

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT  
THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH**

**TRẦN MINH THẾ UYÊN**

**NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA GIA NHIỆT KHUÔN  
PHUN ÉP BẰNG KHÍ NÓNG ĐẾN ĐỘ BỀN SẢN PHẨM  
NHỰA DẠNG THÀNH MỎNG**

**TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ  
NGÀNH: KỸ THUẬT CƠ KHÍ  
MÃ SỐ: 62520103  
MÃ NGÀNH: 9520103**

*Tp. Hồ Chí Minh, tháng 10 năm 2020*

**CÔNG TRÌNH ĐƯỢC HOÀN THÀNH TẠI  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT  
THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH**

Người hướng dẫn khoa học 1: PGS. TS. ĐỖ THÀNH TRUNG  
Người hướng dẫn khoa học 2: PGS. TS. PHẠM SƠN MINH

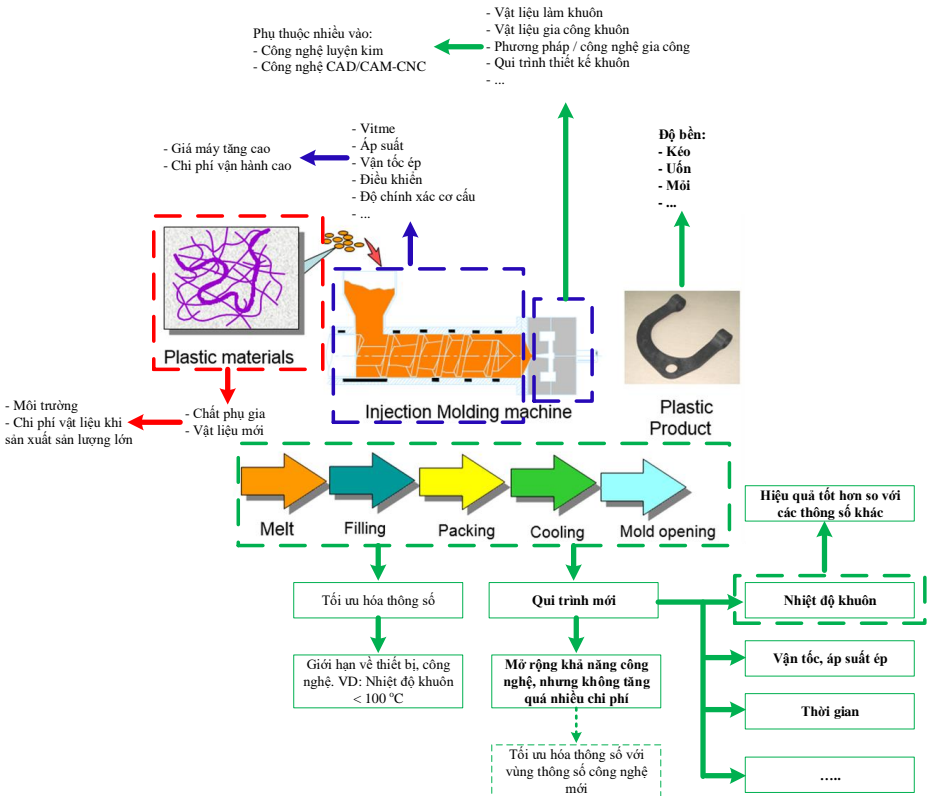
Luận án tiến sĩ được bảo vệ trước  
**HỘI ĐỒNG CHẤM BẢO VỆ LUẬN ÁN TIẾN SĨ  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT  
THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH**

*Ngày 30 tháng 10 năm 2020*

# Chương 1. TỔNG QUAN

## 1.1 Tổng quan công nghệ phun ép nhựa và điều khiển nhiệt độ khuôn

Trong quá trình sản xuất các sản phẩm nhựa, đầu tiên, hạt nhựa được sấy để loại bỏ hơi ẩm, sau đó, hạt nhựa được đưa vào phễu cấp liệu trên máy ép. Từ đây, hạt nhựa được trục vít vận chuyển tới bộ phận gia nhiệt để gia nhiệt làm cho nhựa từ trạng thái rắn chuyển qua trạng thái lỏng. Khi nhựa đã chảy lỏng hoàn toàn sẽ được trục vít phun ép qua hệ thống kênh dẫn nhựa vào điền đầy lòng khuôn. Sau khi lòng khuôn được điền đầy hoàn toàn thì sản phẩm nhựa được làm nguội để nhựa từ dạng lỏng chuyển về lại dạng rắn ban đầu và lấy ra khỏi khuôn, kết thúc một chu kỳ sản xuất sản phẩm nhựa.



**Hình 1.1:** Các hướng nghiên cứu chính trong lĩnh vực khuôn phun ép nhựa

Trong lĩnh vực khuôn phun ép nhựa, các nghiên cứu trong những năm gần đây chủ yếu tập trung vào 04 hướng chính như hình 1.1.

Ngoài khả năng nâng cao cơ tính của sản phẩm nhựa, tối ưu hóa quá trình điều khiển nhiệt độ khuôn là một trong những cách hiệu quả nhất nhằm nâng cao chất lượng bề mặt sản phẩm nhựa. Vì vậy, mục tiêu quan trọng của quá trình điều khiển nhiệt độ khuôn phun ép là: *gia nhiệt cho bề mặt khuôn đến nhiệt độ yêu cầu, nhưng vẫn đảm bảo thời gian chu kỳ phun ép không quá dài.*

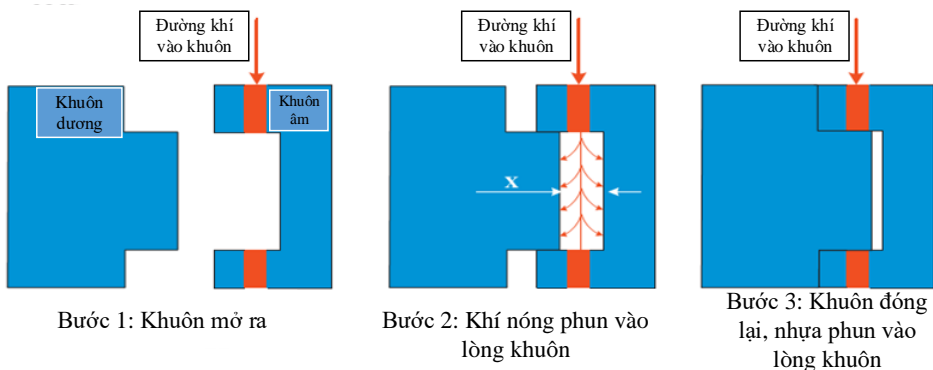
## **1.2 Tình hình nghiên cứu ngoài nước**

Trong các nghiên cứu này, phương pháp gia nhiệt bằng cảm ứng từ được kết hợp với lưu chất giải nhiệt nhằm điều khiển nhiệt độ khuôn. Gia nhiệt bằng cảm ứng từ có những ưu điểm vượt trội so với các phương pháp khác như:

- Tốc độ gia nhiệt cao.
- Thời gian gia nhiệt có thể kéo dài đến 20 s.
- Có thể ứng dụng cho khuôn phun ép như một module đính kèm, nghĩa là không cần thay đổi kết cấu khuôn có sẵn.

Ngoài ra, nhằm đáp ứng yêu cầu gia nhiệt cho các bề mặt phức tạp, phương pháp phun khí nóng vào lòng khuôn (gas heating) đã được nghiên cứu và đánh giá hiệu quả. Quy trình gia nhiệt cho khuôn phun ép bằng khí nóng đang được tiến hành như hình 1.2. Cuối chu kỳ phun ép, hai tấm khuôn mở ra và sản phẩm sẽ được lấy ra ngoài (hình 1.2 - Bước 1). Sau đó, tấm khuôn di động sẽ được di chuyển đến vị trí gia nhiệt (hình 1.2 - Bước 2). Tại bước này, khí nóng sẽ được phun vào lòng khuôn. Qua quá trình truyền nhiệt đối lưu giữa khí nóng và bề mặt khuôn, nhiệt năng của khí nóng sẽ làm bề mặt khuôn tăng nhiệt độ đến giá trị cần thiết. Cuối cùng, khí nóng sẽ dừng phun, và hai tấm khuôn sẽ đóng hoàn toàn (hình 1.2 – Bước 3). Tiếp theo, nhựa nóng chảy sẽ được ép vào lòng khuôn.

Với phương pháp này, nhiệt độ bề mặt khuôn có thể được tăng từ 60 °C đến 120 °C trong thời gian 2 s. Tuy nhiên, quá trình gia nhiệt này sẽ đạt tới trạng thái bão hòa khi thời gian gia nhiệt kéo dài hơn 4 s. Ưu điểm của phương pháp “gas heating” là tốc độ gia nhiệt rất cao, và thời gian chu kỳ của sản phẩm sẽ được rút ngắn. Tuy nhiên, thiết kế của khuôn phun ép cần được thực hiện lại nhằm tích hợp hệ thống gia nhiệt vào.



**Hình 1.2:** Quy trình gia nhiệt bằng khí nóng cho khuôn phun ép nhựa

### 1.3 Tình hình nghiên cứu trong nước

Lĩnh vực điều khiển nhiệt độ khuôn chỉ được hiểu và thực hiện theo hướng giải nhiệt cho khuôn hoặc hạn chế hiện tượng giảm áp suất của dòng nhựa trong quá trình chảy vào lòng khuôn, với mục tiêu quan trọng nhất là làm nguội khuôn trong thời gian ngắn nhất. Ngược lại, vấn đề giữ bề mặt khuôn ở nhiệt độ cao trong quá trình ép phun nhằm nâng cao chất lượng sản phẩm, đặc biệt là sản phẩm phục vụ ngành điện tử và các sản phẩm yêu cầu độ chính xác cao, đã bắt đầu được chú ý thông qua đề tài nghiên cứu của PGS. TS. Đặng Văn Nghìn. Do đó, nhìn chung, thực trạng của sản xuất sản phẩm nhựa tại Việt Nam đang dừng lại ở nhóm các sản phẩm đơn giản, chất lượng trung bình, và chủ yếu tập trung vào lĩnh vực hàng tiêu dùng. Ngoài ra, khả năng hạn chế các khuyết tật cho sản phẩm nhựa theo phương pháp điều khiển nhiệt độ khuôn vẫn chưa được xem xét và ứng dụng.

### 1.4 Vấn đề khoa học còn tồn tại

Phương pháp phương pháp gia nhiệt bằng khí nóng còn những hạn chế như sau:

- Kết cấu khuôn cần được thiết kế lại.
- Với kết cấu khuôn thực tế, kết quả gia nhiệt cho bề mặt khuôn vẫn chưa tốt.

Vì vậy, nhằm tăng khả năng ứng dụng của phương pháp gia nhiệt bằng khí nóng cho khuôn phun ép nhựa, đề tài nghiên cứu "*Nghiên cứu ảnh hưởng của gia nhiệt khuôn phun ép bằng khí nóng đến độ bền sản phẩm nhựa thành mỏng*" được thực hiện trong Luận án này.

### 1.5 Tính cấp thiết của đề tài

Việc nghiên cứu công nghệ và chế tạo thiết bị phun ép nhựa phục vụ cho quá trình sản xuất sản phẩm nhựa kỹ thuật yêu cầu độ chính xác cao là một hướng đi đầy tiềm năng trong lĩnh vực khuôn mẫu nói riêng và các

ngành công nghiệp chính xác nói chung. Công nghệ này sẽ góp phần nâng cao chất lượng sản phẩm, mở rộng khả năng công nghệ của phương pháp phun ép nhựa, cũng như tạo tiền đề công nghệ sản xuất các sản phẩm nhựa kỹ thuật phát triển nhiều hơn nữa trên địa bàn Thành phố Hồ Chí Minh.

### **1.6 Ý nghĩa khoa học**

Với các kết quả của luận án, phương pháp gia nhiệt cho bề mặt khuôn sẽ có thêm một phương pháp mới hiệu quả hơn về khả năng:

- Điều khiển vùng gia nhiệt.
- Nâng cao tốc độ gia nhiệt khuôn.
- Hạn chế tối đa việc thay đổi kết cấu khuôn.
- Phun ép với các sản phẩm dạng thành mỏng với hình dáng phức tạp.
- Tăng độ bền của đường hàn trên sản phẩm nhựa thành mỏng.

### **1.7 Giá trị thực tiễn**

Việc nâng cao chất lượng sản phẩm nhựa, cũng như việc tìm các công nghệ mới nhằm nâng cao chất lượng và sản lượng của sản phẩm nhựa đang là một trong những yêu cầu cấp thiết cho ngành nhựa tại Việt Nam. Do đó, đề tài “*Nghiên cứu ảnh hưởng của gia nhiệt khuôn phun ép bằng khí nóng đến độ bền sản phẩm nhựa dạng thành mỏng*” được đề xuất nhằm góp phần nâng cao chất lượng sản phẩm nhựa kỹ thuật, đặc biệt với nhóm sản phẩm được sản xuất từ công nghệ phun ép.

### **1.8 Mục đích nghiên cứu**

Thông qua phương pháp gia nhiệt cho khuôn phun ép bằng khí nóng từ bên ngoài, đề tài sẽ tập trung nghiên cứu các mục tiêu sau:

- Làm rõ ảnh hưởng của các thông số chính đến quá trình gia nhiệt bằng khí cho khuôn.
- Tìm ra và đánh giá phương pháp mô phỏng quá trình gia nhiệt khuôn.
- Đánh giá kết quả gia nhiệt cho lòng khuôn bằng khí nóng.
- Ứng dụng phương pháp gia nhiệt cho lòng khuôn bằng khí nóng trong việc nâng cao độ bền của sản phẩm nhựa dạng thành mỏng.

### **1.9 Đối tượng nghiên cứu**

Luận án nghiên cứu mô hình gia nhiệt bằng khí nóng mang tính khả thi cho khuôn phun ép nhựa với nguồn khí nóng được phun từ ngoài khuôn. Từ đó, nghiên cứu ảnh hưởng của gia nhiệt bằng phương pháp này đến sản phẩm nhựa nhiệt dẻo thành mỏng theo tiêu chuẩn ASTM D638.

### **1.10 Nhiệm vụ nghiên cứu và giới hạn đề tài**

- Luận án chỉ tập trung vào phương pháp nghiên cứu gia nhiệt bằng khí nóng với nguồn khí được cấp từ ngoài khuôn.

- Quá trình gia nhiệt, nhiệt độ và trường nhiệt độ được khảo sát thông qua thực nghiệm và mô phỏng bằng phần mềm ANSYS.

- Quá trình phun ép nhựa vào lòng khuôn được nghiên cứu thông qua thực nghiệm và mô phỏng bằng phần mềm Moldex3D.
- Nhiệt độ khí nóng thay đổi trong khoảng 200 °C đến 400 °C.
- Nghiên cứu ứng dụng cho mô hình sản phẩm nhựa thành mỏng có chiều dày từ 0,4 mm đến 0,8 mm.
- Vật liệu nhựa được nghiên cứu là PA6 và PA6+30%GF.
- Trong giới hạn thời gian và kinh phí của luận án nên tác giả chỉ tập trung nghiên cứu độ bền kéo của sản phẩm nhựa.
- Các thiết bị thí nghiệm được cung cấp bởi phòng thí nghiệm khuôn mẫu thuộc trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp. HCM.

### **1.11 Phương pháp nghiên cứu**

- Thu thập và phân tích dữ liệu.
- Mô phỏng quá trình gia nhiệt và quá trình nhựa điền đầy lòng khuôn.
- Thực nghiệm quá trình gia nhiệt và tạo các mẫu sản phẩm ứng với các qui trình phun ép để khảo sát ảnh hưởng của bước gia nhiệt lòng khuôn đến độ bền kéo sản phẩm nhựa thành mỏng.

Các phương pháp nghiên cứu được thực hiện trên cơ sở các trang thiết bị hiện có tại trường ĐH Sư Phạm Kỹ Thuật Tp.HCM như: máy phun ép nhựa, thiết bị đo nhiệt (camera hồng ngoại, cảm biến nhiệt,...) và các loại khuôn phun ép thông dụng tại Việt Nam.

### **1.12 Bố cục luận án**

Chương 1: Tổng quan - *Trình bày các vấn đề liên quan đến các hướng nghiên cứu về công nghệ phun ép nhựa, các vấn đề còn tồn tại và đưa ra hướng nghiên cứu.*

Chương 2: Cơ sở lý thuyết - *Tập trung làm rõ các vấn đề liên quan đến quá trình gia nhiệt cho lòng khuôn phun ép nhựa bằng khí nóng phun từ bên ngoài.*

Chương 3: Mô tả mô phỏng và thực nghiệm - *Quá trình gia nhiệt khuôn bằng khí nóng bên ngoài khuôn, quá trình nhựa điền đầy lòng khuôn và các thiết bị sử dụng cho thực nghiệm được mô tả cụ thể.*

Chương 4: Ảnh hưởng của thông số gia nhiệt đến phân bố nhiệt độ bề mặt lòng khuôn - *Chương này sẽ cho thấy ảnh hưởng của các thông số gia nhiệt (gồm bề dày tấm insert và khe hở (khoảng cách) giữa đầu phun khí nóng và bề mặt lòng khuôn) đến kết quả gia nhiệt bằng khí nóng.*

Chương 5: Ảnh hưởng của phương pháp gia nhiệt bằng khí nóng đến độ bền sản phẩm nhựa dạng thành mỏng - *Ảnh hưởng của phương pháp gia nhiệt đến độ bền kéo của sản phẩm nhựa dạng thành mỏng sẽ được nghiên cứu bằng mô phỏng và thực nghiệm.*

Chương 6: Kết luận

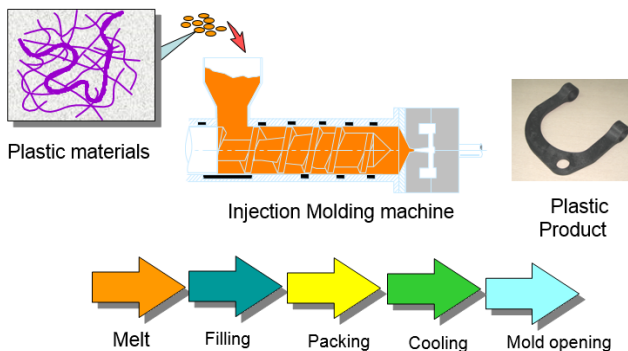
## Chương 2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

Quá trình thiết kế các thí nghiệm, cũng như phân tích các kết quả của đề tài sẽ được tiến hành trên cơ sở các lý thuyết sau:

- Qui trình phun ép nhựa.
- Mô phỏng dòng chảy của nhựa trong khuôn.
- Dòng chảy nhựa trong chi tiết dạng tấm/hộp.
- Truyền nhiệt đối lưu.
- Dòng chảy nhựa Fountain Flow.
- Ảnh hưởng của lớp bề mặt “Frozen layer” trong quá trình điền đầy lòng khuôn của nhựa.
- Độ bền kéo theo tiêu chuẩn ASTM D638.

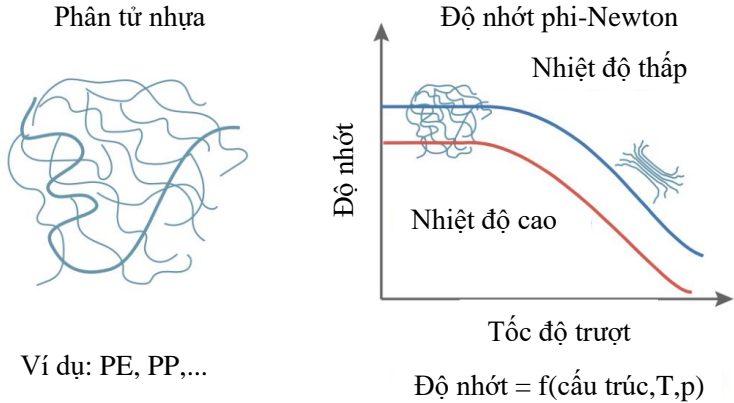
### 2.1 Qui trình phun ép nhựa

Các bước cơ bản của quy trình phun ép được trình bày như hình 2.1. Vật liệu thô dạng hạt được cho vào phễu và rơi vào xi lanh. Trong xi lanh, với chuyển động xoay và tịnh tiến của vít-me, kết hợp với các điện trở gia nhiệt bên ngoài xi lanh, vật liệu nhựa từ dạng hạt sẽ được gia nhiệt đến trạng thái dẻo và nóng chảy thành dạng lỏng ở nhiệt độ từ 150 °C đến 320 °C. Thông qua chuyển động tịnh tiến của vít-me, nhựa nóng chảy trong xi lanh sẽ được ép vào lòng khuôn thông qua đầu phun (nozzle). Tại vị trí cổng phun, nhựa hoàn toàn ở thể lỏng. Sau khi toàn bộ lòng khuôn được điền đầy, quá trình định hình (packing step) sẽ tiến hành. Trong quá trình này, nhựa sẽ tiếp tục được ép vào lòng khuôn nhằm bù vào phần thể tích bị thiếu hụt do hiện tượng co ngót vật liệu. Quá trình định hình sẽ kết thúc khi vật liệu nhựa tại vị trí cổng phun đông đặc hoàn toàn. Sau đó, nhiệt độ của sản phẩm sẽ tiếp tục giảm qua quá trình giải nhiệt (cooling step). Khi toàn bộ sản phẩm đạt đến nhiệt độ mở khuôn (rejection temperature), khuôn sẽ mở ra và sản phẩm sẽ được lấy ra ngoài.

