (tổng tất cả các kết quả với đầu vào là yếu tố A tại mức i) /5;

$A_i B_j$ = (tổng tất cả các kết quả với đầu vào là yếu tố AB tại mức ij) /5;

Tương tự với yếu tố và mức khác.

Kết quả được thể hiện ở bảng 2:

Bảng 2: Kết quả S/N

Tương tự ta cũng tính được giá trị của từng yếu tố tại từng mức.

Kết quả được thể hiện ở bảng sau:

Bảng 3: Kết quả độ ngót lớn nhất

Ngót lớn nhất (mm) của yếu tố A tại từng mức			
A2	A3	A4	A5
0,2	0,357	0,252	0,449
Ngót lớn nhất (mm) của yếu tố B tại từng mức			
B2	B3	B4	B5
0,321	0,321	0,319	0,321
Ngót lớn nhất (mm) của yếu tố AxB tại từng mức			
(AxB)2	(AxB)3	(AxB)4	(AxB)5
0,32	0,281	0,326	0,32

Từ bảng 3 ta tính được giá trị trung bình AB theo s/n:

Theo công thức $A_i B_j$ = (tổng các kết quả đầu ra chứa $A_i B_j$) /5 (kết quả đầu ra tại cột s/n)

Bảng 4: Giá trị trung bình AB theo S/N

Tương tự ta tính được giá trị trung bình AB:

Theo công thức $A_i B_j$ = (tổng các kết quả đầu ra chứa $A_i B_j$) /5 (kết quả đầu ra tại cột độ ngót lớn nhất).

Bảng 5: Giá trị trung bình AB.

	B1	B2	B3	B4	B5
A1	0,063	0,059	0,058	0,061	0,062
A2	0,04	0,041	0,042	0,039	0,038
A3	0,037	0,082	0,081	0,078	0,079

	B1	B2	B3	B4	B5
A1	24,013189	24,5829	24,73144	24,2934	24,152166
A2	27,958800	27,7443	27,53501	28,17871	28,404328
A3	28,635965	21,7237	21,8303	22,15811	22,047458
A4	25,679933	25,848	26,55804	26,19608	25,514482
A5	21,209614	21,1103	20,63034	20,72424	21,012199

STT	Áp suất (A)	Nhiệt độ (B)	A x B	Ngót lớn nhất (mm)	Tổng bình phương	S/N
1	1	1	1	0,063	0,003969	24,013189
2	1	2	2	0,059	0,003481	24,58296
3	1	3	3	0,058	0,003364	24,73144
4	1	4	4	0,061	0,003721	24,293403
5	1	5	5	0,062	0,003844	24,152166
6	2	1	2	0,04	0,0016	27,9588
7	2	2	3	0,041	0,001681	27,744323
8	2	3	4	0,042	0,001764	27,535014
9	2	4	5	0,039	0,001521	28,178708
10	2	5	1	0,038	0,001444	28,404328
11	3	1	3	0,037	0,001369	28,635966
12	3	2	4	0,082	0,006724	21,723723
13	3	3	5	0,081	0,006561	21,8303
14	3	4	1	0,078	0,006084	22,158108
15	3	5	2	0,079	0,006241	22,047458
16	4	1	4	0,052	0,002704	25,679933
17	4	2	5	0,051	0,002601	25,848596
18	4	3	1	0,047	0,002209	26,558043
19	4	4	2	0,049	0,002401	26,196078
20	4	5	3	0,053	0,002809	25,514483
21	5	1	5	0,087	0,007569	21,209615
22	5	2	1	0,088	0,007744	21,110347
23	5	3	2	0,093	0,008649	20,630341

A4	0,052	0,051	0,047	0,049	0,053
A5	0,087	0,088	0,093	0,092	0,089

Áp dụng phương pháp phân tích phương sai ta có:

- Tổng số lần thử.

Trong một thí nghiệm thiết kế có ảnh hưởng của yếu tố A, yếu tố A được thử với L mức, gọi n_l là số lần lặp của từng lần thử chứa A1, n_2 là số lần lặp lại của từng lần thử chứa A2.

Tổng số lần thử $n = 25$;

- Bậc tự do của từng yếu tố.

Số bậc tự do của từng yếu tố = Số mức của yếu tố - 1

Số bậc tự do của yếu tố tác động lần được tính bằng cách nhân bậc tự do của mỗi trong những yếu tố tương tác lẫn nhau.

