

# ẢNH HƯỞNG CỦA NHIỆT ĐỘ KHUÔN PHUN ÉP ĐẾN ĐỘ CO RÚT CỦA SẢN PHẨM NHỰA DẠNG TẤM

## EFFECT OF MOLD TEMPERATURE TO SHRINKAGE OF FLAT PLASTIC PRODUCT

HUỖNH CHÍ LINH<sup>1</sup>, NGUYỄN THUẬN HẢI ĐẶNG<sup>1,a</sup>,  
PHẠM THỊ TRÚC GIANG<sup>1</sup>, NGUYỄN VĂN THÁI<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vĩnh Long

<sup>a</sup>Tác giả liên hệ: dangnth@vlute.edu.vn

***Nhận bài (Received): 27/3/2023; Phản biện (Reviewed): 05/4/2024; Chấp nhận (Accepted): 23/04/2024***

### TÓM TẮT

Trong công nghệ phun ép nhựa, nhiệt độ khuôn có ảnh hưởng trực tiếp đến độ co rút của sản phẩm nhất là với các sản phẩm thành mỏng, sản phẩm dạng tấm. Các nghiên cứu liên quan hầu hết tập trung nghiên cứu độ co rút của sản phẩm ở mức nhiệt độ khuôn khoảng 40°C – 120°C, trong khi đó ảnh hưởng của nhiệt độ khuôn ở các mức nhiệt thấp hơn chưa được đánh giá đầy đủ. Nghiên cứu này được thực hiện nhằm đánh giá co rút của mẫu sản phẩm nhựa dạng tấm mỏng khi dẫn nước có nhiệt độ từ 5°C – 30°C, và nước có nhiệt độ cao hơn từ 35°C – 90°C qua kênh làm mát để thay đổi nhiệt độ của khuôn ép, trong khi các thông số phun ép được giữ không đổi. Kết quả nghiên cứu cho thấy bằng cách duy trì mức nhiệt độ làm mát khuôn trong khoảng 10°C – 30°C thì độ co rút của sản phẩm giảm đáng kể.

**Từ khóa:** Công nghệ ép phun; nhiệt độ khuôn; điều khiển nhiệt độ khuôn; co rút và cong vênh.

### ABSTRACT

*In plastic injection molding technology, the mold temperature has a direct influence on the shrinkage of the product, especially for thin-walled products and sheet products. Related studies have mostly focused on product shrinkage at mold temperatures of about 40°C – 120°C, while the influence of mold temperature at lower temperatures has not been fully evaluated. This study was carried out to evaluate shrinkage of thin sheet plastic product samples when conducting water with temperature from 5°C – 25°C, and water with higher temperature from 30°C – 90°C through cooling channel to change the temperature of the injection mold, while the injection parameters are kept constant. The study results indicate that by maintaining the mold cooling temperature within the range of 10°C – 30°C, the shrinkage of the product significantly decreases.*

**Keywords:** Injection molding; mold temperature; temperature control injection mold; shrinkage and warpage.

## 1. GIỚI THIỆU

Trong một chu kỳ phun ép thì sự co rút bắt đầu xuất hiện khi kết thúc giai đoạn điền đầy cho đến khi nhiệt độ sản phẩm về bằng nhiệt độ môi trường. Trong giai đoạn giải nhiệt, nhựa chuyển từ trạng thái lỏng sang rắn sự co rút diễn ra mạnh mẽ nhưng bị giới hạn bởi không gian lòng khuôn. Sau khi mở khuôn do sự chênh lệch nhiệt độ giữa sản phẩm và nhiệt độ môi trường quá trình co rút tiếp tục diễn ra. Gọi  $\eta$  là yếu tố ảnh hưởng đến độ co rút, ta có:

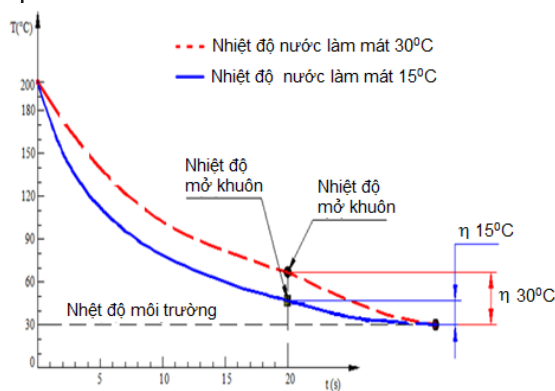
$$\eta = \Delta T = (T_P - T_R),$$

Trong đó:

$T_P$  : nhiệt độ sản phẩm (°C)

$T_R$  : nhiệt độ môi trường (°C)

Giả sử một chu kỳ phun ép có thời gian chu kỳ 20s; nhiệt độ khuôn 200°C; nhiệt độ nước làm mát ở hai mức: 30°C và 15°C. Ảnh hưởng của nhiệt độ mở khuôn đến độ co rút của sản phẩm có thể được thể hiện qua biểu đồ hình 1:



**Hình 1. Ảnh hưởng của nhiệt độ khuôn đến độ co rút của sản phẩm**

Do đó, theo lý thuyết trên nếu trong cùng thời gian chu kỳ phun ép, nếu nhiệt khuôn ở mức cao thì nhiệt độ mở khuôn sẽ lớn hơn, khả năng ảnh hưởng đến độ co rút của sản phẩm sẽ lớn hơn so với mức nhiệt độ khuôn thấp hơn dẫn đến cong vênh của sản phẩm sẽ tăng theo.

Sự cong vênh có nhiều nguyên nhân khác nhau nhưng chủ yếu do sự biến đổi trong quá trình co rút của sản phẩm nhựa. Một giải pháp được thực hiện là phân tích và mô phỏng phân bố nhiệt độ của khuôn âm và dương, sau đó thiết lập nhiệt độ làm mát độc lập cho hai tấm khuôn thay vì cài đặt một nhiệt độ làm mát chung cho cả hai [1]. Kết quả thí nghiệm và mô phỏng cho thấy cong vênh giảm đáng kể so với phương pháp làm mát truyền thống. Tuy nhiên có thể thấy phương pháp này khó áp dụng vì khó khăn trong kiểm soát nhiệt độ của từng tấm khuôn.

Trong nghiên cứu Shia - Chung Chen và các cộng sự đã tìm mối tương quan giữa nhiệt độ khuôn, thời gian chu kỳ và thời gian trễ của xung làm mát với độ chính xác độ sâu và độ trùng lặp của rãnh micro trên đĩa Blu-ray [2]. Thí nghiệm thực hiện trên 4 mức nhiệt độ khuôn 20°C, 25°C, 35°C và 50°C cùng với nhiệt độ nước làm mát được giảm xuống còn 32°C nhờ phương pháp xung động dòng chảy thay vì 40°C như phương pháp thông thường. Các kết quả cho thấy phương pháp này đã giúp giảm đáng kể độ cong vênh của đĩa blu – ray và chất lượng các rãnh micro trên bề mặt đĩa cũng được cải thiện đáng kể.

Một nghiên cứu trên vật liệu nhựa ABS nhằm đánh giá chất lượng bề mặt của sản phẩm sau phun ép bằng kỹ thuật ép phun có chu kỳ nhiệt nhanh (RHCM) [3]. Theo đó lòng khuôn được gia nhiệt nhanh đến 100°C, sau giai đoạn phun ép lòng khuôn được làm mát nhanh bằng nước với mức nhiệt 30°C. Kết quả nghiên cứu cho thấy việc gia nhiệt và làm lạnh nhanh chóng trên bề mặt khuôn dẫn đến sự cải thiện đáng kể độ bóng bề mặt sản phẩm. Điều này chủ yếu là do nhiệt độ bề mặt lòng khuôn cao có thể ngăn chặn nhựa đông đặc quá sớm trong giai đoạn điền đầy và định hình. Đồng thời

cho thấy thời gian chu kỳ giảm 16s so với phương pháp phun ép truyền thống.