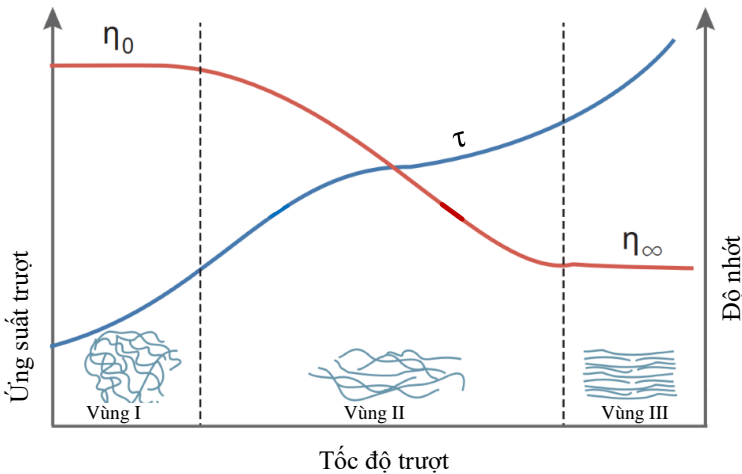


**Hình 2.1:** Quy trình phun ép nhựa

## 2.2 Mô phỏng dòng chảy nhựa trong khuôn



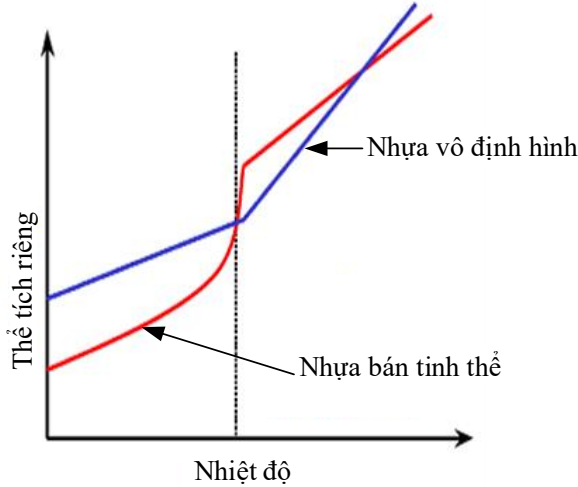
**Hình 2.2:** Cấu trúc phân tử (bên trái) và độ nhớt của nhựa (bên phải)



**Hình 2.3:** Đường đặc tính dẻo của nhựa nhiệt dẻo

Độ nhớt là mối quan hệ giữa sự cản trở dòng chảy đến sự chảy của lưu chất. Độ nhớt của lưu chất như: nước, dầu,... thường là một giá trị không đổi ở một nhiệt độ nhất định. Các loại lưu chất này hầu như tuân theo lý thuyết về lưu chất của Newton. Tuy nhiên, độ nhớt của các nhựa nhiệt dẻo thì rất phức tạp và phi Newton [109]. Không giống như những chất dẻo thông thường khác, độ nhớt của các nhựa nhiệt dẻo phụ thuộc

vào cấu trúc hoá học, nhiệt độ (T) và áp suất (p) của chúng như hình 2.2. Ứng với một cấu trúc và công thức hoá học cho trước, độ nhớt của các nhựa nhiệt dẻo phụ thuộc chủ yếu vào nhiệt độ, tốc độ trượt (shear rate) và áp suất. Để hiểu bản chất độ nhớt của nhựa nhiệt dẻo, cần định nghĩa rõ ứng suất trượt và tốc độ trượt như hình 2.3.

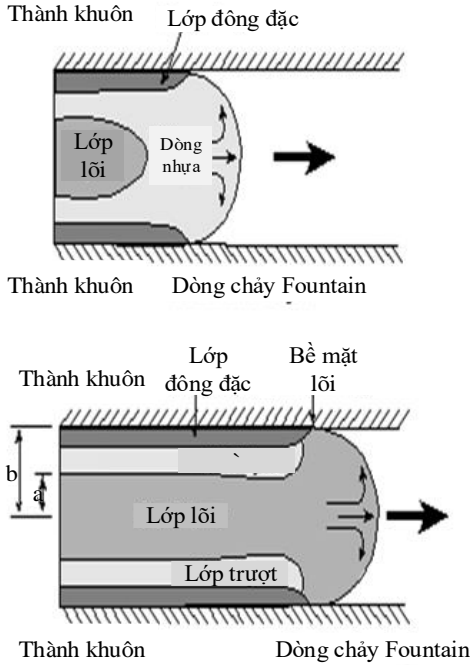


**Hình 2.4:** Sự phụ thuộc của thể tích riêng vào áp suất và nhiệt độ ứng với nhựa vô định hình và bán kết tinh

### 2.3 Ảnh hưởng lớp bề mặt “frozen-layer” đến dòng chảy nhựa

Trong quá trình nhựa điền đầy lòng khuôn, do ảnh hưởng của quá trình truyền nhiệt giữa nhựa nóng và lòng khuôn, lớp bề mặt của dòng chảy nhựa sẽ bị mất nhiệt, giảm nhiệt độ. Do đó, tại bề mặt tiếp xúc giữa nhựa và lòng khuôn sẽ hình thành lớp nguội (Frozen layer). Chính hiện tượng đông đặc nhanh này, dòng chảy nhựa sẽ có những đặc điểm không giống như dòng chảy thông thường. Trong lĩnh vực phun ép nhựa, dòng chảy nhựa trong lòng khuôn tuân thủ theo các tính chất của dòng chảy Fountain Flow với các đặc điểm như: Phần nhựa tại tâm dòng chảy sẽ chảy nhanh hơn phần nhựa gần với lòng khuôn. Trong đó, tại vị trí tiếp xúc với lòng khuôn, nhựa được xem như không chảy. Nhựa tại đầu dòng chảy được ép về phía trước và bị cuốn về phía lòng khuôn (hình 2.5).

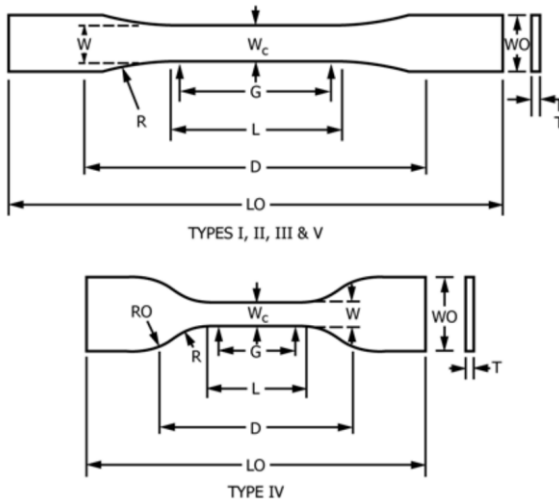
Kết quả của hiện tượng này là: trong quá trình nhựa điền đầy lòng khuôn, phần nhựa được ép vào lòng khuôn trước tiên sẽ bị cuốn về phía lòng khuôn trước, hiện tượng này xảy ra liên tục đến khi nhựa đã điền đầy hoàn toàn lòng khuôn.



**Hình 2.5:** Dòng chảy của nhựa trong khuôn

## 2.4 Kiểm tra độ bền kéo

### 2.4.1 Tiêu chuẩn độ bền kéo ASTM D638



**Hình 2.6:** Mẫu thử kéo theo tiêu chuẩn ASTM D638

Tiêu chuẩn ASTM D638 như hình 2.6 là tiêu chuẩn phổ biến để xác định cơ tính của vật liệu nhựa nhiệt dẻo dưới tác dụng của lực kéo. Quá trình thử nghiệm theo tiêu chuẩn này được thực hiện bằng cách tác dụng lực kéo lên mẫu thử và xác định các đặc tính khác nhau của mẫu thử khi chịu ứng suất kéo.

Có rất nhiều phương pháp thử nghiệm khác nhau cho mẫu thử được chế tạo từ vật liệu nhựa nhiệt dẻo. Trong đó, tiêu chuẩn ASTM D638 được ưu tiên sử dụng cho các mẫu thử có dạng thành mỏng.

**Bảng 2.1:** Thông số kích thước mẫu thử [108]

Thông số kích thước mẫu thử tương ứng với các bề dày (đơn vị mm)						
	Bề dày 7 mm		Bề dày 7 đến 14mm	Bề dày ≤ 4 mm		
	Loại I	Loại II	Loại III	Loại IV	Loại V	Dung sai
W (WC)	13	6	19	6	3.18	±0.5
L	57	57	57	33	9.53	±0.5
WO	19	19	29	19	...	+6.4
LO	165	183	246	115	63.5	Không giới hạn trên
G	50	50	50	...	7.62	±0.25
D	115	135	115	65	25.4	±5
R	76	76	76	14	12.7	±1
RO	...	...	...	25	...	±1

#### 2.4.2 Công thức tính độ bền kéo

Độ bền kéo là đặc tính chịu kéo lớn nhất của mẫu thử và được xác định theo công thức sau:

$$\sigma_t = \frac{F_{max}}{A}$$

Trong đó:  $\sigma_t$  là độ bền kéo cần tìm (MPa)

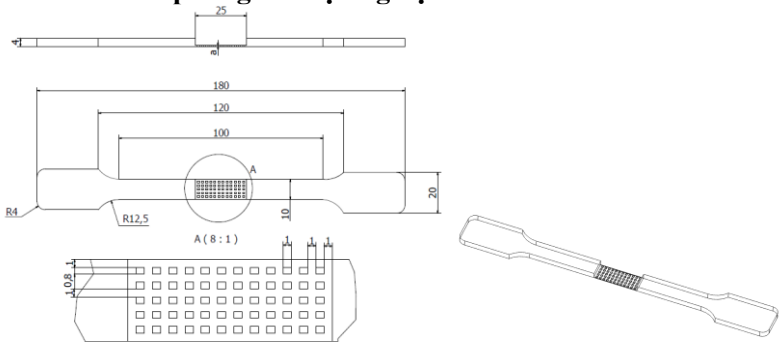
$F_{max}$  là lực kéo lớn nhất (N)

A là diện tích mặt cắt ngang ban đầu của mẫu thử (mm<sup>2</sup>)

### Chương 3. MÔ TẢ MÔ PHỎNG VÀ THỰC NGHIỆM

Trong chương này, quá trình gia nhiệt khuôn bằng khí nóng bên ngoài khuôn, quá trình nhựa điền đầy lòng khuôn và các thiết bị sử dụng cho thực nghiệm được mô tả cụ thể. Hiện nay, qui trình phun ép nhựa có sự hỗ trợ của bước gia nhiệt bằng khí nóng là một trong những qui trình mới, do đó, các phần mềm chuyên về mô phỏng khuôn mẫu như Moldex3D hoặc Moldflow chưa hoàn thiện các module này. Vì vậy, để hoàn thành các mục tiêu đề ra, luận án sẽ sử dụng phần mềm ANSYS để phân tích quá trình gia nhiệt bằng khí nóng cho khuôn, sau đó, để làm rõ quá trình nhựa điền đầy khuôn, phần mềm Moldex3D sẽ được sử dụng cho quá trình phân tích dòng chảy nhựa, cũng như áp suất nhựa trong quá trình điền đầy.

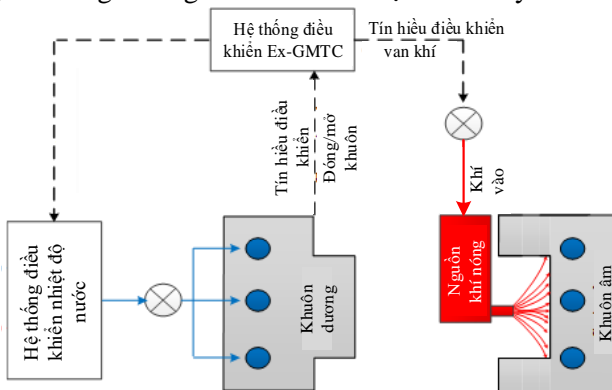
#### 3.1. Mô hình mẫu mô phỏng và thực nghiệm



**Hình 3.1:** Hình dạng và kích thước của mẫu mô phỏng và thực nghiệm

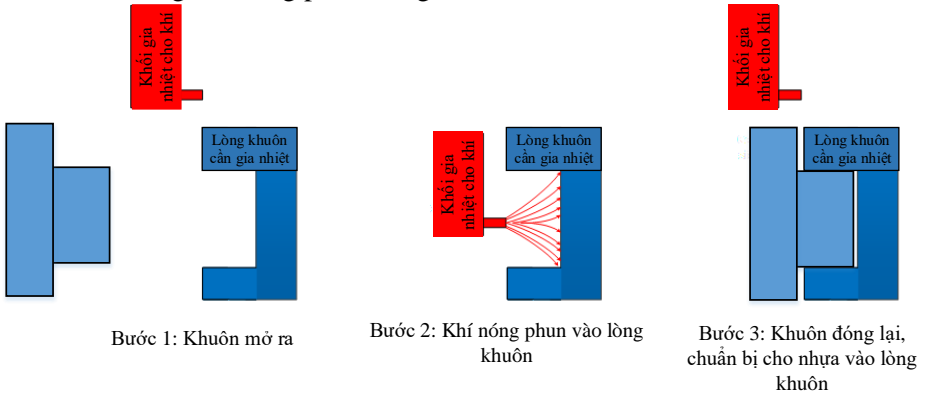
#### 3.2. Quá trình gia nhiệt khuôn có hỗ trợ của khí nóng

Các bước cơ bản của quy trình phun ép nhựa có hỗ trợ gia nhiệt khuôn bằng khí nóng bên ngoài khuôn đã được trình bày như hình 3.2.



**Hình 3.2:** Hệ thống Ex-GMTC

Trong nghiên cứu này, khí nóng sẽ được sử dụng như nguồn nhiệt nhằm nâng nhiệt độ tại bề mặt khuôn. Hình 3.3 trình bày các bước gia nhiệt cho khuôn bằng khí nóng phun từ ngoài.

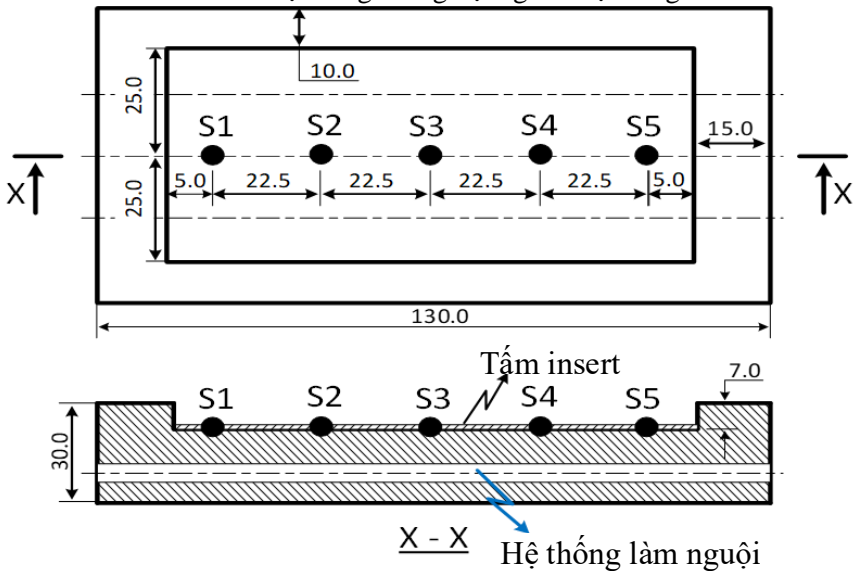


**Hình 3.3:** Khuôn và khối gia nhiệt cho khí trong bước gia nhiệt cho lòng khuôn

Hình 3.4 trình bày vị trí tương đối của hệ thống gia nhiệt bằng khí và khuôn khi được lắp trên máy phun ép nhựa. Trong luận án này, khối gia nhiệt cho khí có kích thước 240 mm x 100 mm x 40 mm (hình 3.4). Trong thiết bị này, các kênh dẫn khí rộng 5 mm, sâu 10 mm được gia công để tạo môi trường gia nhiệt cho khí. Vùng gia nhiệt trên khuôn được thiết kế với chi tiết tấm insert có kích thước 100 mm x 50 mm. Để đánh giá khả năng gia nhiệt của phương pháp Ex-GMTC, 5 cảm biến nhiệt được lắp tại bề mặt khuôn để thu thập các giá trị nhiệt độ thay đổi trong suốt quá trình gia nhiệt. Trong các nghiên cứu trước đây về lĩnh vực gia nhiệt bề mặt khuôn, thiết kế khuôn với bộ phận tấm insert thường được sử dụng nhằm tăng hiệu suất của quá trình gia nhiệt. Các nghiên cứu này cho thấy chiều dày của tấm insert là một trong những thông số quan trọng, có ảnh hưởng lớn đến kết quả gia nhiệt cho khuôn. Vị trí tương đối của khuôn, tấm insert và các cảm biến được trình bày như hình 3.6. Trong suốt quá trình thực nghiệm và mô phỏng về ảnh hưởng của các thông số gia nhiệt, vị trí của các chi tiết được giữ như hình 3.7.

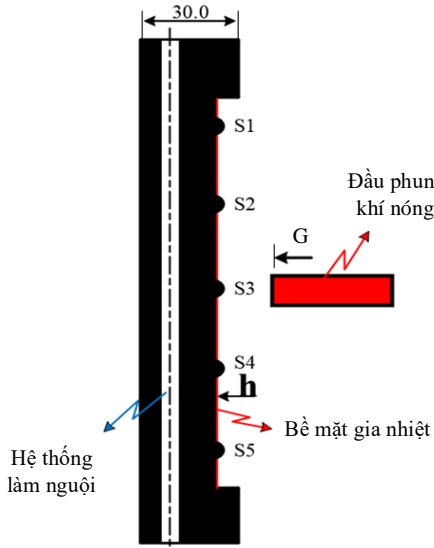


**Hình 3.4:** Hệ thống thí nghiệm gia nhiệt bằng khí



**Hình 3.5:** Vị trí cảm biến, tấm insert so với khuôn

G: Khe hở giữa đầu phun khí và bề mặt tấm insert  
 h: Bề dày tấm insert



X - X Đơn vị: mm

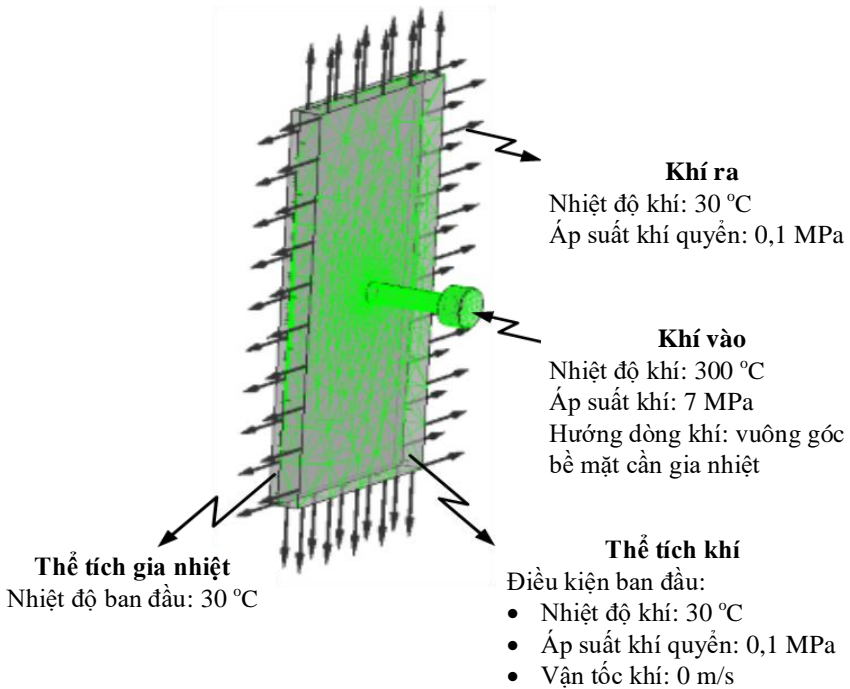
**Hình 3.6:** Vị trí gia nhiệt của đầu phun

Tương tự như các nghiên cứu trước đây, mô hình mô phỏng trong luận án này chỉ bao gồm hai phần chính: thể tích tấm insert và thể tích không khí. Mô hình mô phỏng được tiến hành chia lưới như hình 3.8. Các điều kiện biên được trình bày như hình 3.9, và các thông số mô phỏng.