Khi đó:

$$f_t = 25 - 1 = 24b;$$

$$f_a = 5 - 1 = 4;$$

$$f_b = 5 - 1 = 4;$$

$$f_{b \times a} = f_a \times f_b = 16;$$

$$f_e = f_t - f_a - f_b - f_{a \times b} = 0;$$

- Tổng bình phương.

Từ bảng 3 và 4 ta có:

$$S_T = \sum_{i=1}^{25} y_i^2 - C.F = 179,44271;$$

$$S_A = \frac{A_1^2}{N_{A_1}} + \frac{A_2^2}{N_{A_2}} + \frac{A_3^2}{N_{A_3}} + \frac{A_4^2}{N_{A_4}} + \frac{A_5^2}{N_{A_5}} - C.F = 141,67513$$

$$S_B = \frac{B_1^2}{N_{B_1}} + \frac{B_2^2}{N_{B_2}} + \frac{B_3^2}{N_{B_3}} + \frac{B_4^2}{N_{B_4}} + \frac{B_5^2}{N_{B_5}} - C.F = 6,2895346$$

$$S_{A \times B} = \frac{(A \times B)_1^2}{N_{(A \times B)_1}} + \frac{(A \times B)_2^2}{N_{(A \times B)_2}} + \frac{(A \times B)_3^2}{N_{(A \times B)_3}} + \frac{(A \times B)_4^2}{N_{(A \times B)_4}} + \frac{(A \times B)_5^2}{N_{(A \times B)_5}} - C.F = 6,2992839$$

$$S_e = S_T - S_A - S_B - S_{A \times B} = 25,178767$$

- Phương sai của từng yếu tố:

$$V_A = \frac{S_A}{f_A} = 35,4187819$$

$$V_B = \frac{S_B}{f_B} = 1,57238364$$

$$V_{A \times B} = \frac{S_{A \times B}}{f_{A \times B}} = 0,39370524$$

$$V_e = \frac{S_e}{f_e} = \frac{25,178767}{0}$$

không xác định.

V_e không xác định. F và S' không thể tính được. Trong trường hợp này phần trăm ảnh hưởng trước tiên được tính sử dụng tổng bình phương. Sau đó nếu có yếu tố không đáng kể thì kết hợp và tính lại phần trăm ảnh hưởng sử dụng pure sums of squares.

- Phần trăm ảnh hưởng của từng yếu tố:

$$P_A = \frac{S_A}{S_T} \times 100\% = 78,95285;$$

$$P_B = \frac{S_B}{S_T} \times 100\% = 3,505038;$$

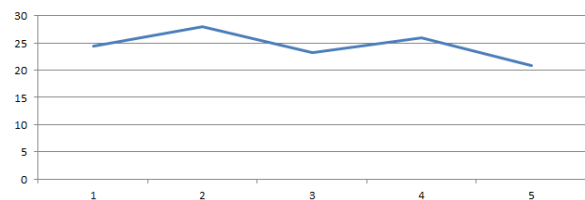
$$P_{A \times B} = \frac{S_{A \times B}}{S_T} \times 100\% = 3,510471;$$

$$P_e = \frac{S_e}{S_T} \times 100\% = 14,03165;$$

Bảng 6: Bảng phân tích ANOVA với S/N.

	Bậc tự do	S	V	F	S'	P
A	4	141,675	35,41878		141,67	78,952
B	4	6,289	1,572383		6,2895	3,5050
A x B	16	6,299	0,393705		6,2992	3,5104
e	0	25,178			25,178	14,0316
Total	24	179,442				100

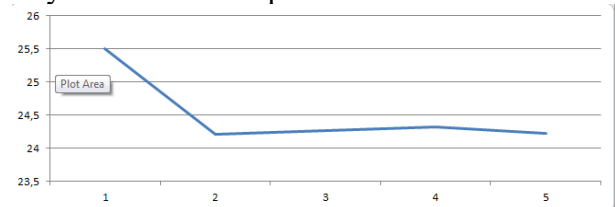
Từ bảng 4 ta có đồ thị liên quan tới tác động của yếu tố A với kết quả đầu ra:



Hình 12. Đồ thị tác động của A

Từ đồ thị ta thấy yếu tố A ở mức 2 là tác động lớn nhất.