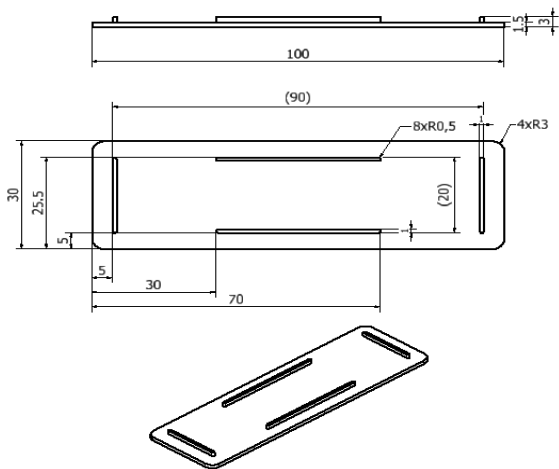
Mặt khác, việc bố trí các kênh làm mát và hình dạng kênh trong khuôn có liên quan đến mức độ co rút của vật liệu nhựa. Tác động của vị trí và hình dạng các kênh làm mát đối với tỷ lệ co rút và phân phối nhiệt độ của vật liệu polystyrene (PS) được tiến hành trong quá trình làm mát của quy trình ép phun, kết quả thực nghiệm được so sánh với kết quả từ mô hình toán học cho thấy kênh làm mát có hình dạng giống với sản phẩm thời gian làm mát được cải thiện. Tuy nhiên thời gian làm mát tối thiểu không đồng nhất với việc phân bố nhiệt độ đều trên sản phẩm [4], [5].

Các nghiên cứu trước đây cho thấy nhiệt độ khuôn có ảnh hưởng trực tiếp đến độ co rút của sản phẩm, tuy nhiên chưa có các nghiên cứu về ảnh hưởng của các mức nhiệt độ thấp đến sự co rút của sản phẩm dạng tấm. Trong nghiên cứu này, một hệ thống điều khiển nhiệt độ khuôn gồm một máy làm lạnh nước và một máy gia nhiệt nước sẽ được sử dụng để dẫn dòng nước có nhiệt độ từ  $5^{\circ}\text{C}$ – $90^{\circ}\text{C}$  qua kênh làm mát của khuôn nhằm đạt được nhiệt độ khuôn ở các mức nhiệt khác nhau. Quá trình thực nghiệm sẽ tiến hành phun ép với các mức nhiệt độ khuôn này trong khi các thông số phun ép còn lại được giữ không đổi. Quá trình phân tích nhằm đánh giá đồng thời chứng minh ảnh hưởng của nhiệt độ khuôn đến sự co rút của sản phẩm thí nghiệm.

## 2. MÔ TẢ THÍ NGHIỆM VÀ MÔ PHỎNG

### 2.1. Mô hình, thiết bị thí nghiệm

Một mô hình sản phẩm dạng tấm có kích thước  $100 \times 30 \times 1,5\text{mm}$  (trong đó 2 kích thước  $90\text{mm}$  và  $20\text{mm}$  được thiết kế để đo giá trị co rút kích thước của sản phẩm) như hình 2.1



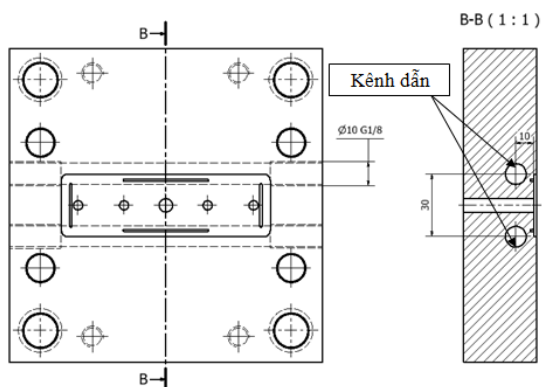
Hình 2.1. Mô hình sản phẩm thí nghiệm

Nhựa ABS được sử dụng trong thí nghiệm đây là loại nhựa được ứng dụng nhiều trong sản xuất các sản phẩm như linh kiện điện tử, viễn thông, điện lạnh, công nghiệp ô tô,... Hệ số co rút của nhựa ABS vào khoảng  $0,4\%$  –  $0,9\%$  nằm ở mức trung bình so với các loại nhựa thông dụng khác như PP, PA,... Ở điều kiện nhiệt độ thấp, tính chất vật lý của nhựa ABS ít thay đổi mà chỉ ảnh hưởng đến sự ổn định kích thước.