**Bảng 3.1:** Đặc tính vật liệu mô phỏng quá trình gia nhiệt bề mặt khuôn

Vật liệu	Tên	Đơn vị	Giá trị
Khí	Khối lượng phân tử	kg/kmol	28.96
	Khối lượng riêng	kg/m <sup>3</sup>	1.185
	Nhiệt dung riêng	J/kgK	1004.4
	Độ nhớt động lực học	kg/ms	1.831e-5
	Hệ số dẫn nhiệt	W/mK	0.0261
Thép	Khối lượng phân tử	kg/kmol	55.85
	Khối lượng riêng	kg/m <sup>3</sup>	7854

	Nhiệt dung riêng	J/kg K	434
	Hệ số dẫn nhiệt	W/mK	60.5



**Hình 3.7:** Điều kiện ban đầu của quá trình mô phỏng

### 3.3 Quá trình nhựa điền đầy lòng khuôn

Nhằm giúp người vận hành có thể lựa chọn bộ thông số thích hợp, luận án này sẽ nghiên cứu và đưa ra qui trình mô phỏng quá trình phun ép có sử dụng bước gia nhiệt cho lòng khuôn.



**Hình 3.8:** Lưu đồ thực hiện quá trình mô phỏng

### 3.4 Quá trình thực nghiệm

Tiến hành thực nghiệm qua hai giai đoạn:

- ✓ Giai đoạn 1: Thực nghiệm gia nhiệt lòng khuôn để đánh giá khả năng gia nhiệt bằng khí nóng phun từ ngoài
- ✓ Giai đoạn 2: Các bước thực nghiệm:
  - Bước 1: Thực nghiệm gia nhiệt lòng khuôn mẫu thử ASTM D638 để chụp phân bố trường nhiệt độ lòng khuôn bằng camera nhiệt nhằm đánh giá sự phân bố nhiệt độ và giá trị nhiệt độ đạt được.
  - Bước 2: Chọn các giá trị nhiệt độ khuôn, tiến hành phun ép sản phẩm mẫu thử ASTM D638 trên máy phun ép nhựa SW-120B nhằm chế tạo các mẫu thử.
  - Bước 3: Mang mẫu thử đã phun ép tiến hành thử kéo để đánh giá ảnh hưởng của phương pháp gia nhiệt bằng khí nóng từ ngoài khuôn đến độ bền sản phẩm nhựa dạng thành mỏng.

Quá trình thực nghiệm được tiến hành tại phòng thí nghiệm khuôn mẫu thuộc Khoa cơ khí chế tạo máy – Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp. HCM với các vật liệu PA6 và PA6+30%GF và các thiết bị như sau:

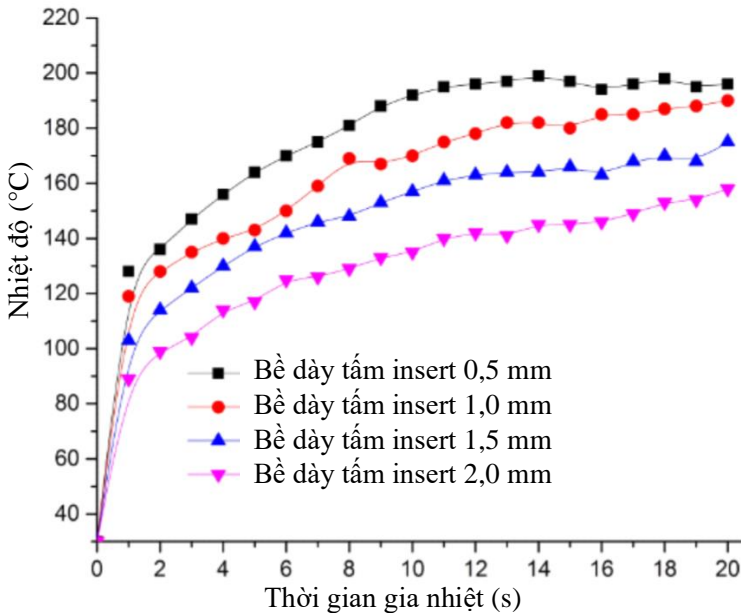
- Máy ép nhựa Shinewell – 120B (SW-120B)
- Tay máy gia nhiệt
- Bộ khuôn thí nghiệm
- Camera đo nhiệt độ
- Cảm biến đo nhiệt độ tiếp xúc
- Máy thử độ bền kéo

## Chương 4. ẢNH HƯỞNG CỦA THÔNG SỐ GIA NHIỆT ĐẾN PHÂN BỐ NHIỆT ĐỘ BỀ MẶT LÒNG KHUÔN

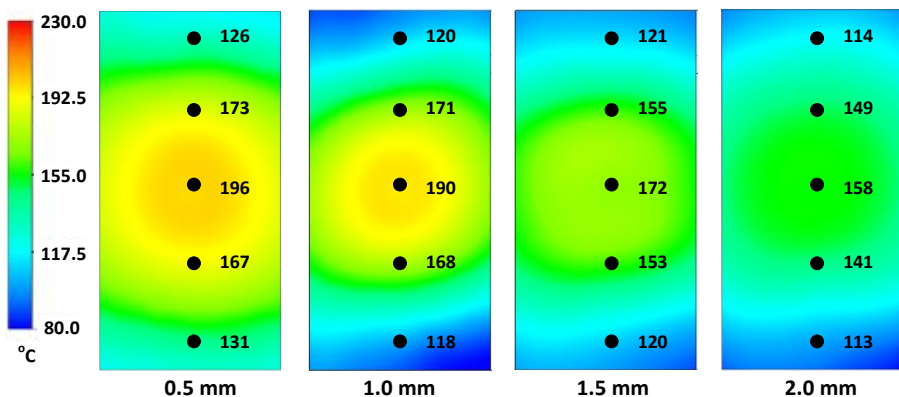
Thông qua quá trình nghiên cứu, chương này sẽ cho thấy ảnh hưởng của các thông số gia nhiệt (gồm bề dày tấm insert và khe hở (khoảng cách) giữa đầu phun khí nóng và bề mặt lòng khuôn) đến kết quả gia nhiệt bằng khí nóng. Trong quá trình nghiên cứu, các giá trị nhiệt độ khí nóng khác nhau cũng sẽ được sử dụng. Ngoài ra, kết quả gia nhiệt cũng sẽ được đánh giá thông qua số liệu về tốc độ gia nhiệt và phân bố nhiệt độ của bề mặt lòng khuôn.

### 4.1 Ảnh hưởng của chiều dày tấm insert đến quá trình gia nhiệt

Với các thông số thí nghiệm này, cảm biến sẽ thu thập giá trị nhiệt độ của bề mặt khuôn với thời gian gia nhiệt là 20 s ứng với các chiều dày khác nhau của tấm insert. Các kết quả này được trình bày như hình 4.1 và hình 4.2. Thực nghiệm này được lập lại với 4 loại chiều dày khác nhau của tấm insert. Kết quả nhiệt độ từ cảm biến S3 cho thấy tốc độ gia nhiệt là 8,3 °C/s, 8,0 °C/s, 7,1 °C/s and 6,4 °C/s tương ứng với các chiều dày 0,5 mm, 1,0 mm, 1,5 mm, and 2,0 mm. Kết quả này cho thấy với các tấm insert có chiều dày càng lớn, tốc độ gia nhiệt sẽ giảm do cần nhiều nhiệt năng hơn để nâng nhiệt độ của thể tích tấm gia nhiệt.

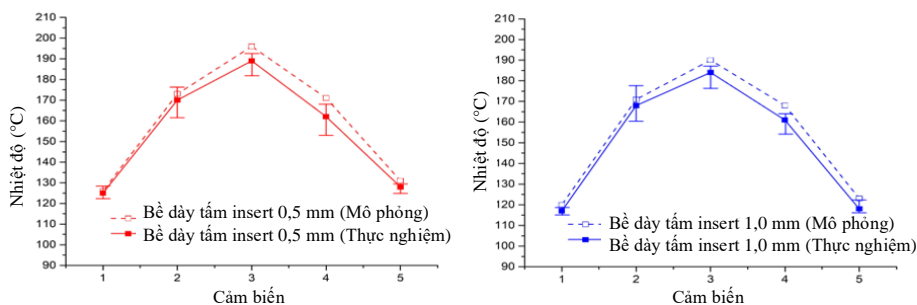


**Hình 4.1:** Nhiệt độ tại cảm biến S3 với các chiều dày của tấm insert.

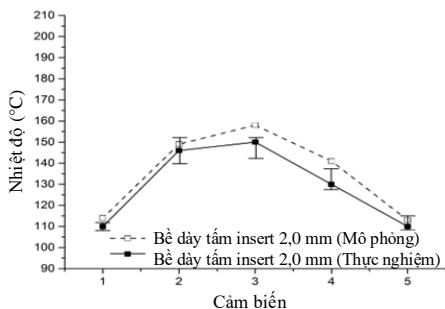
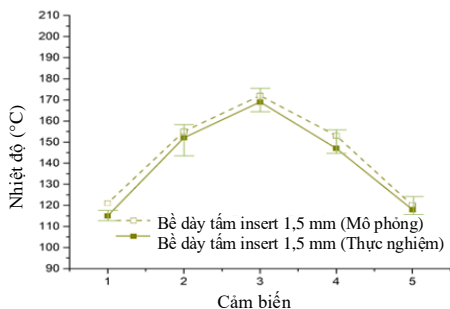


**Hình 4.2:** Phân bố nhiệt độ tại bề mặt tấm insert với nhiệt độ ban đầu là 30 °C, nhiệt độ khí là 300 °C tại áp suất phun 7 bar, thời gian gia nhiệt là 20 s.

Để đánh giá độ chính xác của kết quả mô phỏng, quá trình thực nghiệm đã được tiến hành với các thông số và điều kiện biên như quá trình mô phỏng. Các thực nghiệm này được tiến hành 10 lần cho mỗi trường hợp chiều dày tấm insert, và giá trị trung bình về nhiệt độ tại các cảm biến được thu thập, tính toán và so sánh với kết quả mô phỏng như hình 4.3 và hình 4.4. Nhìn chung, sai lệch giữa kết quả mô phỏng và thực nghiệm dưới 10 °C. Sự sai lệch này có thể do trong quá trình thực nghiệm, giá trị nhiệt độ đo được tại các cảm biến có độ trễ so với trường hợp mô phỏng, đặc biệt trong trường hợp gia nhiệt cho bề mặt lòng khuôn, nhiệt năng sẽ lan truyền rất nhanh đến các vùng có nhiệt độ thấp hơn. Tuy nhiên, nhìn chung kết quả mô phỏng và kết quả thực nghiệm cho thấy khá phù hợp với nhau.



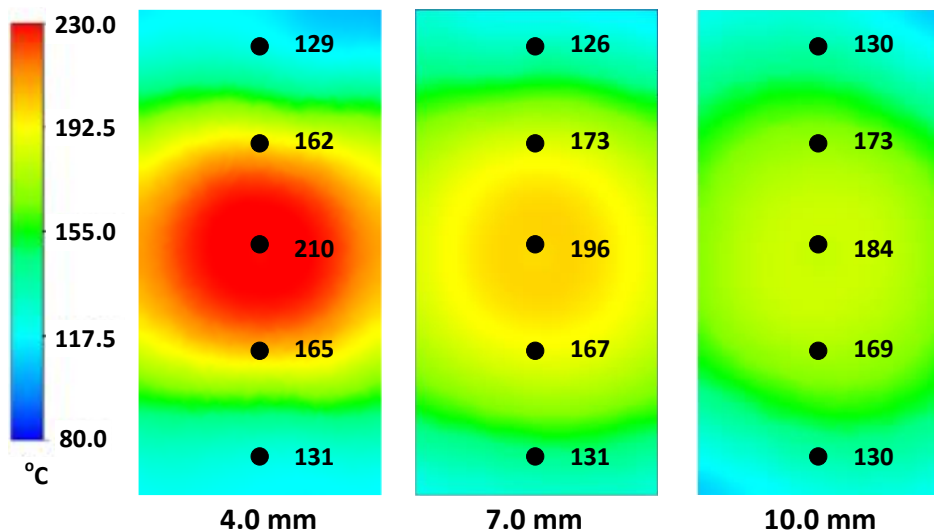
**Hình 4.3:** So sánh kết quả mô phỏng và thực nghiệm với các giá trị nhiệt độ tại đường X – X, bề dày 0,5 mm và 1 mm.



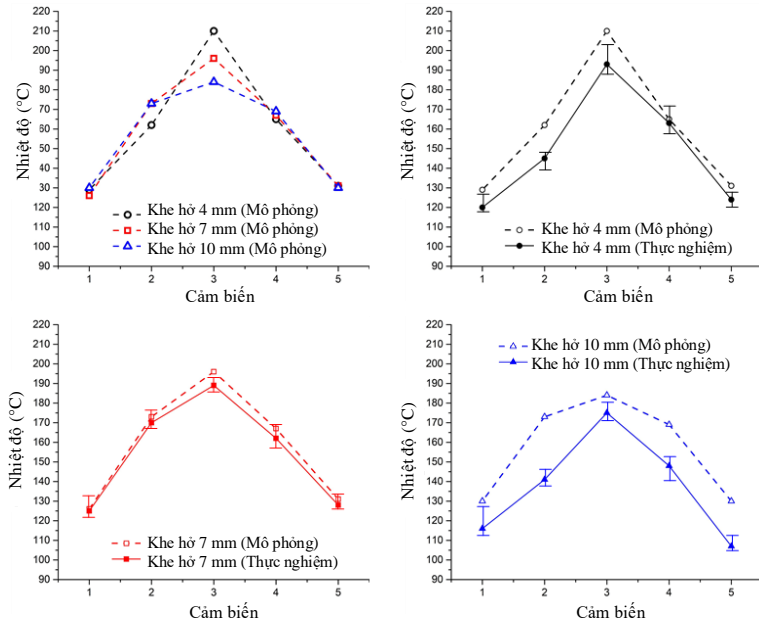
**Hình 4.4:** So sánh kết quả mô phỏng và thực nghiệm với các giá trị nhiệt độ tại đường X – X, bề dày 1,5 mm và 2 mm.

#### 4.2 Ảnh hưởng của khe hở giữa công phun khí nóng và bề mặt khuôn đến quá trình gia nhiệt

Hình 4.5 trình bày phân bố nhiệt độ của tấm insert ứng với các khe hở khác nhau. Kết quả này cho thấy với khe hở càng nhỏ, nhiệt độ sẽ tập trung tại vùng trung tâm của tấm insert, kết quả là vùng trung tâm có nhiệt độ cao hơn và chênh lệch nhiệt độ trên bề mặt tấm insert cũng tăng cao. Kết quả so sánh giữa mô phỏng và thực nghiệm được trình bày như hình 4.6.



**Hình 4.5:** Phân bố nhiệt độ của tấm insert với khe hở thay đổi từ 4 mm đến 10 mm, thời gian gia nhiệt là 20 s và tấm insert có chiều dày 0,5 mm.



**Hình 4.6:** Kết quả so sánh nhiệt độ tại đường X – X giữa mô phỏng và thực nghiệm ứng với các khe hở khác nhau.

### 4.3 Kết luận

- Chiều dày của tấm insert có ảnh hưởng lớn đến tốc độ gia nhiệt, cũng như phân bố nhiệt độ trên bề mặt lòng khuôn. Các giá trị thực nghiệm và mô phỏng cho thấy tốc độ gia nhiệt cao sẽ đạt được với các tấm insert mỏng, trong khi đó, các tấm insert dày sẽ cho phân bố nhiệt độ đồng đều hơn.

- Khe hở giữa đầu phun khí nóng và bề mặt khuôn cũng có ảnh hưởng đến tốc độ và phân bố nhiệt độ. Với khe hở nhỏ, tốc độ gia nhiệt sẽ cao, nhưng chênh lệch nhiệt độ sẽ lớn hơn. Ngược lại, với khe hở lớn, nhiệt độ sẽ phân bố đều hơn.

- Quá trình mô phỏng cũng cho thấy phương pháp gia nhiệt bằng khí nóng phun từ ngoài có thể được tiến hành phân tích trước, nhằm chọn được các thông số tối ưu tùy thuộc vào hình dạng sản phẩm và kết cấu khuôn phun ép.

- So với các phương pháp điều khiển nhiệt độ khuôn trong những năm gần đây, kết quả nghiên cứu của chương này cho thấy phương pháp gia nhiệt bằng khí nóng từ ngoài khuôn đã khắc phục được những tồn tại của một số phương pháp hiện có.

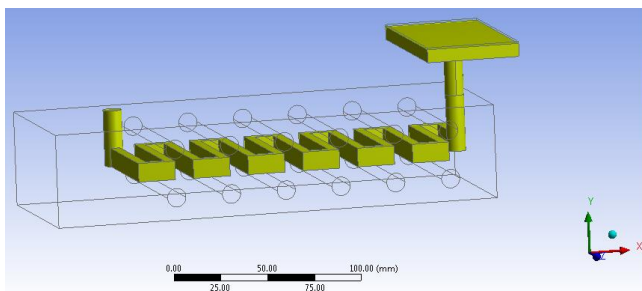
## Chương 5. ẢNH HƯỞNG CỦA PHƯƠNG PHÁP GIA NHIỆT BẰNG KHÍ NÓNG ĐẾN ĐỘ BỀN SẢN PHẨM NHỰA DẠNG THÀNH MỎNG

Trong chương này, ảnh hưởng của phương pháp gia nhiệt đến độ bền kéo của sản phẩm nhựa dạng thành mỏng sẽ được nghiên cứu bằng mô phỏng và thực nghiệm thông qua các nội dung chính như sau:

- Quá trình gia nhiệt cho lòng khuôn sẽ được tiến hành mô phỏng và thực nghiệm cho lòng khuôn phun ép mẫu sản phẩm có thành mỏng. Trong luận án này, vật liệu làm tấm insert cho khuôn được sử dụng là nhôm (Al) nhằm giúp quá trình hấp thụ nhiệt và truyền nhiệt được tốt hơn so với các vật liệu thông dụng khác trong ngành khuôn mẫu.
- Quá trình phun ép sản phẩm nhựa thành mỏng được tiến hành mô phỏng nhằm khảo sát ảnh hưởng của nhiệt độ khuôn đến áp suất định hình của sản phẩm.
- Hiện nay, vật liệu nhựa PA6 và PA6+30%GF là một trong những vật liệu phổ biến trong lĩnh vực khuôn mẫu, vì vậy, quá trình thử độ bền kéo của sản phẩm từ các vật liệu này được tiến hành và các kết quả được so sánh nhằm quan sát khả năng nâng cao độ bền cho sản phẩm dạng thành mỏng khi lòng khuôn được gia nhiệt.

### 5.1 Mô phỏng quá trình gia nhiệt cho lòng khuôn.

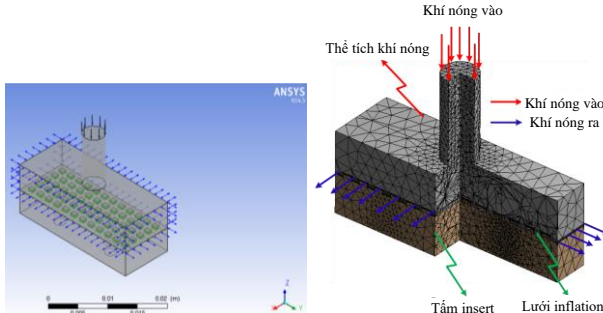
Quá trình gia nhiệt cho tấm insert bằng khí nóng được tiến hành thông qua việc mô phỏng bằng phần mềm ANSYS CFX với mô hình như hình 5.1.