Từ bảng 5 ta có đồ thị liên quan đến tác động của yếu tố B với kết quả đầu ra:

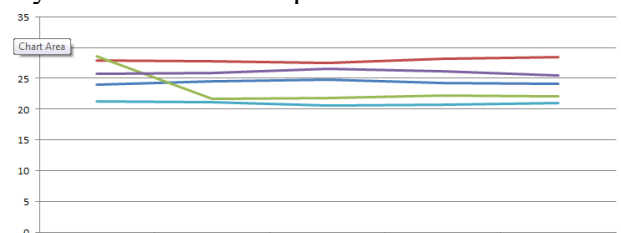


Hình 13. Đồ thị tác động của B

Từ đồ thị trên ta thấy yếu tố B ở mức 1 là tác động lớn nhất.

Ta có chế độ tối ưu không xét tới yếu tố tác động lần sẽ là: A2B1.

Từ bảng 6 ta có đồ thị liên quan đến tác động của yếu tố Ax B với kết quả đầu ra:



Hình 14. Đồ thị tác động của Ax B

Từ đồ thị trên ta thấy A5 không tham gia tác động lần, do không giao với các đường còn lại và yếu tố tác động lần có ảnh hưởng lớn nhất tới kết quả đầu ra là: A3B1.

Kết hợp với bảng phân tích Anova ta thấy: Yếu tố A2 có phần trăm ảnh hưởng là 78,95% còn A3B1 chỉ có 3,51%

Lúc đó ta có chế độ tối ưu sẽ là: A2B1 với giá trị tối ưu tại điều kiện A2B1 sẽ là:

$$A_2 + B_1 - \frac{T}{n} = 0,04 + 0,0558 - \frac{1,561}{25} = 0,03336 \quad (\text{độ co}$$

ngót với giá trị tối ưu)

III. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Kết quả

Nghiên cứu về phương pháp Taguchi ứng dụng trong việc tối ưu hóa các thông số đầu vào quá trình ép phun sản phẩm nhựa mặt nạ xe máy, tác giả thu được những kết quả sau:

+ Xác định được các yếu tố chính ảnh hưởng tới sản phẩm nhựa, từ đó tập trung nghiên cứu ứng dụng phương pháp Taguchi với yếu tố đó.

+ Xây dựng bộ thông số ảnh hưởng tới chất lượng sản phẩm ép phun.

+ Kiểm nghiệm kết quả của quá trình tối ưu hóa và so sánh kết quả nghiên cứu với các phần mềm chuyên dùng, từ đó đánh giá độ tin cậy

của phương pháp Taguchi với các phương pháp khác.

Thảo luận

Khi sản phẩm nhựa không đạt yêu cầu khi chế tạo thì việc đầu tiên là thay đổi các yếu tố thông số đầu vào (thông số mềm) sau đó mới thay đổi các thông số của khuôn hay kết cấu máy. Khi đó ta nhận thấy sự quan trọng của phương pháp Taguchi trong việc tối ưu hóa các thông số đầu vào trong quá trình ép phun. Nó làm giới hạn số phép thử trong quá trình thực nghiệm, giảm thiểu thời gian, chi phí và vật liệu tiêu hao, cũng như đưa ra được khoảng thông số phù hợp trong quá trình ép phun tạo sản phẩm mới.

IV. KẾT LUẬN

Bài báo dựa trên nghiên cứu về quá trình ép phun sản phẩm mặt nạ xe máy Honda Wave 2012. Từ các phép thử và các kết quả đưa ra ta thấy việc lựa chọn các thông số đầu vào sao cho hợp lý nhất nhằm đảm bảo chất lượng của sản phẩm nhựa lại vừa đạt hiệu quả kinh tế cao, và phương pháp Taguchi là phương pháp hữu quả nhất để giải quyết vấn đề này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Phạm Minh Hải, Nguyễn Trường Kỳ, Vật liệu phi kim và công nghệ gia công, NXB Giáo dục Việt Nam, 2003.
- [2]. Phạm Sơn Minh, Trần Minh thế Uyên, Thiết kế và chế tạo khuôn phun ép nhựa, NXB ĐHQG TPHCM, 2014.
- [3]. Ranjit K.Roy, A primer on the Taguchi method, NXB Van Nostrand Rayhold, ISBN 0-442-23729-4, 1990.
- [4]. Genichi Taguchi, Elsaye A.Elsayed, Thomas C.Hsiang, Quality engineering in production systems, ISBN 0-07-100358-4, 1989.
- [5]. Raghu N. Kacker, Eric S. Lagergren, and James J. Filliben, Taguchi's Orthogonal Arrays Are Classical Designs of Experiments, Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology- Number 5, 1991.

Thông tin liên hệ:

Kiều Xuân Viễn

Điện thoại: 0989884772 – Email: kxvien@uneti.edu.vn

Đơn vị công tác: Khoa Cơ khí, Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật Công nghiệp.