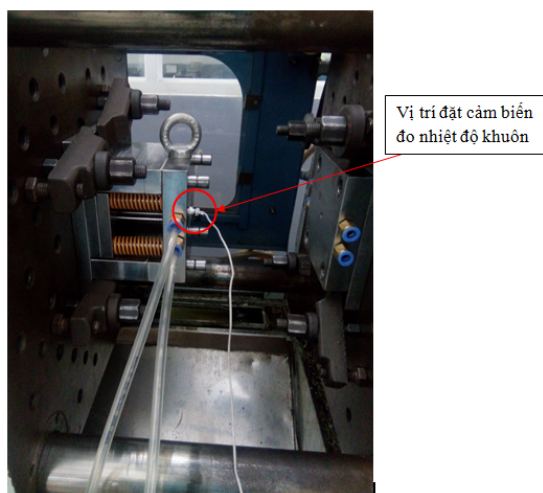
Máy làm lạnh và máy gia nhiệt nước có chức năng điều khiển nhiệt độ nước ở các mức nhiệt từ  $5^{\circ}\text{C}$ – $90^{\circ}\text{C}$  trước khi được dẫn qua kênh làm nguội của khuôn để xác lập nhiệt độ khuôn khi thực nghiệm.

Bộ khuôn ép được sử dụng là bộ khuôn hai tấm có kết cấu tấm khuôn dương như hình 2.2. Kênh dẫn nước được bố trí song song với bề mặt lõi khuôn. Tiết diện kênh dẫn nước và khoảng cách giữa kênh dẫn với thành sản phẩm thiết kế theo tiêu chuẩn.

Tiến hành dẫn dòng nước mang nhiệt qua kênh làm mát của khuôn, thực hiện đo nhiệt độ khuôn như hình 2.3. Ghi nhận các giá trị nhiệt độ khuôn đạt được làm thông số cho quá trình mô phỏng và thí nghiệm ép.



Hình 2.2. Kết cấu tấm khuôn dương



Hình 2.3. Đo nhiệt độ khuôn

## 2.2. Mô phỏng

Quá trình mô phỏng được thực hiện trên phần mềm Moldex3D theo các thông

số phun ép như quá trình thực nghiệm. Giá trị co rút của sản phẩm theo phương X (kích thước A) và phương Y (kích thước B) (hình 2.4) được tổng hợp để so sánh với kết quả thực nghiệm. Các điều kiện biên trong mô phỏng như sau:

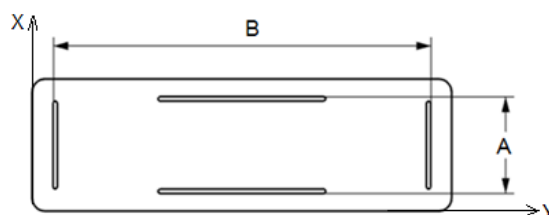
Số phần tử chia lưới: 104347

Số điểm chia: 128132

Số lòng khuôn: 1, thể tích lòng khuôn 4,64083mm<sup>3</sup>

Vật liệu nhựa: 1 loại (ABS)

Số kênh làm mát thành phần: 4



Hình 2.4. Kích thước mô phỏng và kiểm tra của sản phẩm

## 3. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG VÀ THỰC NGHIỆM

### 3.1. Kết quả đo nhiệt độ khuôn

Thực nghiệm với các mức nhiệt độ nước từ 5°C – 90°C. Thời gian gia nhiệt hoặc làm lạnh khuôn trong 600 giây và ghi nhận nhiệt độ thực tế trên khuôn ép.

Bảng 3.1. Kết quả đo nhiệt khuôn

TT	Nhiệt độ nước (°C)	Nhiệt độ khuôn (°C)	TT	Nhiệt độ nước (°C)	Nhiệt độ khuôn (°C)
1	5	11	10	50	50
2	10	16	11	55	55
3	15	20	12	60	60
4	20	24	13	65	65
5	25	27	14	70	70
6	30	30	15	75	73
7	35	35	16	80	77
8	40	40	17	85	82
9	45	45	18	90	86

Nhiệt độ thực tế đạt được của khuôn chênh lệch từ 0°C đến 5°C so với nhiệt độ nước được cài đặt và lệch khoảng 3°C đến 5°C so với tính toán, đây là giá trị chấp nhận được đối với thực nghiệm gia nhiệt bằng nước.