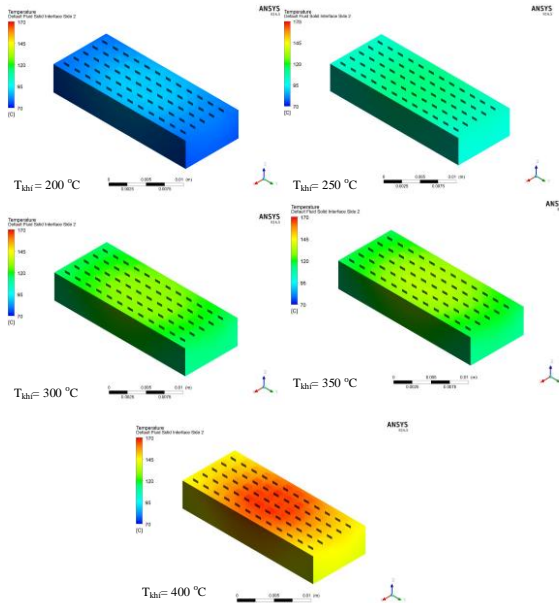
**Hình 5.1:** Mô hình mô phỏng quá trình gia nhiệt cho tấm insert bằng khí nóng

Mô hình mô phỏng và mô hình lưới được trình bày như hình 5.2. Với mô hình này, quá trình mô phỏng được tiến hành tương tự như mô hình trong Chương 4 với các thông số mô phỏng như bảng 5.1. Tuy nhiên, điều kiện biên được cài đặt như hình 5.2. Trong mô hình phun ép thanh thử độ bền kéo, vì vùng gia nhiệt cho khuôn nhỏ, do đó, chỉ hiệu suất gia nhiệt cho

khuôn được đánh giá thông qua giá trị nhiệt độ cao nhất tại vùng trung tâm của tấm insert. Hình 5.4 cho thấy đáp ứng nhiệt của mô hình ở các mức nhiệt độ dòng khí gia nhiệt khác nhau (thay đổi từ 200 °C đến 400 °C) trong cùng một khoảng thời gian gia nhiệt là 20 s. Các kết quả này cho thấy nhiệt độ cao tập trung tại bề mặt của tấm insert, tại vị trí tạo kết cấu dạng lưới cho sản phẩm nhựa.



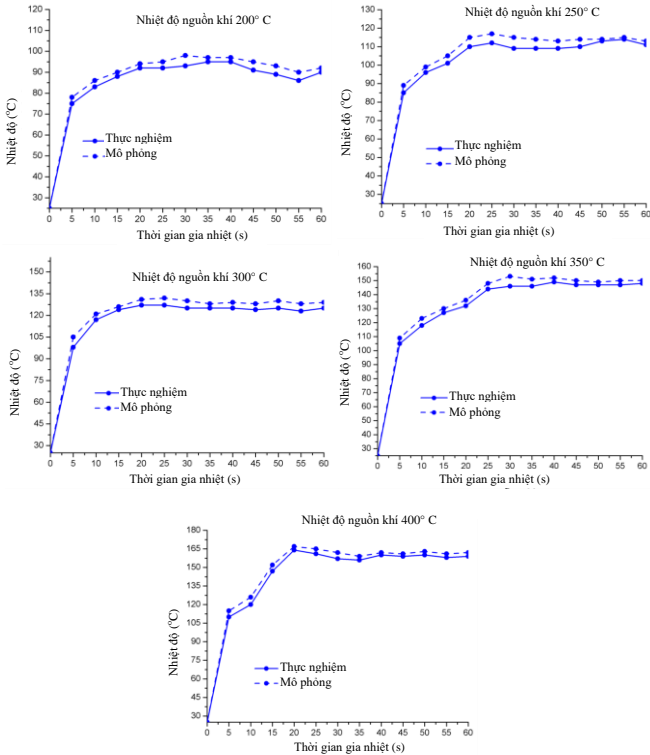
**Hình 5.2:** Mô hình sau khi chia lưới phần được gia nhiệt thành thử độ bền kéo



**Hình 5.3:** Phân bố nhiệt độ tại tấm insert với thời gian gia nhiệt 20 s

Giá trị mô phỏng sự thay đổi nhiệt độ tại bề mặt tấm insert được thu thập và so sánh như hình 5.4. Kết quả mô phỏng cho thấy ứng với các

giá trị nhiệt độ của dòng khí nóng, nhiệt độ của bề mặt lòng khuôn sẽ tăng rất nhanh trong 5 s đầu tiên của quá trình gia nhiệt. Sau đó, trong 10 s tiếp theo, nhiệt độ tại bề mặt khuôn sẽ tăng chậm lại. Khi nhiệt độ của dòng khí nóng thay đổi từ 200 °C đến 400 °C, sau 20 s, nhiệt độ của bề mặt khuôn sẽ duy trì ổn định.

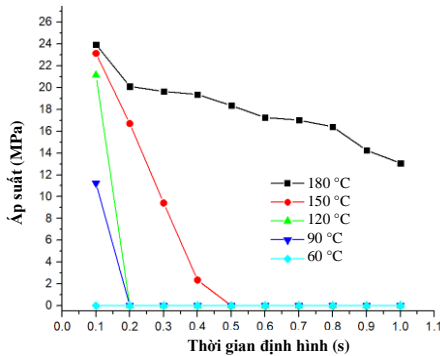


**Hình 5.4:** Nhiệt độ tại tâm tấm insert với thời gian gia nhiệt 20 s

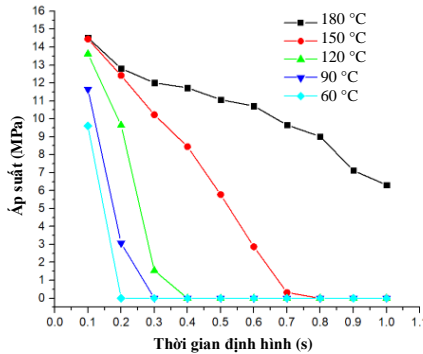
## 5.2 Mô phỏng quá trình nhựa điền đầy lòng khuôn với qui trình phun ép có sử dụng bước gia nhiệt bằng khí nóng

Trong các qui trình phun ép nhựa, áp suất tại chu kỳ bão áp (hay áp suất giữ - packing pressure) ảnh hưởng rất lớn đến quá trình tạo hình sản phẩm, cơ tính vật liệu của sản phẩm sau khi ép. Vì vậy, quá trình mô phỏng với các thông số ép không thay đổi, luận án sẽ tiến hành khảo sát sự phân bố áp suất của mẫu thí nghiệm tại chu kỳ bão áp ở 5 nhiệt độ khuôn khác nhau từ 60 °C → 180 °C đối với 2 loại nhựa PA6 và PA6+30%GF.

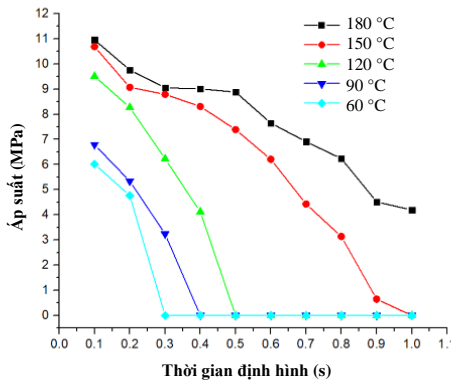
### 5.2.1 Nhựa PA6



**Hình 5.5:** Biểu đồ so sánh sự phân bố áp suất tại lòng khuôn với nhiệt độ khuôn khác nhau của sản phẩm có chiều dày lưới 0,4 mm (nhựa PA6)

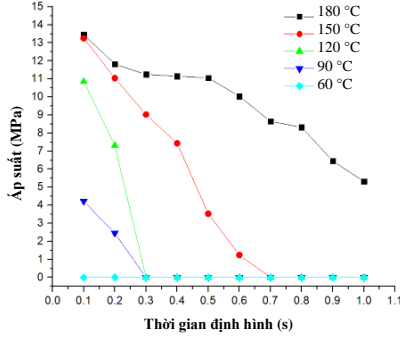


**Hình 5.6:** Biểu đồ so sánh sự phân bố áp suất tại lòng khuôn với nhiệt độ khuôn khác nhau của sản phẩm có chiều dày lưới 0,6 mm (nhựa PA6)

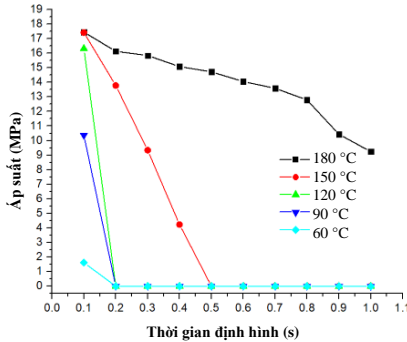


**Hình 5.7:** Biểu đồ so sánh sự phân bố áp suất tại lòng khuôn với nhiệt độ khuôn khác nhau của sản phẩm có chiều dày lưới 0,8 mm (nhựa PA6)

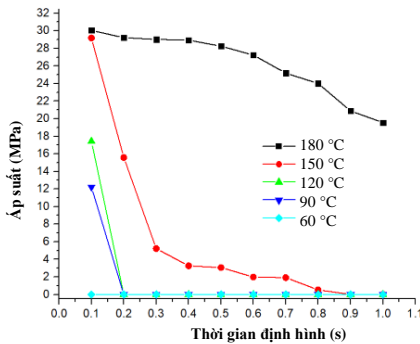
### 5.2.2 Nhựa PA6+30%GF



**Hình 5.8:** Biểu đồ so sánh sự phân bố áp suất tại lòng khuôn với nhiệt độ khuôn khác nhau của sản phẩm có chiều dày lưới 0,4 mm (PA6+30%GF)



**Hình 5.9:** Biểu đồ so sánh sự phân bố áp suất tại lòng khuôn với nhiệt độ khuôn khác nhau của sản phẩm có chiều dày lưới 0,6 mm (PA6+30%GF)



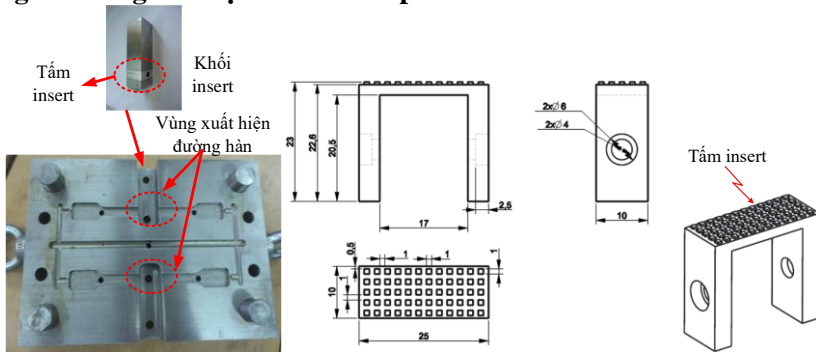
**Hình 5.10:** Biểu đồ so sánh sự phân bố áp suất tại lòng khuôn với nhiệt độ khuôn khác nhau của sản phẩm có chiều dày lưới 0,8 mm (nhựa PA6+30%GF).

### 5.2.3 Nhận xét

Với cùng điều kiện phun ép, khi giá trị nhiệt độ của tấm insert thay đổi từ 60 °C đến 180 °C, sự thay đổi của áp suất định hình theo thời gian được khảo sát thông qua phương pháp mô phỏng bằng phần mềm Moldex3D trong khoảng thời gian 0,1 s đến 1 s ứng với các trường hợp chiều dày sản phẩm khác nhau (thay đổi từ 0,4 mm đến 0,8 mm). Kết quả mô phỏng được so sánh với nhau và các kết luận sau được rút ra:

- Với giá trị áp suất định hình (packing pressure) trình bày như các hình 5.5 đến hình 5.10, có thể thấy độ giảm của áp suất định hình theo thời gian từ 0,1 s đến 1 s. Nhìn chung, các kết quả này cho thấy khi nhiệt độ khuôn càng cao, áp suất định hình sẽ được giữ lâu hơn, giúp nhiều nhựa được ép vào lòng khuôn hơn. Điều này có thể giải thích dựa vào hiện tượng đông đặc của nhựa khi tiếp xúc với lòng khuôn. Khi nhiệt độ khuôn cao, hiện tượng đông đặc có khuynh hướng diễn ra chậm hơn, do đó, nhựa sẽ ở trạng thái lỏng lâu hơn, và kết quả là áp suất tác động tại vị trí đường hàn được giữ ở mức cao trong khoảng thời gian lâu hơn so với trường hợp nhiệt độ khuôn thấp.
- Ngoài ra, khi chiều dày sản phẩm càng nhỏ, áp suất định hình giảm càng nhanh hơn. Điều này là do chiều dày dòng chảy nhựa mỏng, nhiệt lượng truyền ra ngoài sẽ nhanh hơn, và quá trình đông đặc sẽ nhanh hơn so với trường hợp sản phẩm có chiều dày lớn hơn. Tuy nhiên, khi áp dụng bước gia nhiệt cho lòng khuôn, áp suất định hình vẫn có thể được giữ ở mức cao, đặc biệt với trường hợp sản phẩm dày 0,4 mm như hình 5.5 và hình 5.8.
- Kết quả mô phỏng này cũng cho thấy phương pháp gia nhiệt bề mặt lòng khuôn bằng khí nóng có khả năng tác động khá tốt đến sự thay đổi của áp suất định hình. Đây là một trong những cơ sở quan trọng để cải thiện độ bền của sản phẩm phun ép.

### 5.3 Thực nghiệm ảnh hưởng của phương pháp gia nhiệt cho khuôn bằng khí nóng đến độ bền của sản phẩm



**Hình 5.11:** Lòng khuôn cho quá trình thực nghiệm

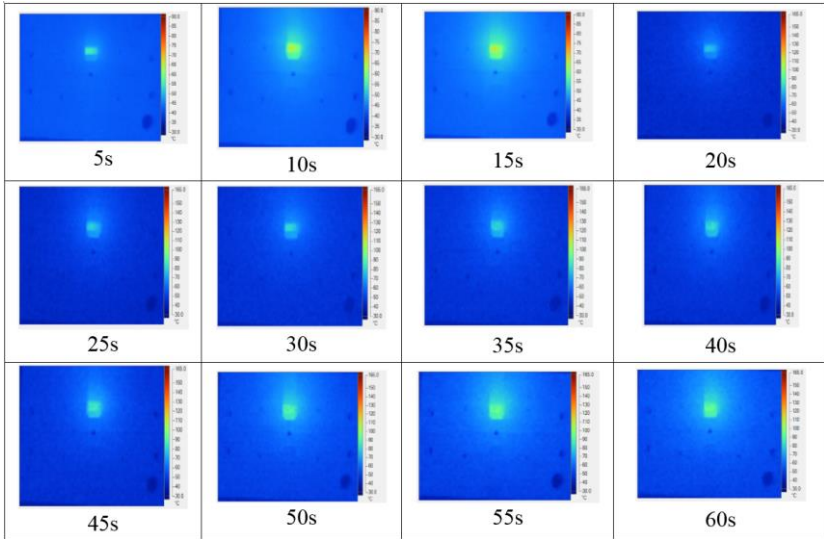
Trong phần này, nhằm kiểm nghiệm các kết quả mô phỏng, cũng như các kết quả về độ bền của sản phẩm, mô hình khuôn với sản phẩm là thanh thử độ bền kéo được sử dụng cho quá trình thực nghiệm. Hình 5.11 trình bày tấm khuôn âm với các kết cấu để lắp tấm insert vào lòng khuôn.

Quá trình thực nghiệm sẽ sử dụng các thiết bị như sau:

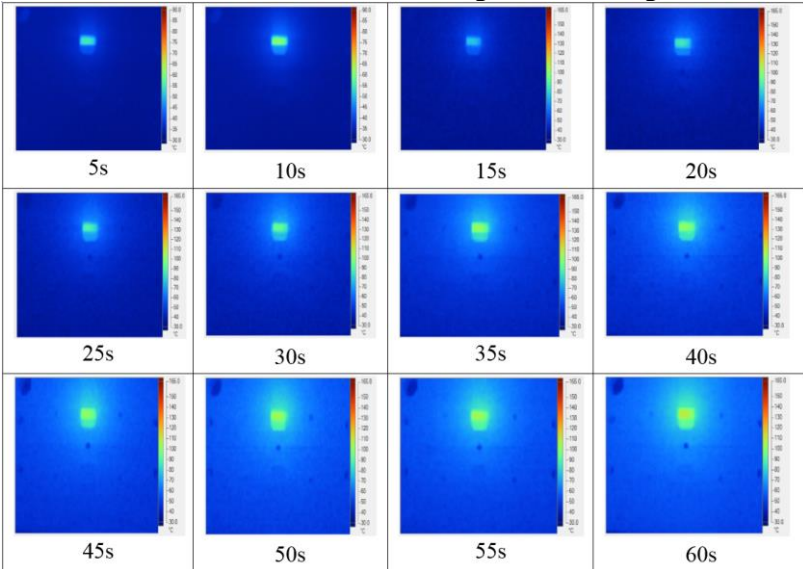
- Tay máy gia nhiệt
- Nguồn khí
- Thiết bị đo nhiệt: Thermal couple và camera hồng ngoại

#### 5.3.1 Khảo sát trường nhiệt độ của tấm khuôn trong quá trình gia nhiệt cho tấm insert

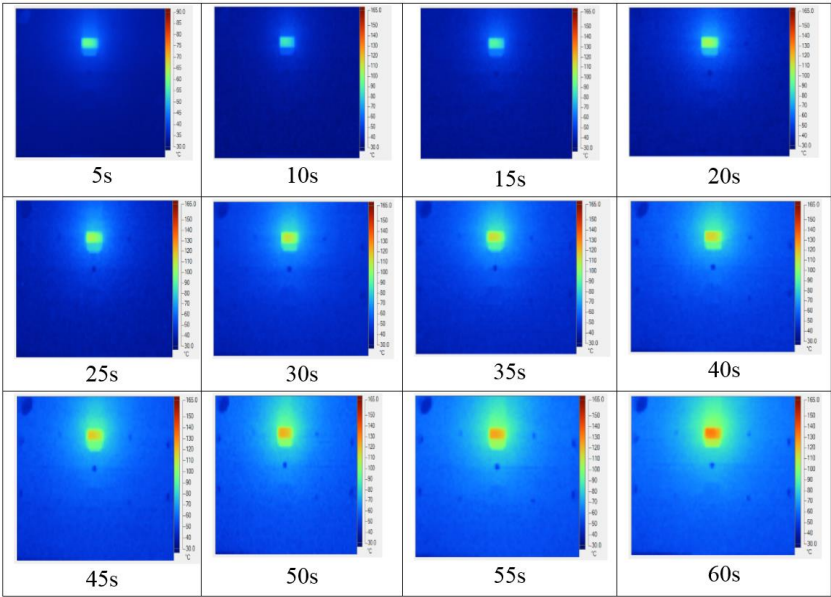
Thông qua camera hồng ngoại, phân bố nhiệt độ tại bề mặt tấm khuôn cũng được thu thập và trình bày như hình 5.12 đến hình 5.16. Các kết quả này cho thấy khả năng gia nhiệt cục bộ của phương pháp Ex-GMTC khá tốt. Cụ thể, nhiệt độ chỉ tập trung tại vị trí xuất hiện đường hàn, ngoài ra, các vị trí khác nhiệt độ được giữ ở mức thấp. Đây là một trong những ưu điểm của phương pháp gia nhiệt bằng khí nóng nói riêng và gia nhiệt bề mặt nói chung. Chính vì đặc điểm này, sau khi gia nhiệt và nhựa được điền đầy lòng khuôn, bước giải nhiệt cho lòng khuôn sẽ được tiến hành dễ dàng với vùng nhiệt độ cao rất nhỏ so với toàn bộ thể tích tấm khuôn. Ngoài ra, về khía cạnh tiết kiệm năng lượng, phân bố nhiệt độ tại bề mặt tấm khuôn cũng cho thấy gần như tất cả nhiệt năng của quá trình gia nhiệt chỉ tập trung tại vùng cần gia nhiệt, điều này cho thấy hiệu quả của phương pháp gia nhiệt Ex-GMTC là rất tốt.