### 3.2. Kết quả mô phỏng

**Bảng 3.2. Kết quả mô phỏng co rút của sản phẩm**

TT	Nhiệt độ khuôn (°C)	Giá trị co rút của sản phẩm	
		A (mm)	B (mm)
1	11	0,329	0,666
2	16	0,333	0,682
3	20	0,332	0,680
4	24	0,332	0,683
5	27	0,334	0,688
6	30	0,338	0,704
7	35	0,341	0,714
8	40	0,340	0,714
9	45	0,342	0,721
10	50	0,343	0,730
11	55	0,348	0,748
12	60	0,350	0,756
13	65	0,357	0,783
14	70	0,359	0,788
15	73	0,359	0,790
16	77	0,362	0,798
17	82	0,363	0,805
18	86	0,365	0,816

### 3.3. Phân tích kết quả thực nghiệm

Các thông số phun ép được trình bày ở bảng 3.3. Thực nghiệm sẽ được thực hiện với 18 mức nhiệt độ khuôn từ 11°C đến 86° theo kết quả đo nhiệt độ khuôn được trình bày ở phần 3.1 còn các thông số phun ép còn lại được giữ không đổi.

**Bảng 3.3. Thông số phun ép**

Thông số phun ép	
Loại nhựa	ABS_Polylacpa709
Thời gian điền đầy	0,5 s
Nhiệt độ nhựa	230°C
Nhiệt độ khuôn	Lần lượt là: 11°C, 16°C, 20°C, 24°C, 27°C, 30°C, 35°C, 40°C, 45°C, 50°C, 55°C, 60°C, 65°C, 70°C, 73°C, 77°C, 82°C, 86°C
Áp suất phun	60 kg/cm <sup>2</sup>
Thể tích phun	4,84249 (mm <sup>3</sup> )
Thời gian định hình	5 s
Áp suất bảo hòa	60 Mpa
Thời gian làm mát	11,3 s
Thời gian mở khuôn	2 s
Chu kỳ 1 lần ép	18,8 s

Kết quả đo giá trị co rút kích thước trên các mẫu sản phẩm thu được ở thí nghiệm này được trình bày qua bảng 3.4:

**Bảng 3.4. Giá trị co rút kích thước của sản phẩm**

Nhiệt độ nước (°C)	Nhiệt độ khuôn (°C)	Kích thước A (mm)		Kích thước B (mm)	
		Kích thước sản phẩm	Giá trị co rút	Kích thước sản phẩm	Giá trị co rút
5	11	19,670	0,330	89,332	0,668
10	16	19,668	0,332	89,324	0,676
15	20	19,670	0,330	89,326	0,674
20	24	19,666	0,334	89,310	0,690
25	27	19,664	0,336	89,312	0,688
30	30	19,666	0,334	89,298	0,702
35	35	19,660	0,340	89,292	0,708

40	40	19,660	0,340	89,288	0,712
45	45	19,656	0,344	89,276	0,724
50	50	19,658	0,342	89,260	0,74
55	55	19,648	0,352	89,244	0,756
60	60	19,642	0,358	89,236	0,764
65	65	19,642	0,358	89,214	0,786
70	70	19,638	0,362	89,204	0,796
75	73	19,634	0,366	89,189	0,811
80	77	19,630	0,370	89,180	0,820
85	82	19,628	0,372	89,174	0,826
90	86	19,622	0,378	89,169	0,831

Xử lý số liệu thực nghiệm với kích

$$\eta = \sqrt{\frac{S_Y^2 - S_{YX}^2}{S_Y^2}} = \sqrt{1 - \frac{S_{YX}^2}{S_Y^2}} = \sqrt{1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_X)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}}$$

$$\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_X)^2 = 0,000094$$

$$\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2 = 0,0043$$

Vậy tỉ số tương quan của mô hình là:

$$\eta = \sqrt{1 - \frac{0,000094}{0,0043}} = 0,98$$

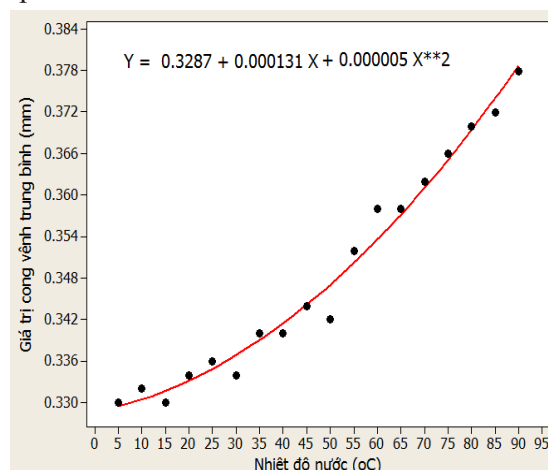
$\eta = 0,98$  cho thấy giá trị co rút kích thước của sản phẩm có liên quan mật thiết với sự thay đổi nhiệt độ khuôn ép. Biểu đồ hình 3.1 cho thấy độ co rút của sản phẩm tăng theo sự thay đổi nhiệt độ khuôn. Điều này chứng minh khi sử dụng kênh dẫn lạnh sẽ hạn chế độ co rút của sản phẩm nhựa. Phân tích số liệu của kích thước B cho kết quả tương tự với đường hồi quy thể hiện mối liên hệ giữa nhiệt độ khuôn và giá trị co rút của sản phẩm theo kích thước là:

$\hat{Y} = 0,6581 + 0,001181X + 0,00001X^2$ . Tỉ số tương quan cho mối liên hệ này là  $\eta = 0,98$ ,

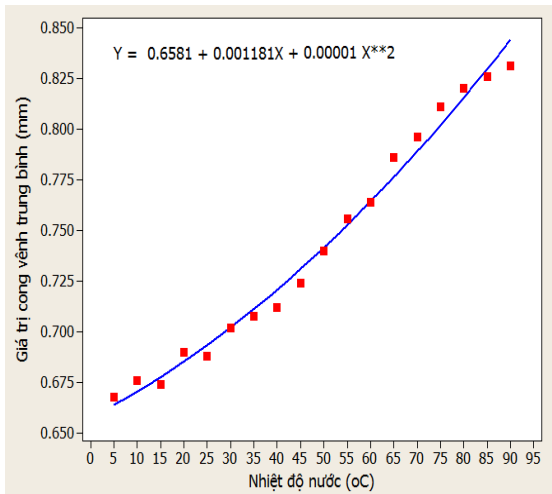
thước mẫu  $n = 18$ , kiểm định giả thuyết của mô hình hồi quy với mức ý nghĩa 5%, phân tích tương quan để tìm mối liên hệ giữa nhiệt độ khuôn và giá trị co rút của sản phẩm. Đặt  $X$  là biến nhiệt độ khuôn ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $Y$  là biến giá trị co rút kích thước của sản phẩm (mm). Phân tích số liệu ta có được với kích thước A đường cong bậc 2 thể hiện sự thay đổi giá co rút kích thước của sản phẩm theo nhiệt độ khuôn là

$\hat{Y} = a + bX + cX^2 = 0,3287 + 0,000131X + 0,000005X^2$ . Tỉ số tương quan  $\eta$  thể hiện mối quan hệ giữa biến nhiệt độ khuôn và sự thay đổi giá trị co rút của sản phẩm được xác định như sau:

đường diễn biến độ co rút của sản phẩm ứng với các giá trị nhiệt độ khuôn thể hiện qua hình 3.2.

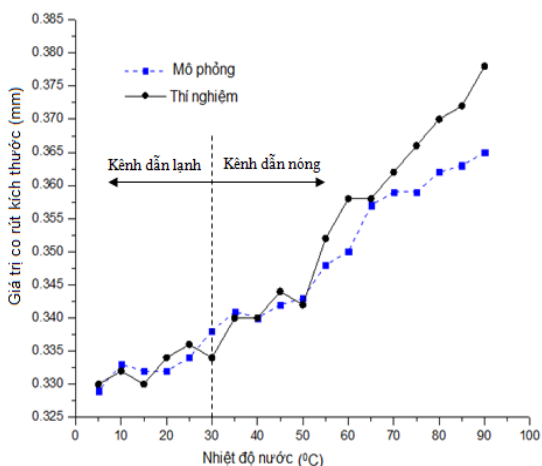


Hình 3.1. Quan hệ giữa nhiệt độ nước thí nghiệm và giá trị co rút kích thước A của sản phẩm