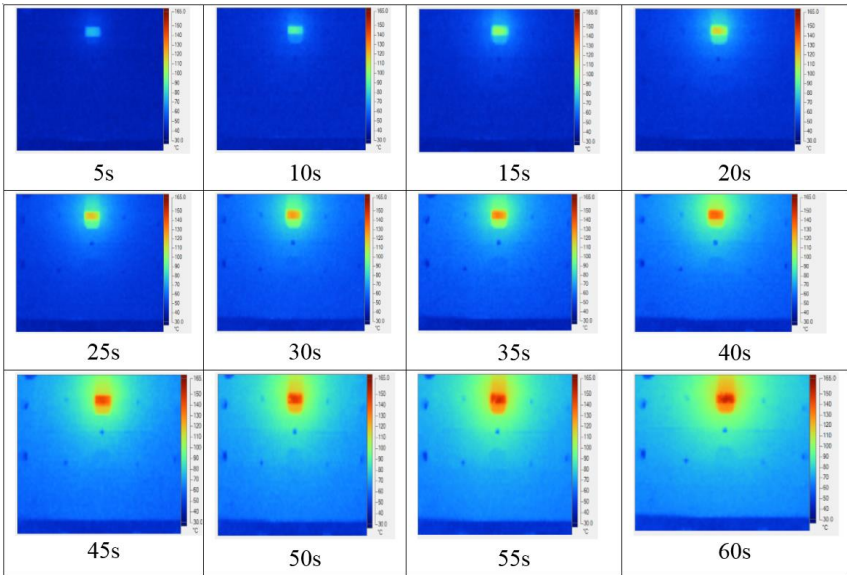
**Hình 5.12:** Nhiệt độ tại bề mặt khuôn khi gia nhiệt với nguồn khí 200 °C



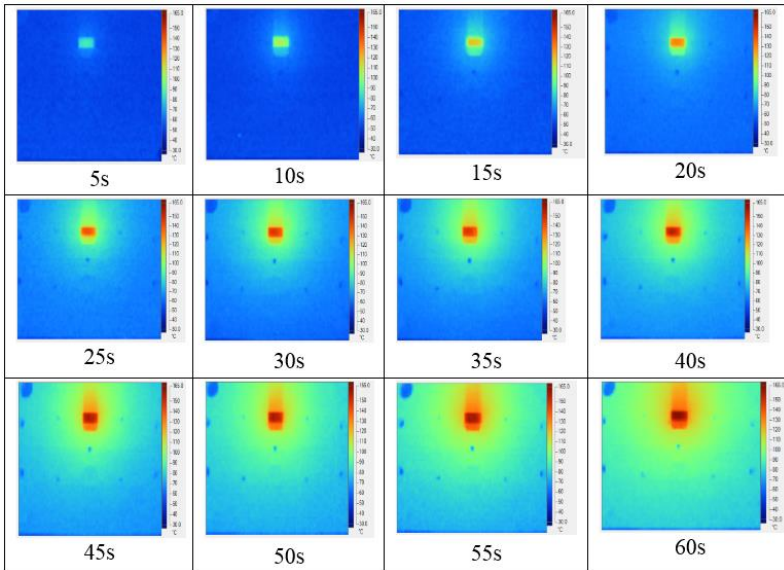
**Hình 5.13:** Nhiệt độ tại bề mặt khuôn khi gia nhiệt với nguồn khí 250 °C



**Hình 5.14:** Nhiệt độ tại bề mặt khuôn khi gia nhiệt với nguồn khí 300 °C



**Hình 5.15:** Nhiệt độ tại bề mặt khuôn khi gia nhiệt với nguồn khí 350 °C



**Hình 5.16:** Nhiệt độ tại bề mặt khuôn khi gia nhiệt với nguồn khí 400 °C

### 5.3.2 Thực nghiệm độ bền của sản phẩm ứng với các quy trình phun ép có nhiệt độ khuôn khác nhau

Kết quả thử kéo được tổng hợp và so sánh thông qua 2 biểu đồ như hình 5.17 và hình 5.18. Kết quả này cho thấy ảnh hưởng rõ rệt của nhiệt độ tấm insert và chiều dày lưới đến khả năng chịu lực kéo của sản phẩm.

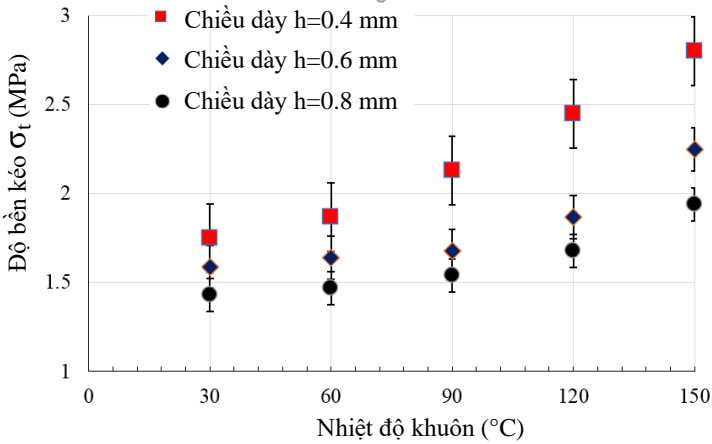
+ Đối với các sản phẩm được ép từ nhựa PA6:

- Trong cùng một nhiệt độ lòng khuôn (hình 5.17): khi tăng chiều dày lưới thì khả năng chịu lực kéo của sản phẩm tăng lên. Ở nhiệt độ lòng khuôn 60 °C, với chiều dày lưới 0,4 mm lực kéo tương ứng là 7 kgf, khi tăng chiều dày lưới lên 0,6 mm thì lực kéo tăng lên 7,5 kgf, tăng 6,83 %. Tuy nhiên, mức độ tăng của độ bền kéo ngày càng rõ rệt, đặc biệt với vùng nhiệt độ tấm insert cao hơn 120 °C.

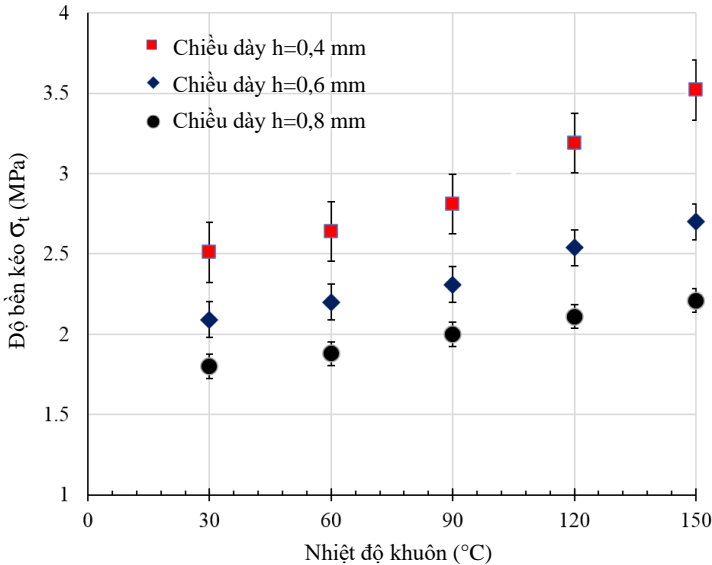
- Nhìn chung, khi nhiệt độ tấm insert tăng từ 30 °C đến 150 °C, độ bền kéo của sản phẩm có sự cải thiện rõ rệt với tất cả các dạng chiều dày sản phẩm. Tuy nhiên, kết quả thực nghiệm cũng cho thấy với chiều dày nhỏ hơn, tỉ lệ phần trăm tăng của độ bền sẽ lớn hơn.

+ Đối với các sản phẩm được ép từ nhựa PA6+30%GF: do có trộn thêm sợi thủy tinh trong thành phần hạt nhựa nên các sản phẩm này có khả năng chịu lực kéo cao hơn so với các sản phẩm được ép từ nhựa PA6. Xét ở cùng nhiệt độ lòng khuôn 30 °C và chiều dày lưới là 0,4 mm, độ bền kéo của mẫu sản phẩm PA6 là 1,75 MPa trong khi mẫu sản phẩm PA6+30%GF là

2,51 MPa. Hiện tượng độ bền của sản phẩm tăng khi phun ép với nhiệt độ tấm insert cao hơn cũng xuất hiện với vật liệu composite này.



**Hình 5.17:** Độ bền kéo của sản phẩm thành mỏng bằng nhựa PA6



**Hình 5.18:** Độ bền kéo của sản phẩm thành mỏng bằng nhựa PA6+30%GF

- ❖ Để tìm phương trình hồi quy về mối liên hệ giữa độ bền kéo của nhựa **PA6** với nhiệt độ khuôn và chiều dày sản phẩm bằng phần mềm **Minitab** như sau:

$$\sigma_t = 2,209 + 0,006T - 1,47h \quad (5.1)$$

Trong đó:  $\sigma_t$ : Độ bền kéo (MPa)

T: Nhiệt độ khuôn ( $^{\circ}\text{C}$ )

h: Chiều dày sản phẩm (mm)

Phương trình hồi quy này được kiểm nghiệm độ chính xác trên phần mềm **Minitab** với độ tin cậy R-sq (ajd) = 92,95 %. Vì vậy, phương trình này có thể sử dụng để dự đoán cho các trường hợp sản phẩm nhựa PA6 với nhiệt độ và chiều dày khác nhau.

- ❖ Để tìm phương trình hồi quy về mối liên hệ giữa độ bền kéo với nhiệt độ khuôn và chiều dày sản phẩm bằng phần mềm **Minitab** của nhựa **PA6+30%GF** như sau:

$$\sigma_t = 3,317 + 0,006T - 2,335h \quad (5.2)$$

Trong đó:  $\sigma_t$ : Độ bền kéo (MPa)

T: Nhiệt độ khuôn ( $^{\circ}\text{C}$ )

h: Chiều dày sản phẩm (mm)

Phương trình hồi quy này kiểm nghiệm độ chính xác trên phần mềm **Minitab** với độ tin cậy R-sq (ajd) = 93,28 %. Vì vậy, phương trình này có thể sử dụng để dự đoán cho các trường hợp sản phẩm nhựa PA6+30%GF với nhiệt độ và chiều dày khác nhau.

#### 5.4 Kết luận

- Kết quả mô phỏng quá trình gia nhiệt cho tấm insert cho thấy nhiệt độ cao tập trung tại bề mặt của tấm insert, tại vị trí tạo kết cấu dạng lưới cho sản phẩm nhựa.

- Kết quả về sự thay đổi nhiệt độ tại bề mặt tấm insert cho thấy ứng với các giá trị nhiệt độ của dòng khí nóng, nhiệt độ của bề mặt lòng khuôn sẽ tăng rất nhanh trong 5 s đầu tiên của quá trình gia nhiệt. Sau đó, trong 10 s tiếp theo, nhiệt độ tại bề mặt khuôn sẽ tăng chậm lại.

- Quá trình nhựa điền đầy lòng khuôn được khảo sát thông qua phần mềm Moldex3D. Kết quả mô phỏng cho thấy độ giảm của áp suất định hình theo thời gian từ 0,1 s đến 1 s.

- Các trường hợp sử dụng bước gia nhiệt bằng khí nóng cho thấy áp suất định hình vẫn có thể được giữ ở mức cao, đặc biệt với trường hợp sản phẩm dày 0,4 mm.

- Các kết quả về chụp phân bố nhiệt độ của bề mặt khuôn cho thấy khả năng gia nhiệt cục bộ của phương pháp Ex-GMTC khá tốt.

- Kết quả thử kéo sản phẩm nhựa thành mỏng cũng được tổng hợp và so sánh với 2 loại nhựa là PA6 và PA6+30%GF. Kết quả này cho thấy ảnh hưởng rõ rệt của nhiệt độ tấm insert và chiều dày lưới đến khả năng chịu lực kéo của sản phẩm.

## Chương 6. KẾT LUẬN

- Thông qua quá trình mô phỏng và thực nghiệm, các kết quả cho thấy:
  - Chiều dày của tấm insert có ảnh hưởng lớn đến tốc độ gia nhiệt, cũng như phân bố nhiệt độ trên bề mặt lòng khuôn.
  - Khe hở giữa đầu phun khí nóng và bề mặt khuôn cũng có ảnh hưởng đến tốc độ và phân bố nhiệt độ.
  - Quá trình mô phỏng cũng cho thấy phương pháp gia nhiệt bằng khí nóng phun từ ngoài có thể được tiến hành phân tích trước, nhằm chọn được các thông số tối ưu tùy thuộc vào hình dạng sản phẩm và kết cấu khuôn phun ép.
- Với mô hình sản phẩm dạng thành mỏng, kết quả trong luận án cho thấy nhiệt độ cao chỉ tập trung tại bề mặt của tấm insert, tại vị trí tạo kết cấu dạng lưới cho sản phẩm nhựa. Đây cũng là một trong những ưu điểm nổi bật của phương pháp gia nhiệt bằng khí nóng.
- Quá trình gia nhiệt cho thấy nhiệt độ của bề mặt lòng khuôn sẽ tăng rất nhanh trong 5 s đầu tiên của quá trình gia nhiệt. Sau đó, trong 10 s tiếp theo, nhiệt độ tại bề mặt khuôn sẽ tăng chậm lại, sau 20 s, nhiệt độ của bề mặt khuôn sẽ duy trì ổn định.
- Các trường hợp sử dụng bước gia nhiệt bằng khí nóng cho thấy áp suất định hình vẫn có thể được giữ ở mức cao, đặc biệt với trường hợp sản phẩm dày 0,4 mm.
- Các kết quả về chụp phân bố nhiệt độ của bề mặt khuôn cho thấy khả năng gia nhiệt cục bộ của phương pháp Ex-GMTC khá tốt.
- Kết quả thử kéo sản phẩm nhựa thành mỏng cho thấy ảnh hưởng tích cực của nhiệt độ khuôn và chiều dày lưới đến khả năng chịu lực kéo của sản phẩm. Đặc biệt, kết quả thực nghiệm cũng cho thấy với chiều dày nhỏ hơn, tỉ lệ phần trăm tăng của độ bền sẽ lớn hơn.

## PHỤ LỤC: CÁC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ

1. Pham Son Minh, **Tran Minh The Uyen**, Dang Minh Phung and Thanh Trung Do, A study of temperature control for the pulsed cooling of injection molding process, The 2nd international conference on green technology and sustainable development, 2014, Vol. 1, pp. 81-85.
2. **Trần Minh Thế Uyên**, Phạm Sơn Minh, Đỗ Thành Trung, Trần Văn Trọn và Phan Thế Nhân, Ảnh hưởng của áp suất phun đến chiều dài dòng chảy của nhựa lỏng trên sản phẩm phun ép nhựa, Tạp chí Cơ khí Việt Nam, 2014, Số 7, tr. 60-63.
3. Pham Son Minh and **Tran Minh The Uyen**, Numerical study on flow length in injection molding process with high-speed injection molding, International Journal of Mechanical Engineering and Applications, 2014, Vol. 2, pp. 58-63.
4. Huỳnh Đỗ Song Toàn, **Trần Minh Thế Uyên**, Nguyễn Danh Kiên và Lê Hiếu Giang, Nâng cao độ chính xác kích thước sản phẩm nhựa thành mỏng bằng phương pháp kết hợp mô phỏng và thực nghiệm, Tạp chí Khoa học Giáo dục Kỹ thuật Trường ĐH SPKT TP.HCM, 2015, Số 32, tr. 42-45.
5. Phạm Sơn Minh, Đỗ Thành Trung, Lê Tuyên Giáo và **Trần Minh Thế Uyên**, Nghiên cứu quá trình gia nhiệt bằng khí nóng cho khuôn phun ép tạo sản phẩm dạng lưới, Tạp chí Khoa học Giáo dục Kỹ thuật Trường ĐH SPKT TP. HCM, 2015, Số 32, tr. 46-51.
6. Huỳnh Đỗ Song Toàn, **Trần Minh Thế Uyên**, Võ Bá Anh Đại và Lê Hiếu Giang, Phân tích gia nhiệt và làm nguội bằng nước trong khuôn ép phun một số sản phẩm khác nhau, Tạp chí Khoa học Giáo dục Kỹ thuật Trường ĐH SPKT TP. HCM, 2015, Số 33, tr. 44-50.
7. Phạm Sơn Minh, Đỗ Thành Trung, **Trần Minh Thế Uyên** và Phan Thế Nhân, Ảnh hưởng của chiều dày sản phẩm và nhiệt độ khuôn đến độ cong vênh của sản phẩm nhựa polypropylene dạng tấm, Hội nghị Khoa học và Công nghệ Toàn quốc về Cơ khí lần thứ IV, TP. HCM, 2015, Tập 2, tr. 536 – 543.
8. Thanh Trung Do, Pham Son Minh, **Tran Minh The Uyen** and Pham Hoang The, Numerical study on the flow length in an injection molding process with an external air-heating step, International Journal of Engineering Research and Application, 2017, Vol. 7, pp. 85-89.
9. Thanh Trung Do, **Tran Minh The Uyen** and Pham Son Minh, Study on the external gas-assisted mold temperature control for thin wall injection molding, International Journal of Engineering Research and Application, 2017, Vol. 7, pp. 15-19.

10. Pham Son Minh, Thanh Trung Do, **Tran Minh The Uyen** and Phan The Nhan, A study on the welding line strength of composite parts with various venting systems in injection molding process, *Key Engineering Materials*, 2017, Vol. 737, pp. 70-76. (SCOPUS).
11. Pham Son Minh and **Tran Minh The Uyen**, Numerical study on the heliacal cooling channel for injection molding process, *International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*, 2018, Vol. 5(2), pp. 86-91.
12. Pham Son Minh, Thanh Trung Do and **Tran Minh The Uyen**, The feasibility of external gas-assisted mold-temperature control for thin-wall injection molding, *Advances in Mechanical Engineering*, 2018, Vol. 10 (10), pp. 1-13. (SCIE).
13. Pham Son Minh, **Tran Minh The Uyen**, Tran Anh Son and Huynh Duc Thuan, Study on the temperature distribution of core plates during injection molding, *International Journal of Engineering Inventions*, 2018, Vol. 7 (10), pp. 24 – 29.
14. **Minh The Uyen Tran**, Son Minh Pham and Thanh Trung Do, Experimental study on external air heating for an injection molding process, *ICSSE2019*, 2019, pp. 681-685.
15. **Tran Minh The Uyen**, Le Tuyen Giao, Thanh Trung Do and Pham Son Minh, Numerical study on local heating for thin-walled product by external air heating, *Materials Science Forum*, 2019, Vol. 971, pp. 21-26. (SCOPUS).
16. **Tran Minh The Uyen**, Nguyen Truong Giang, Thanh Trung Do, Tran Anh Son and Pham Son Minh, External Gas-Assisted Mold Temperature Control Improves Weld Line Quality in the Injection Molding Process, *Materials*, 2020, Vol. 13, pp. 1-19. (SCIE).

**MINISTRY OF EDUCATION AND TRAINING  
HO CHI MINH CITY UNIVERSITY OF TECHNOLOGY  
AND EDUCATION**

**TRAN MINH THE UYEN**

**STUDY ON THE INFLUENCE OF EXTERNAL GAS  
ASSISTED INJECTION MOLDING ON THE TENSILE  
STRENGTH OF THIN WALL PRODUCT**

**SUMMARY OF THE THESIS**

Major: Mechanical Engineering

Major code: 62520103

*HO CHI MINH CITY – YEAR 2020*

The work is completed at Ho Chi Minh city University of  
Technology and Education

**Scientific Supervisor one:** Assoc. Prof. Do Thanh Trung

**Scientific Supervisor two:** Assoc. Prof. Pham Son Minh

The thesis will be defended in front of the Council for  
Ph.D. evaluation of the Ho Chi Minh City University of  
Technology and Education on ...../2020

The thesis can be found at:

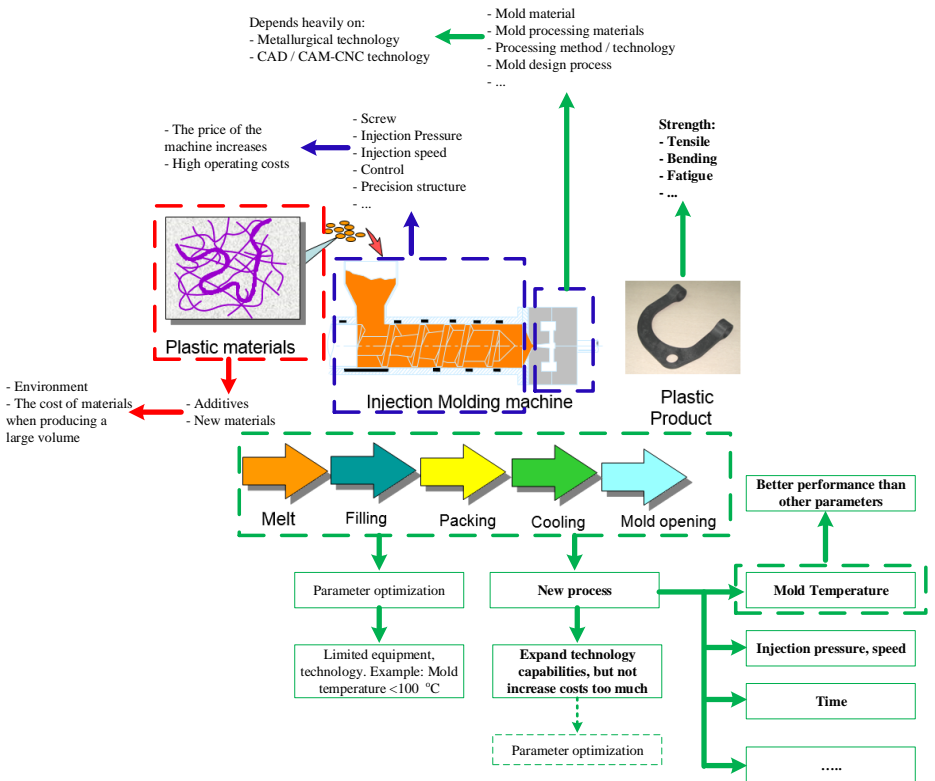
-The National Library of Vietnam

-The Library of Ho Chi Minh City University of Technology and  
Education

# Chapter 1. OVERVIEW

## 1.1 Overview of plastic injection technology and mold temperature control

In the production of plastic products, the resins are first dried to remove the moisture, then the it is fed into the feed hopper on the injection molding machine. From here, the plastic is transported by the screw to the heater for heating, causing the resin to turn from the solid state to a liquid state. When the plastic has melted completely, it will be injected by the screw through the runner system to fill the mold cavity. After the mold cavity is completely filled, the plastic product is cooled so that the plastic from the liquid form returns to its original solid form and is removed from the mold, ending a plastic product manufacturing cycle.



**Figure 1.1:** Main researches in the field of injection mold technology

In the field of injection mold, studies in recent years mainly focus on four main directions as shown in Figure 1.1.

In addition to the ability to improve the mechanical properties of plastic products, optimizing the mold temperature control is one of the most effective ways to improve the surface quality of plastic products. Therefore, the important goal of injection mold temperature control is: *heat the mold surface to the required temperature, while ensuring that the injection cycle time is not too long.*

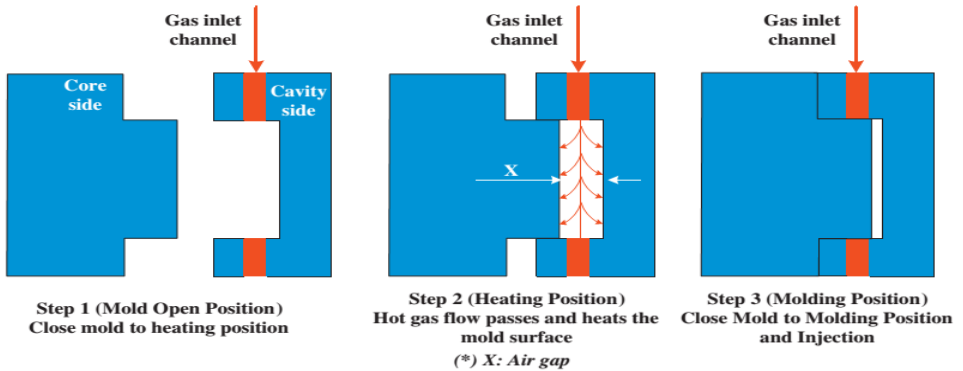
## **1.2 Overseas research situation**

In these studies, the induction heating method is combined with the cooling fluid to control the mold temperature. Heater by induction has outstanding advantages compared to other methods such as:

- High heating rate.
- The heating time can be as long as 20 s.
- The injection molding can be applied as an attached module, which means there is no need to change the existing mold structure.

In addition, in order to meet the heating requirements for complex surfaces, the method of gas heating has been studied and evaluated for effectiveness. The heating process for injection molding via hot air is underway as shown in figure 1.2. At the end of the injection molding cycle, the two mold plates open and the product is taken out (Figure 1.2 - Step 1). Then the movable plate will be moved to the heated position (Figure 1.2 - Step 2). At this step, hot air is injected into the mold cavity. Through the convection heat transfer process between the hot air and the mold surface, the heat energy of the hot air will increase the mold surface temperature to the required value. Finally, the hot air will stop spraying, and the two mold plates will close completely (figure 1.2 - Step 3). Next, the molten plastic is injected into the mold cavity.

With this method, the mold surface temperature can be increased from 60 ° C to 120 ° C in 2 s. However, this heating will reach saturation when the heating time is longer than 4 s. The advantage of the “gas heating” method is the very high heating speed, and the product cycle time will be shortened. However, the design of the injection mold needs to be redesigned in order to integrate the heating system.



**Figure 1.2:** Hot air heating process for plastic injection molding.

### 1.3 Researches in our country

Mold temperature control is only understood and implemented in the direction of cooling the mold or limiting the pressure drop of the plastic flow in the process of flowing into the mold, with the most important goal is to cool the mold in the shortest time. On the contrary, the problem of keeping the mold surface at high temperature during injection molding in order to improve product quality, especially products for the electronics industry and products requiring high precision, has begun to be noticed through the research topic of Assoc. Prof. Dang Van Nghin. Therefore, in general, the situation of manufacturing plastic products in Vietnam is stopping at the group of simple products with average quality, and mainly focusing on the consumer goods sector. In addition, the possibility of limiting defects for plastic products according to the mold temperature control method has not been considered and applied.

### 1.4 Scientific problem still exists

The hot air heating method has the following limitations:

- Mold structure needs to be redesigned.
- With the actual mold structure, the heating result for the mold surface is not good.

Therefore, in order to increase the applicability of the hot air heating method for plastic injection molds, the research topic "Study on the influence of external gas assisted injection molding on the tensile strength of thin wall product " done in this thesis.

### 1.5 The urgency of the subject

Researching technology and manufacturing plastic injection equipment for the production process of engineering plastic products requiring high accuracy is a potential direction in the mold field in

particular and the industrial general accuracy. This technology will contribute to improving the product quality, expanding the technological capabilities of the plastic injection method, as well as creating a premise for more development of technical plastic products in Ho Chi Minh City.

### **1.6 Scientific significance**

With the results of the thesis, the heating method for the mold surface will have a new and more efficient method of:

- Heating zone control.
- Improve mold heating speed.
- Minimize the change of mold structure.
- Increase the strength of weldline on thin-walled plastic products.

### **1.7 Practical value**

Improving the quality of plastic products, as well as finding new technologies to improve the quality and output of plastic products are one of the urgent requirements for the plastic industry in Vietnam. Therefore, the topic "Study on the influence of external gas assisted injection molding on the tensile strength of thin wall product" is proposed to contribute to improving the quality of technical plastic products, especially for products are manufactured by injection molding technology.

### **1.8 Research Purposes**

Through the heating method for injection molding with hot air from outside, the topic will focus on researching the following objectives:

- Clarify the influence of key parameters on the gas heating process of the mold.
- Find and evaluate simulation methods for mold heating process.
- Evaluate the result of heating the mold cavity by hot air.
- Applying heating method for mold cavity by hot air in enhancing the durability of thin-walled plastic products.

### **1.9 Research subjects**

The thesis studies the feasible hot air heating model for injection molds with hot air injected from outside the mold. From there, study the effect of heating by this method on thin-walled thermoplastics products according to ASTM D638.

### **1.10 Research tasks and topic limitations**

- The thesis only focuses on research method of heating by hot gas with gas source supplied from outside the mold.
- The heating process, temperature and temperature field were investigated through experiment and simulation using ANSYS software.

- The process of plastic injection into the mold cavity is studied through experiment and simulation by Moldex3D software.
- The hot air temperature varies between 200 ° C and 400 ° C.
- Applied research for thin-walled plastic products with a thickness of from 0.4 mm to 0.8 mm.
- The plastic materials studied are PA6 and PA6 + 30% GF.
- Within the time limit and budget of the thesis, the author only focuses on the tensile strength of plastic products.
- Laboratory equipment is provided by the mold laboratory of the HCMC University of Technology and Education.

### **1.11 Research methodology**

- Simulation of heating and plastic filling of mold cavity.
- Experimenting the heating process and creating product samples corresponding to injection molding processes to investigate the effect of the heating step of the mold cavity on the tensile strength of thin-walled plastic products.

Research methods are implemented on the basis of existing equipment at HCMC University of Technology and Education such as: injection molding machine, thermometric equipment (infrared camera, temperature sensor, ... ) and common injection molds in Vietnam.

### **1.12 Thesis structure**

Chapter 1: Overview - *Presenting issues related to research directions on injection mold technology, outstanding issues and giving research directions.*

Chapter 2: Cơ sở lý thuyết - *Focus on clarifying issues related to the heating process for plastic injection molds with hot air sprayed from the outside.*

Chapter 3: Mô tả mô phỏng và thực nghiệm - *The hot air heating process outside the mold, the plastic filling process of the mold cavity and the equipment used for the experiment are described in detail.*

Chapter 4: Effect of heating parameters on the temperature distribution of the cavity surface - *This chapter will show the effect of the heating parameters (including the insert thickness and the gap (distance) between the hot air nozzle and the mold cavity surface) to heating result by hot air.*

Chapter 5: The effect of hot air heating method on the strength of thin-walled plastic products - *The effect of heating method on the tensile strength of thin-walled plastic products will be studied by simulation and experiment.*

Chapter 6: Conclusion.

## Chapter 2. THEORETICAL BASIS

The design of experiments, as well as analysis of the results of the topic will be conducted on the basis of the following theories:

- Plastic injection process.
- Simulate the flow of plastic in a mold.
- Plastic flow in sheet / box part.
- Convection heat transfer.
- Plastic Fountain Flow.
- The effect of the "Frozen layer" on the plastic mold filling process.
- Tensile strength according to ASTM D638.

### 2.1 Plastic injection process

The basic steps of the injection molding process are shown in Figure 2.1. The granular raw material is fed into the hopper and dropped into the cylinder. In the cylinder, with the reciprocating and translating motion of the screw, combined with the heating resistors outside the cylinder, the plastic material from the granular is heated to a plastic state and melted into a liquid in temperatures from 150 ° C to 320 ° C. Through the translating screw motion, molten plastic in the cylinder is pressed into the cavity through the nozzle. At the injection position, the plastic is completely liquid. After the whole cavity is filled, packing step will proceed. In this process, plastic will continue to be pressed into the mold cavity to compensate for the volume loss due to material shrinkage. The forming process is finished when the plastic material at the gate is completely frozen. Then, the temperature of the product will continue to decrease through the cooling step. When the whole product reaches the rejection temperature, the mold will open and the product will be removed.

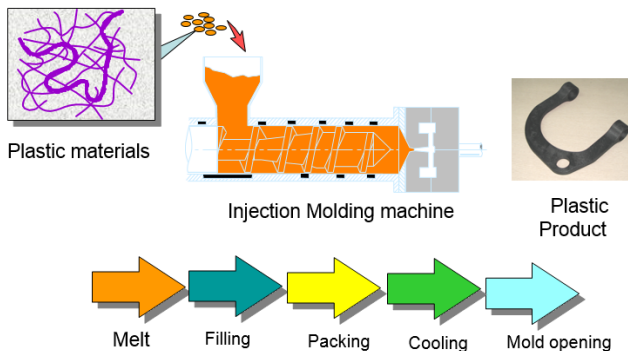
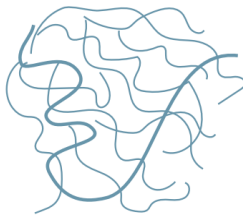


Figure 2.1: Plastic injection process

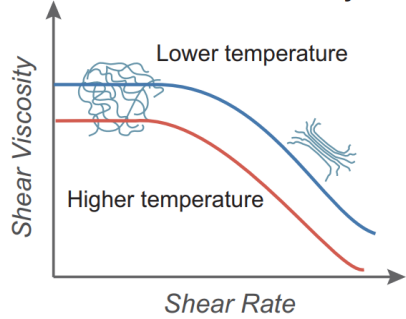
### 2.2 Simulate plastic flow in a mold

### Polymer Molecules



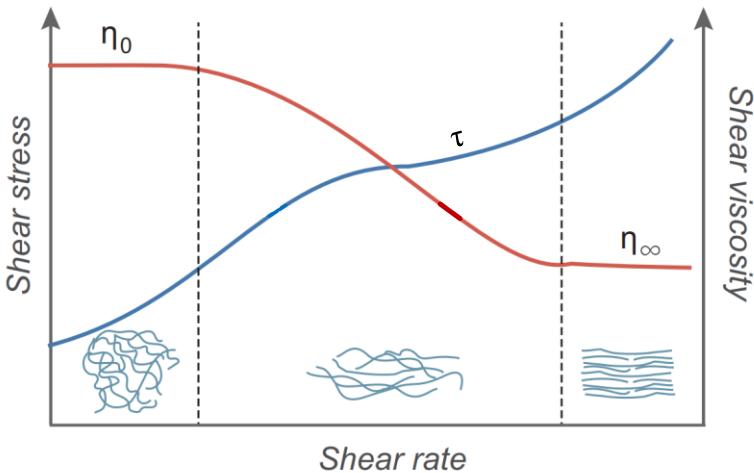
e.g., PE, PP...

### Non-Newtonian Viscosity



$$\text{Viscosity} = f(\text{composition, } T, P)$$

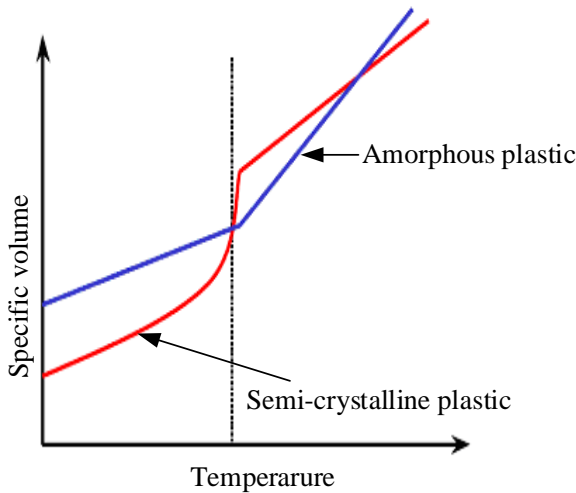
**Figure 2.2:** Molecular structure (left) and plastic viscosity (right)



**Figure 2.3:** Đường đặc tính dẻo của nhựa nhiệt dẻo

Viscosity is the relationship between the flow resistance to the flow of a fluid. The viscosity of fluids such as water, oil, etc. is usually a constant value at a certain temperature. These fluids mostly follow Newton's theory of fluids. However, the viscosity of thermoplastics is very complex and non-Newtonian [109]. Unlike other conventional plastics, the viscosity of thermoplastics depends on their chemical structure, temperature (T) and pressure (P) as shown in Figure 2.2. According to a given chemical structure and formula, the viscosity of

thermoplastics depends mainly on temperature, shear rate and pressure. To understand the viscosity nature of thermoplastics, it is necessary to define shear stress and shear rate as shown in Figure 2.3.

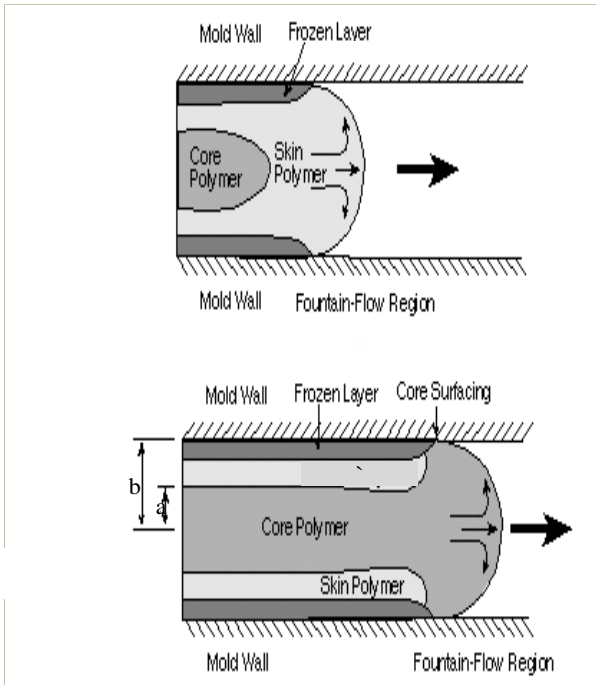


**Figure 2.4:** The dependence of the specific volume on pressure and temperature corresponds to amorphous and semi-crystalline plastic.

### 2.3 The effect of the "Frozen layer" on the plastic mold filling process

During the plastic filling process of the mold cavity, due to the effect of heat transfer between the hot plastic and the mold cavity, the surface layer of the plastic flow will lose heat, reducing the temperature. Therefore, at the contact surface between the plastic and the mold cavity will form a Frozen layer. It is this rapid solidification that flows out of the resin will have the same characteristics as conventional flow. In the plastic injection field, the plastic flow in the mold cavity complies with the properties of the Fountain Flow with features such as: The plastic part at the center of the flow will flow faster than the plastic part near the mold cavity. In which, at the position in contact with the mold cavity, plastic is considered not flowing. The plastic at the beginning of the flow is pressed forward and rolled towards the cavity (figure 2.5).

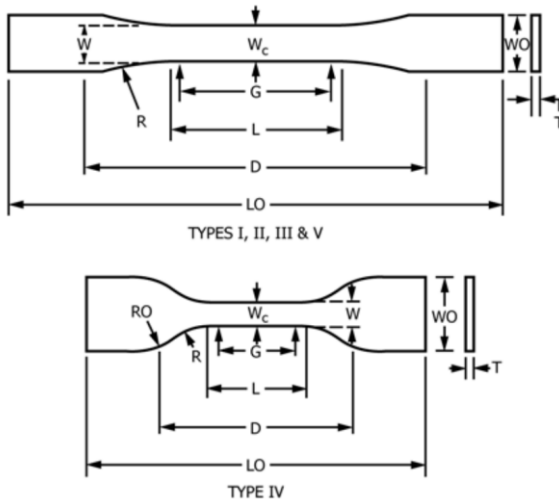
The result of this wall is: during the filling of the mold cavity, the plastic that is pressed into the mold cavity will first be rolled to the cavity first, this phenomenon occurs continuously until the plastic is completely filled mold heart.



**Figure 2.5:** The flow of plastic in the mold.

## 2.4 Tensile test

### 2.4.1 Tensile Standard ASTM D638



**Figure 2.6:** Tensile test pieces comply with ASTM D638

ASTM D638 as shown in Figure 2.6 is a popular standard for determining the mechanical properties of thermoplastic materials under the effect of pulling force. A test according to this International Standard is carried out by applying a tensile force to a test piece and by determining the different properties of the test piece under tensile stress.

There are many different test methods for test pieces made from thermoplastic materials. In which, ASTM D638 standard is preferred for thin wall test pieces.

**Bảng 2.1:** Thông số kích thước mẫu thử [108]

<b>Specimen Dimension for Thickness, T, (unit mm)</b>						
	7 or under		Over 7 to 14	4 or under		
	Type I	Type II	Type III	Type IV	Type V	Tolerances
W (WC)	13	6	19	6	3.18	±0.5
L	57	57	57	33	9.53	±0.5
WO	19	19	29	19	...	+6.4
LO	165	183	246	115	63.5	No upper limitation
G	50	50	50	...	7.62	±0.25
D	115	135	115	65	25.4	±5
R	76	76	76	14	12.7	±1
RO	...	...	...	25	...	±1

#### 2.4.2 Formula for calculating tensile strength

The tensile strength is the maximum tensile property of the test piece and is determined by the following formula:

$$\sigma_t = \frac{F_{max}}{A}$$

With  $\sigma_t$ : tensile strength (MPa)

$F_{max}$ : max force (N)

$A$ : section area (mm<sup>2</sup>)

### Chapter 3. SIMULATION AND EXPERIMENTAL DESCRIPTION

In this chapter, the process of heating the mold with hot air outside the mold, the plastic filling process of the mold and the equipment used for experiment are described in detail. Currently, the injection molding process with the help of hot air heating is one of the new processes, so the mold simulation software such as Moldex3D or Moldflow have not perfected these modules. Therefore, to complete the set objectives, the thesis will use ANSYS software to analyze the hot air heating process for the mold, then, to clarify the plastic filling process of the mold, Moldex3D software will be used for plastic flow analysis, as well as plastic pressure during filling.

#### 3.1. Model of simulation and experiment

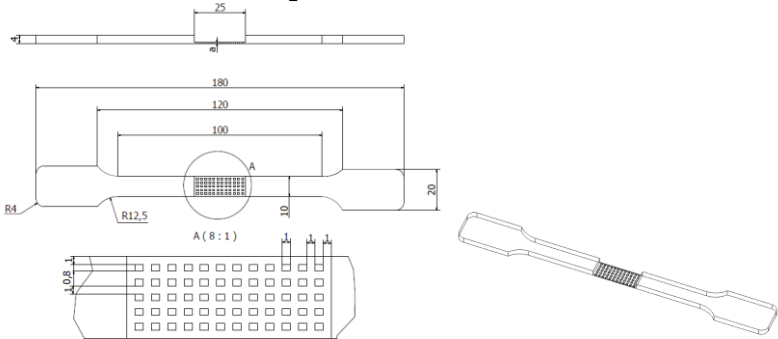


Figure 3.1: Model dimension

#### 3.2. Mold heating by hot air

The basic steps of injection molding process with hot air heating support outside the mold are shown in Figure 3.2.