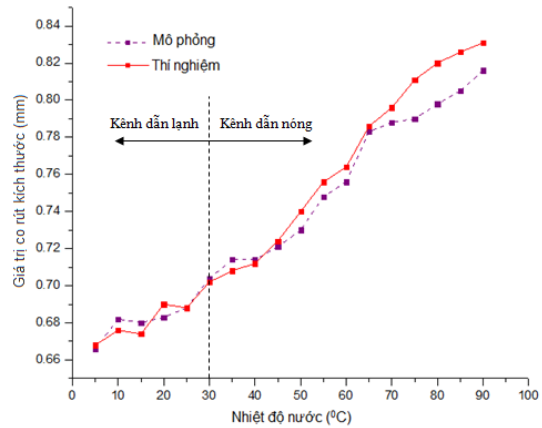


**Hình 3.2. Quan hệ giữa nhiệt độ nước thí nghiệm và giá trị co rút kích thước B của sản phẩm**

So sánh giữa thực nghiệm và mô phỏng có thể thấy giá trị co rút chênh lệch không quá lớn, đường đặc tính của đồ thị có sự tương đồng. Đối với kích thước A giá trị co rút chênh lệch lớn nhất là 3,4% ở nhiệt độ khuôn 86°C, còn với kích thước B chênh lệch là 2,7% ở nhiệt độ khuôn 77°C. Đây là giá trị chấp nhận được trong thực nghiệm, sự chênh lệch lớn xảy ra chủ yếu từ mức nhiệt độ nước khoảng 50°C đến 86°C do khi gia nhiệt ở mức nhiệt này nhiệt độ khuôn tăng cao và thiếu ổn định.



**Hình 3.3. Kết quả so sánh giữa mô phỏng và thực nghiệm của kích thước A**



**Hình 3.4. Kết quả so sánh giữa mô phỏng và thực nghiệm của kích thước B**

#### 4. KẾT LUẬN

Kết quả thực nghiệm cho thấy với cùng một thông số phun ép, độ co rút của sản phẩm giảm khi sử dụng kênh dẫn có nhiệt độ thấp. Phân tích kết quả đo kích thước A cho thấy khi giảm nhiệt độ khuôn 1°C thì độ co rút sẽ giảm sấp xỉ 0,00014 mm theo kích thước A và 0,0012 mm theo kích thước B. Giá trị co rút trung bình kích thước A khi phun ép với nhiệt độ khuôn từ 11°C – 27°C là 0,332mm so với giá trị co rút trung bình khi phun ép với nhiệt độ khuôn từ 40°C – 60°C là 0,347mm giảm 4,3%; so với nhiệt độ khuôn từ 70°C – 86°C là 0,370mm giảm 10,3%. Tương tự với kích thước B các giá trị này lần lượt là 8,1% và 16,9%. Kết quả này cho thấy:

- Khi phun ép với nhiệt độ khuôn thấp từ 10°C – 30°C đã đạt được hiệu quả làm giảm sự co rút của sản phẩm, đồng thời vẫn đảm bảo các quá trình phun ép và chất lượng của sản phẩm nhựa dạng tấm.

- Khi nhiệt độ khuôn tăng cao, sự co rút diễn ra mạnh và thiếu ổn định.

- Sử dụng nước để gia nhiệt và làm lạnh khuôn có thể đạt được yêu cầu nhưng còn có sự chênh lệch lớn và khó làm giảm nhiệt độ khuôn ở các mức nhiệt thấp.

**TÀI LIỆU THAM KHẢO**

- [1] SC Nian, CY Wu, MS Huang. *Warpage control of thin-walled injection molding using local mold temperatures*. International Communications in Heat and Mass Transfer 61(2015) 102-110.
- [2] Shia-Chung Chen, Ying Chang, Tsung-Hai Chang, Rean-Der Chien. *Influence of using pulsed cooling for mold temperature control on microgroove duplication accuracy and warpage of the Blu-ray Disc*. International Communications in Heat and Mass Transfer 35 (2008) 130–138.
- [3] Giovanni Lucchetta, Marco Fiorotto. *Influence of rapid mould temperature variation on the appearance of injection-moulded parts*. Strojniški vestnik–Journal of Mechanical Engineering 59(2013)11, 683-688.
- [4] Hamdy Hassan, Nicolas Regnier, Cedric Lebot, Cyril Pujos, Guy Defaye. *Effect of cooling system on the polymer temperature and solidification during injection molding*. Applied Thermal Engineering 29 (2009) 1786–1791.
- [5] Hamdy Hassan, Nicolas Regnier, Cyril Pujos, Eric Arquis, Guy Defaye. *Modeling the effect of cooling system on the shrinkage and temperature of the polymer by injection molding*. Applied Thermal Engineering 30 (2010) 1547-1557.