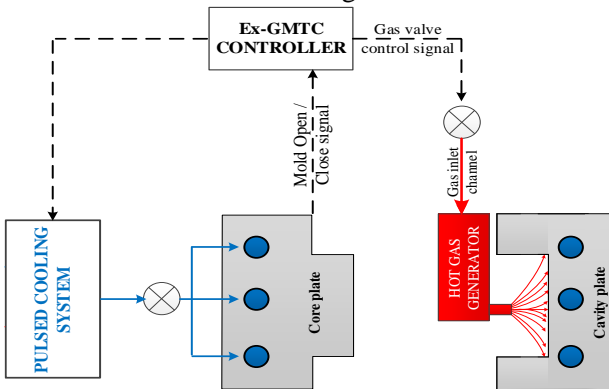
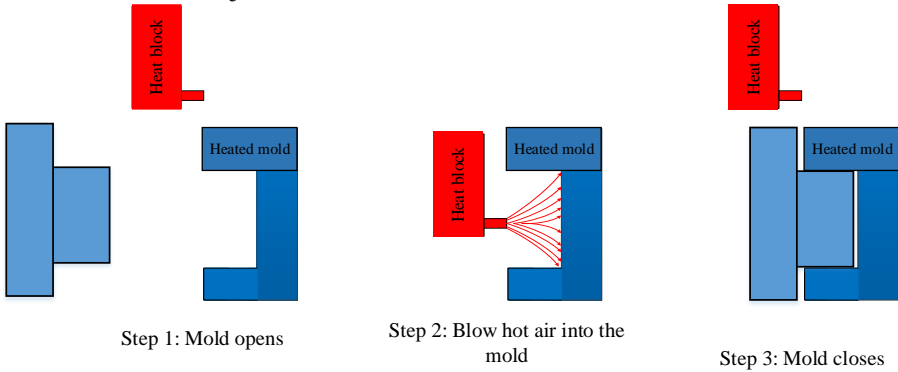


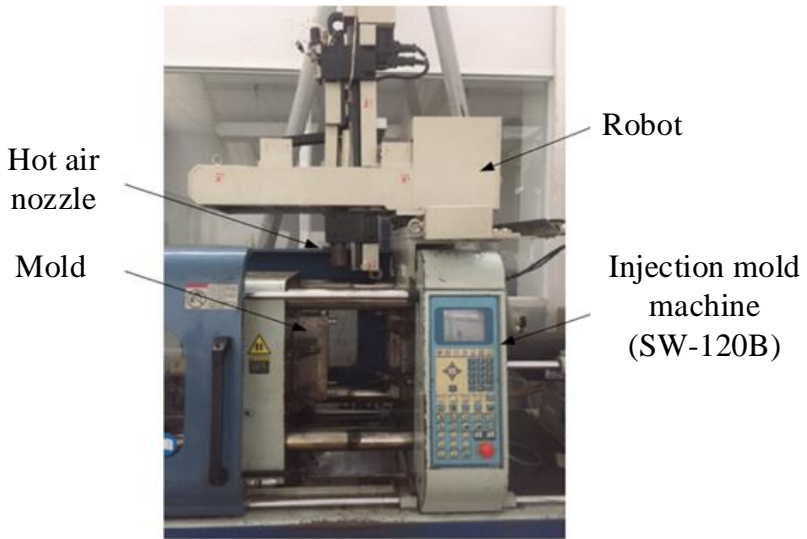
Figure 3.2: Ex-GMTC system

In this study, hot air will be used as heat source to raise the temperature at the mold surface. Figure 3.3 shows the heating steps for the mold with hot air injection from outside.

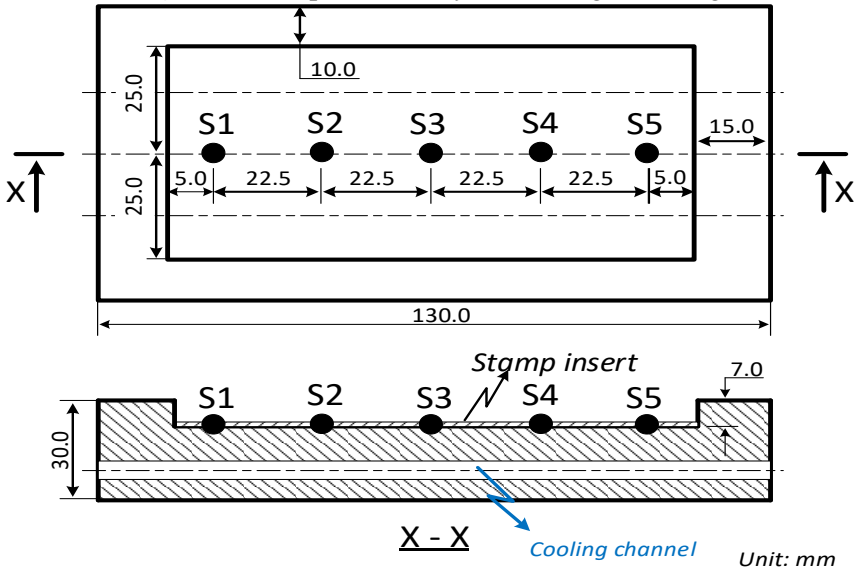


**Figure 3.3:** Mold and gas heating block in the heating step

Figure 3.4 shows the relative positions of the gas heating system and the mold when mounted on the injection molding machine. In this thesis, the gas heating block has dimensions of 240 mm × 100 mm × 40 mm (Figure 3.4). In this device, the air channels 5 mm wide and 10 mm deep are machined to provide a heated medium for the gas. The heating zone on the mold is designed with insert details of 100 mm x 50 mm. To assess the heating ability of Ex-GMTC method, 5 heat sensors are installed at the mold surface to collect temperature changes during heating. In previous studies in the field of mold surface heating, mold design with the insert plate part is often used to increase the efficiency of the heating process. These studies show that the thickness of the insert plate is one of the important parameters, having a great influence on the heating result for the mold. The relative position of the mold, insert plate and the sensors are shown in figure 3.6. During experiments and simulations on the influence of heating parameters, the position of the parts is kept as shown in figure 3.7



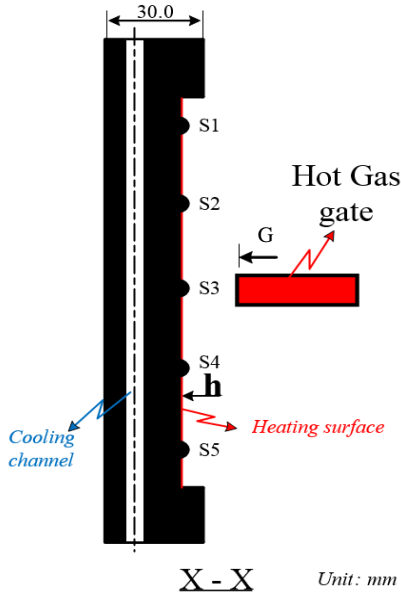
**Figure 3.4:** Experimental system with gas heating



**Figure 3.5:** Sensor position, insert plate in the mold

G: the gap between gas gate and heating surface

h: stamp thickness



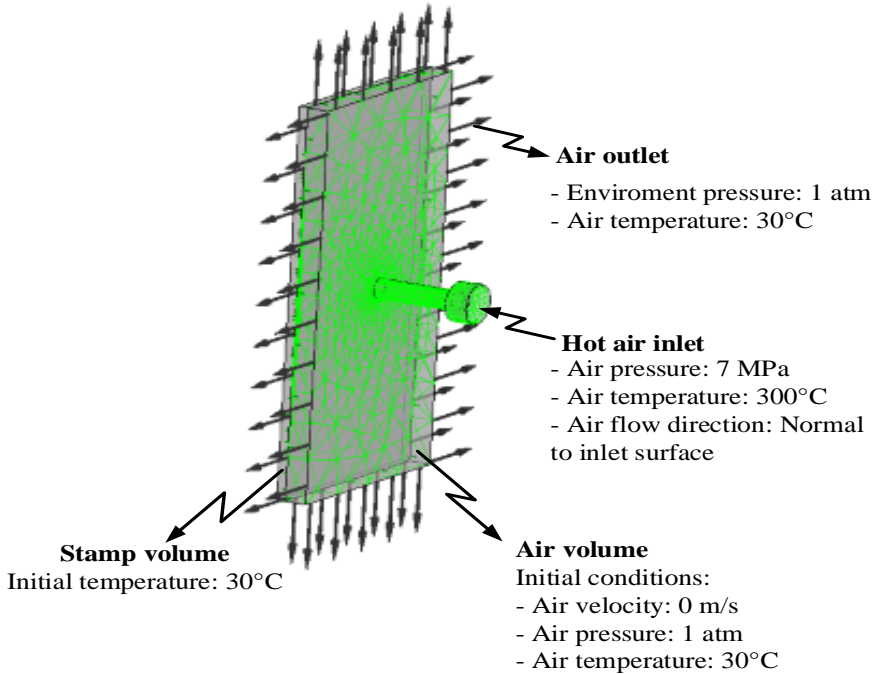
**Figure 3.6:** Heating position of nozzle

Similar to previous studies, the simulation model in this thesis includes only two main parts: insert plate volume and air volume. The simulation model was meshed as shown in Figure 3.8. The boundary conditions are shown in figure 3.9, and simulation parameters.

**Table 3.1:** Material properties simulate the surface heating of the mold

Material	Name	Unit	Value
Air	Molecular mass	kg/kmol	28.96
	Density	kg/m <sup>3</sup>	1.185
	Specific heat	J/kgK	1004.4
	Dynamic viscosity	kg/ms	1.831e-5
	Coefficient of thermal conductivity	W/mK	0.0261
Steel	Molecular mass	kg/kmol	55.85

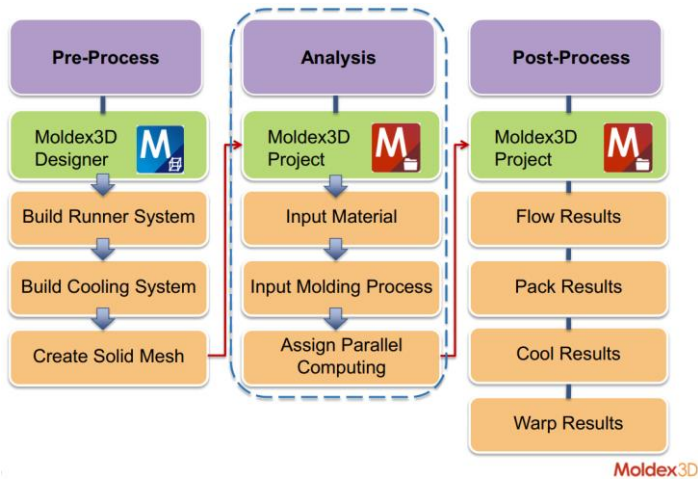
	Density	kg/m <sup>3</sup>	7854
	Specific heat	J/kg K	434
	Coefficient of thermal conductivity	W/mK	60.5



**Figure 3.7:** Initial conditions of the simulation process

### 3.3 The plastic process fills the mold cavity

In order to help the operator to select the appropriate set of parameters, this thesis will research and propose a simulation process of the injection molding process using the heating step for the mold cavity.



**Figure 3.8:** Flowchart for the simulation process

### 3.4 Experimental process

Experimental process in two phases:

- ✓ Stage 1: Experiment on heating the mold bed to evaluate heating ability by hot air sprayed from outside
- ✓ Stage 2: Experimental steps:
  - Step 1: Experiment on heating the core of the test specimen ASTM D638 to capture the temperature field distribution of the mold cavity with a thermal camera to evaluate the temperature distribution and obtained temperature values.
  - Step 2: Select the temperature values of the mold, proceed to injection test ASTM D638 product on injection molding machine SW-120B to create test samples.
  - Step 3: Carry out the injection molding test to the tensile test to assess the effect of the hot air heating method from outside the mold on the durability of thin-walled plastic products.

The experimental process was conducted at the mold laboratory of the Faculty of Mechanical Engineering - HCMC University of Technology Education - with materials PA6 and PA6 + 30% GF and equipments:

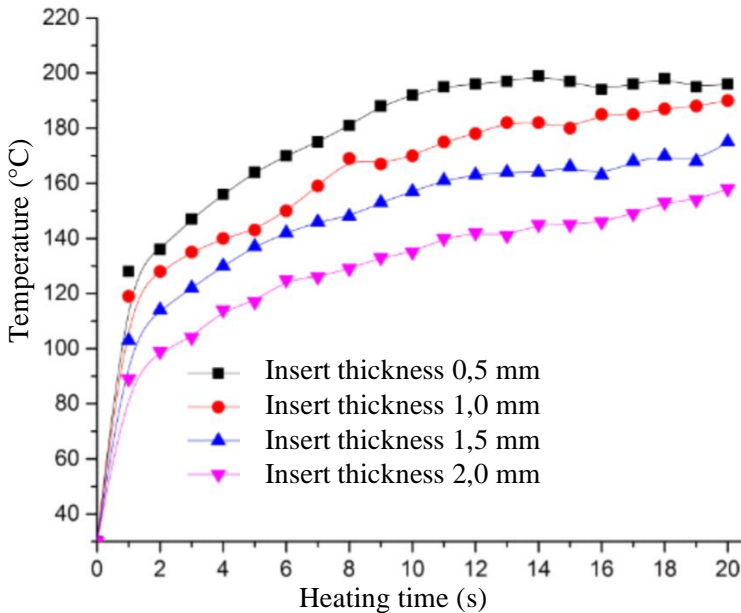
- Injection molding machine - Shinewell 120B (SW-120B)
- Hot air system
- Experimental mold set
- Camera to measure temperature
- Sensor for measuring contact temperature
- Tensile testing machine

## Chapter 4. EFFECTS OF THERMAL PARAMETER ON TEMPERATURE DISTRIBUTION OF MOLD SURFACE

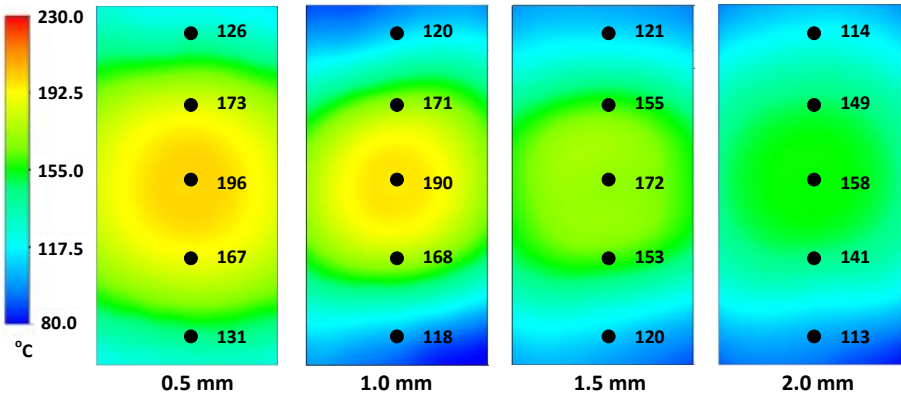
Through the research process, this chapter will show the influence of heating parameters (including insert plate thickness and gap (distance) between hot air nozzle and cavity surface) on heating result by hot air. During the research, different hot gas temperature values will also be used. In addition, the heating result will also be evaluated through data on heating speed and temperature distribution of the die surface.

### 4.1 Effect of insert thickness on the heating process

With these experimental parameters, the sensor will collect the temperature value of the mold surface with a heating time of 20 s corresponding to the different thickness of the insert. These results are shown in Figure 4.1 and Figure 4.2. This experiment was repeated with 4 different thicknesses of the insert. The temperature results from the S3 sensor show that the heating rates are  $8.3\text{ }^{\circ}\text{C} / \text{s}$ ,  $8.0\text{ }^{\circ}\text{C} / \text{s}$ ,  $7.1\text{ }^{\circ}\text{C} / \text{s}$  and  $6.4\text{ }^{\circ}\text{C} / \text{s}$  corresponding to the 0.5 mm, 1.0 mm, 1.5 mm, and 2.0 mm. This result shows that the larger the thickness of the inserts, the heating rate will decrease because more heat is needed to raise the temperature of the heating plate volume.

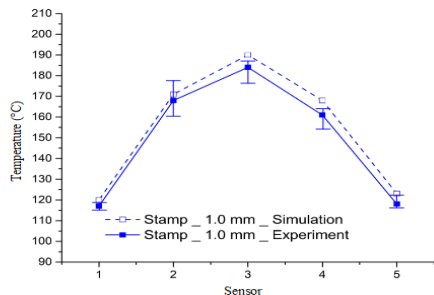
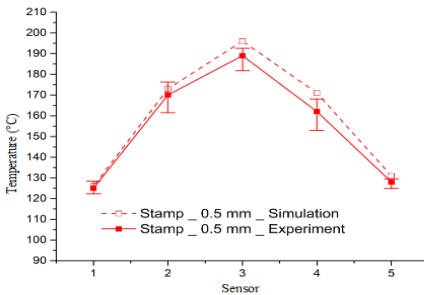


**Figure 4.1:** Temperature at sensor S3 with the thickness of the insert.

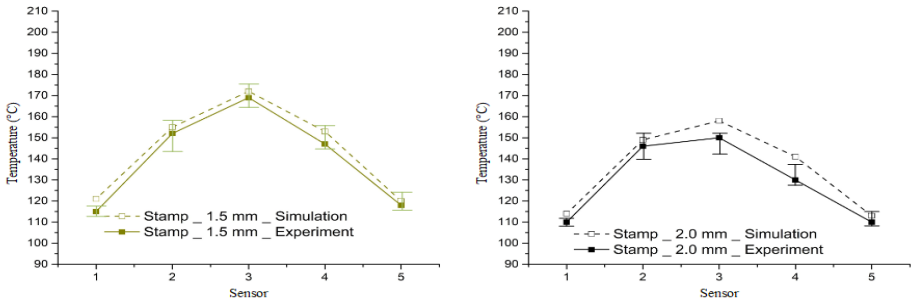


**Figure 4.2:** Temperature distribution at the surface of the insert plate with an initial temperature of 30 °C, gas temperature of 300 °C at a pressure of 7 bar, heating time is 20 s.

To evaluate the accuracy of the simulation results, the experimental process was conducted with the same parameters and boundary conditions as the simulation process. These experiments were conducted 10 times for each case of the insert plate thickness, and the average value of the temperature at the sensors was collected, calculated and compared with the simulation results as shown in Figure 4.3 and Figure 4.4. . In general, the deviation between simulation and experimental results is below 10 ° C. This deviation may be due to the fact that during the experiment, the temperature value measured at the sensors has latency compared to the simulation case, especially in the case of heating the mold cavity surface, the heat will spread. transfer very quickly to areas with lower temperatures. However, in general the simulation results and experimental results show that they are quite consistent.



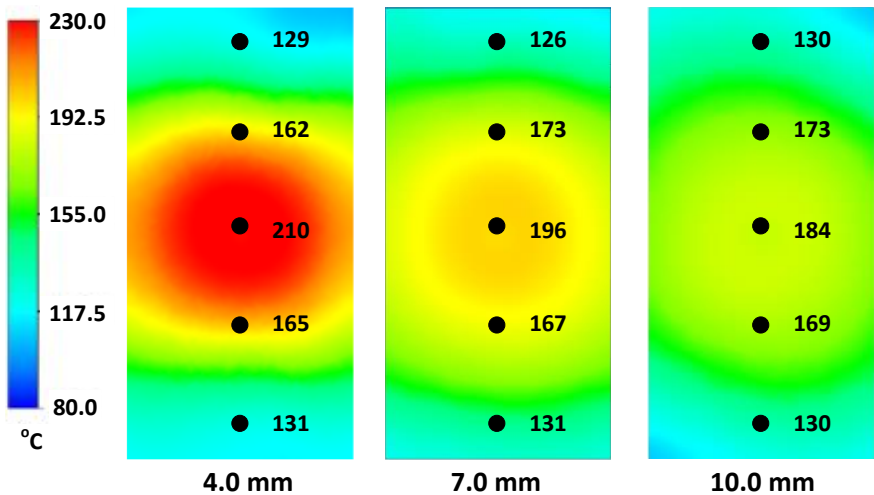
**Figure 4.3:** Compare simulation and experimental results with temperature values at X - X line, 0.5 mm and 1 mm thick.



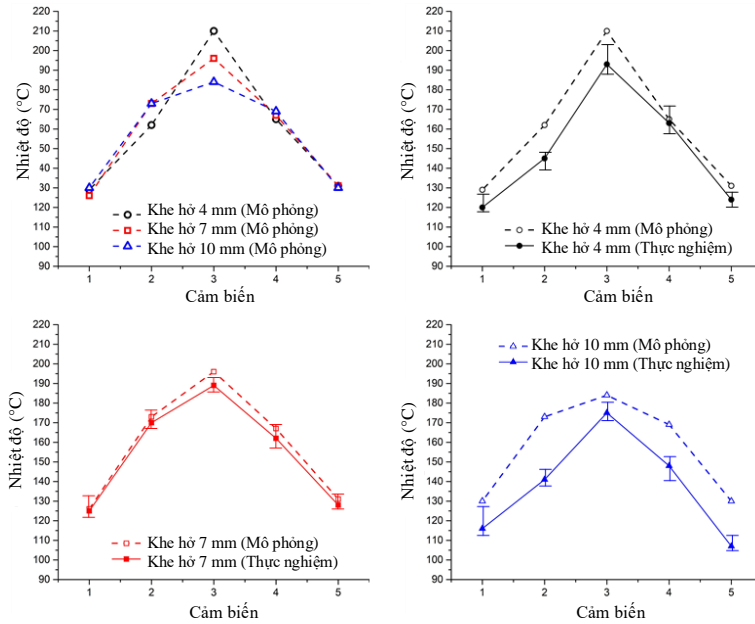
**Figure 4.4:** Compare simulation and experimental results with temperature values at X - X line, 1.5 mm and 2 mm thick..

#### 4.2 Effect of the gap between the hot air nozzle and the mold surface on the heating process

Figure 4.5 shows the temperature distribution of the insert for different gaps. This result shows that the smaller the gap, the more temperature will gather in the center of the insert, resulting in higher temperature in the center and higher temperature difference on the insert surface. The comparison results between simulation and experiment are presented as figure 4.6.



**Figure 4.5:** Temperature distribution of insert with clearance varies from 4 mm to 10 mm, heating time is 20 s and insert plate thickness of 0.5 mm.



**Figure 4.6:** Results of comparing the temperature at X - X line between simulation and experiment with different gaps.

### 4.3 Conclusions

- The thickness of the insert has a great influence on the heating rate, as well as the temperature distribution on the surface of the mold. Experimental and simulated values show that a high heating rate will be achieved with thin inserts, meanwhile, thick inserts will give a more uniform temperature distribution.
- The gap between the hot air nozzle and the mold surface also has an influence on the speed and temperature distribution. With small gap, the heating rate will be high, but the temperature difference will be larger. Conversely, with large openings, the temperature will be more evenly distributed.
- The simulation process also shows that the heating method by hot air injection from outside can be analyzed first, in order to choose the optimal parameters depending on the product shape and injection mold structure.
- Compared with the mold temperature control methods in recent years, the research results of this chapter show that the hot air heating method from outside the mold has overcome the shortcomings of some existing methods.

## Chapter 5. EFFECTS OF HOT AIR HEATING METHOD ON STRENGTH OF THIN-WALL PLASTIC PRODUCTS

In this chapter, the effect of the heating method on the tensile strength of thin-walled plastic products will be studied by simulation and experimentation through the following main contents:

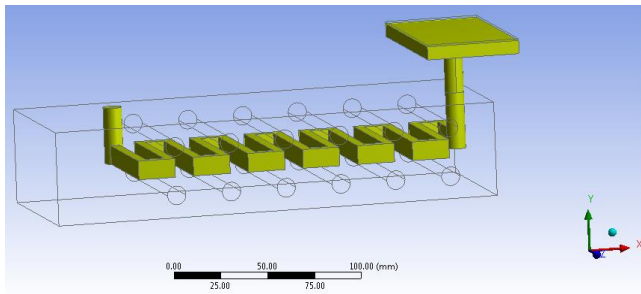
- The heating process for the mold cavity will be simulated and tested for the injection molding of thin-walled product molds. In this thesis, the mold insert material used is aluminum (Al) to help the heat absorption and heat transfer process better than other common materials in the mold industry.

- The thin-wall plastic injection molding process is simulated to investigate the effect of the mold temperature on the product's forming pressure.

- Currently, PA6 and PA6 + 30% GF plastic materials are one of the popular materials in the mold field, so the tensile test of products from these materials is conducted and Results are compared to observe the ability to improve the durability of thin-walled products when the cavity is heated.

### 5.1 Simulation of the heating process for the mold cavity.

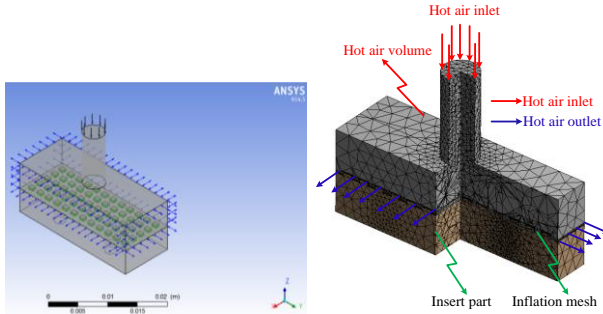
The heating process for the hot air insert plate was conducted through simulation by ANSYS CFX software with the model shown in figure 5.1.



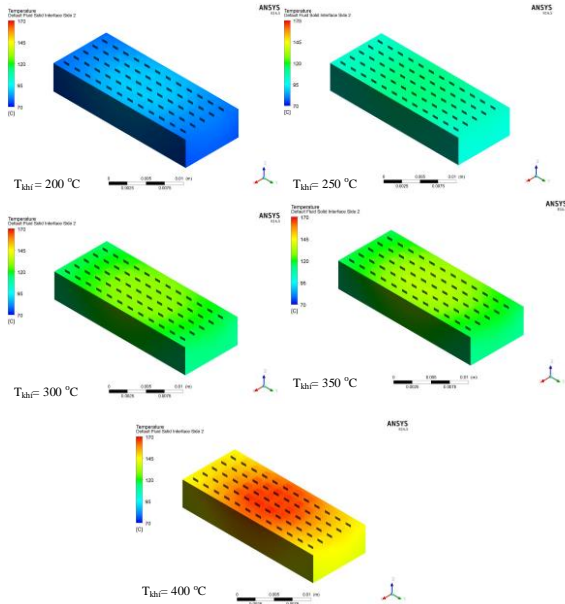
**Figure 5.1:** Modeling simulation process for hot air insert plate

Simulation and grid model are shown in Figure 5.2. With this model, the simulation is conducted similar to the model in Chapter 4 with simulation parameters as shown in Table 5.1. However, boundary conditions are set as shown in Figure 5.2. In the tensile injection model, because the heating zone for the mold is small, therefore only the heating efficiency for the mold is assessed by the highest temperature value in the center of the insert. Figure 5.4 shows the thermal response of the model at different heating gas flow temperatures (varying

from 200 °C to 400 °C) over the same heating period of 20 s. These results show that high temperatures are concentrated at the surface of the insert, at the site of creating a mesh texture for plastic products.



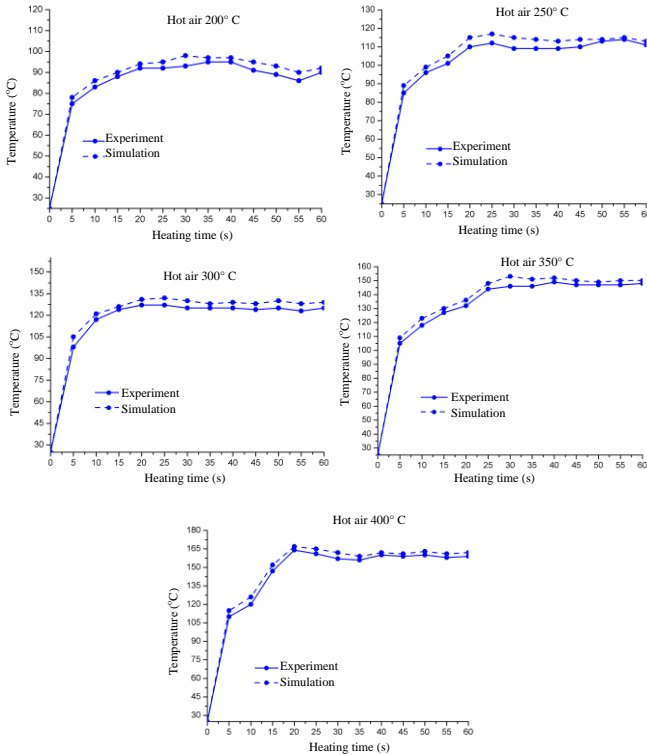
**Figure 5.2:** Meshed model



**Figure 5.3:** Temperature distribution at insert with heating time of 20s

Simulated values of temperature change at the insert surface were collected and compared as shown in Figure 5.4. The simulation results show that corresponding to the temperature values of the hot air, the temperature of the mold cavity surface will increase very rapidly in the first 5 s of the heating process. Then, over the next 10 s, the temperature at the mold surface will slowly rise. When the temperature of the hot air changes

from 200 °C to 400 °C, after 20 s, the temperature of the mold surface will remain stable.

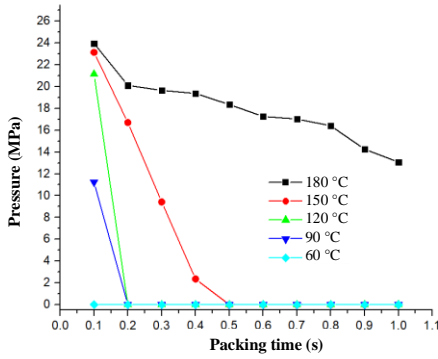


**Figure 5.4:** Temperature at center of insert with heating time of 20 s

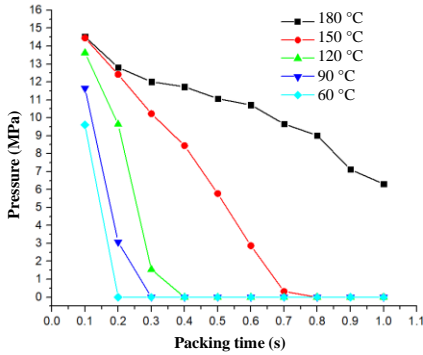
## 5.2 Simulate the process of plastic filling the mold cavity with injection molding process using hot air heating

In plastic injection processes, the pressure at the holding (or packing pressure) has a great influence on the process of shaping the product, the material properties of the product after injection. Therefore, in the simulation process with the pressing parameters unchanged, the thesis will investigate the pressure distribution of the test sample at the cyclone cycle at 5 different mold temperatures from 60 °C to 180 °C for 2 resins PA6 and PA6 + 30% GF.

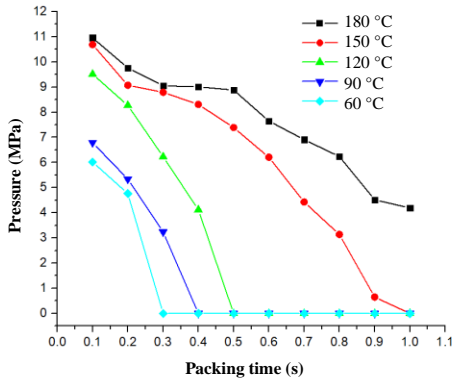
### 5.2.1 PA6 plastic



**Figure 5.5:** Diagram comparing the pressure distribution at the mold cavity with different mold temperatures of 0.4 mm mesh thickness products

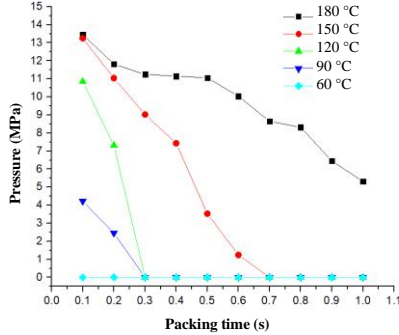


**Figure 5.6:** Diagram comparing the pressure distribution at the mold cavity with different mold temperatures of 0.6 mm mesh thickness products

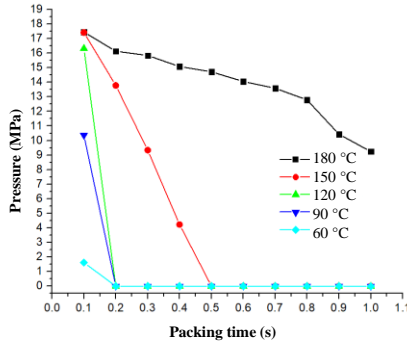


**Figure 5.7:** Diagram comparing the pressure distribution at the mold cavity with different mold temperatures of 0.8 mm mesh thickness products

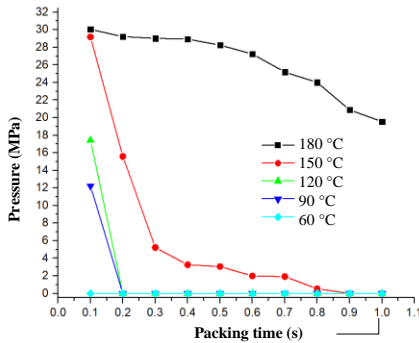
### 5.2.2 PA6+30%GF plastic



**Figure 5.8:** Diagram comparing the pressure distribution at the mold cavity with different mold temperatures of 0.4 mm mesh thickness products



**Figure 5.9:** Diagram comparing the pressure distribution at the mold cavity with different mold temperatures of 0.6 mm mesh thickness products



**Figure 5.10:** Diagram comparing the pressure distribution at the mold cavity with different mold temperatures of 0.8 mm mesh thickness products

### 5.2.3 Results and discussions

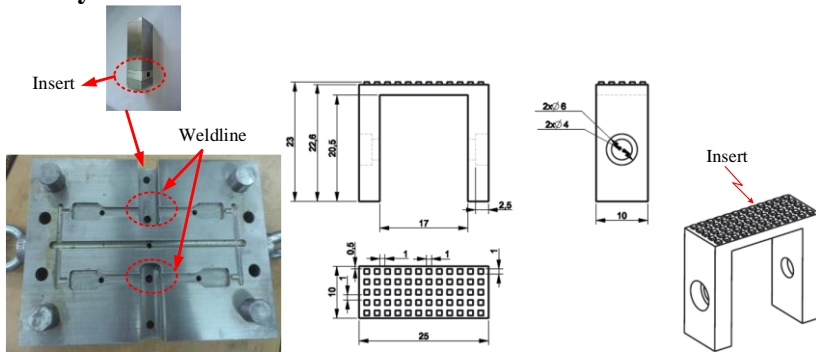
With the same injection conditions, when the temperature value of the insert changes from 60 °C to 180 °C, the change of the forming pressure over time is investigated through simulation methods using Moldex3D software. in 0.1 s to 1 s intervals corresponding to different product thickness cases (varying from 0.4 mm to 0.8 mm). The simulation results are compared with each other and the following conclusions are drawn:

- With the value of packing pressure presented as in Figure 5.5 to figure 5.10, it can be seen the decrease of holding pressure over time from 0.1 s to 1 s. In general, these results show that the higher the mold temperature, the longer the forming pressure will be, allowing more plastic to be pressed into the cavity. This can be explained by the solidification phenomenon of plastic when it comes into contact with the mold cavity. When the mold temperature is high, solidification tends to take place more slowly, so the resin will stay in a liquid state longer, and as a result the pressure applied at the weldline position is kept high in the range of longer time than in the case of low mold temperature.

- In addition, when the product thickness is smaller, the packing pressure drops faster. This is because the plastic flow thickness is thin, the heat transferred out will be faster, and the solidification process will be faster than in the case of products with larger thickness. However, when applying a heating step to the cavity, the forming pressure can still be kept high, especially in the case of a 0.4 mm thick product as shown in Figure 5.5 and Figure 5.8.

- The results of this simulation also show that the method of heating the surface of the mold cavity with hot air has the ability to impact quite well on the change of holding pressure. This is one of the important bases for improving the durability of injection molding products.

### 5.3 Experiment on the effect of hot air heating method on product durability



**Figure 5.11:** Mold for the experimental process

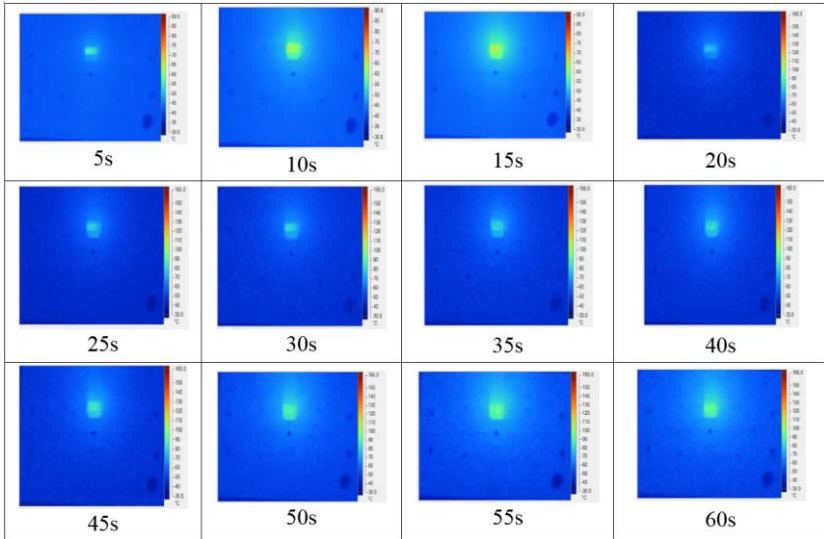
In this section, to test the simulation results, as well as the results of the product's strength, the mold with the product is the tensile test bar used for the experiment process. Figure 5.11 shows a cavity plate with structure for inserting the insert into the mold cavity.

The experimental process will use the following equipment:

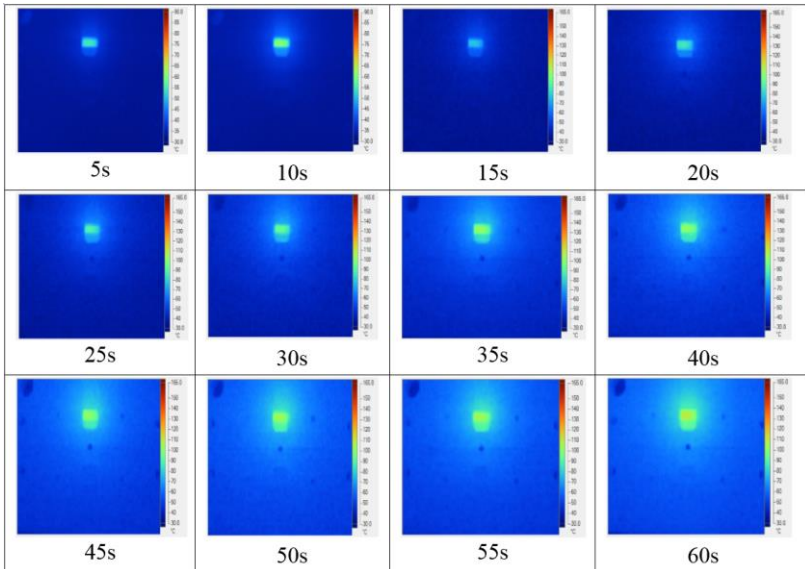
- Hot air system
- Gas source
- Thermal measuring equipment: Thermal couple and infrared camera

#### 5.3.1 Investigate the temperature field of the mold surface during the heating process for the insert

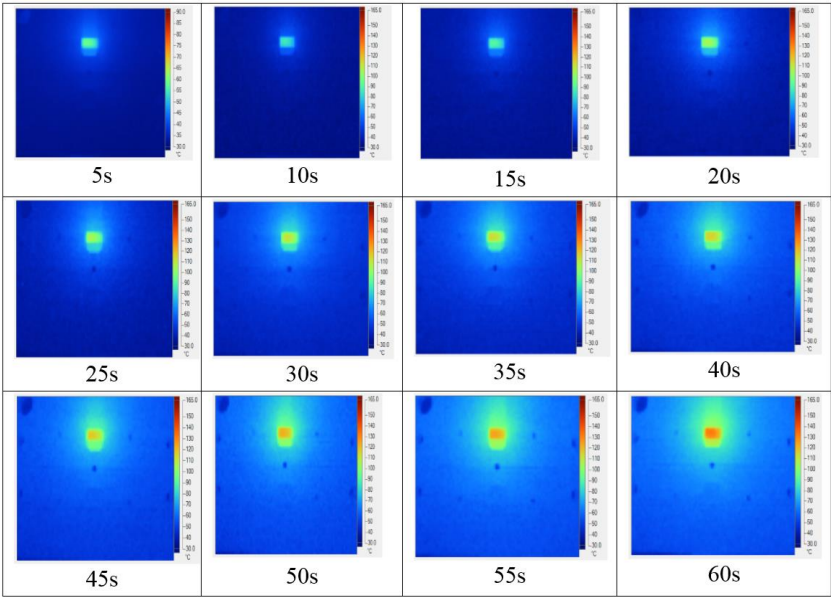
Through the infrared camera, the temperature distribution at the mold surface is also collected and presented as shown in Figure 5.12 to Figure 5.16. These results show that the local heating ability of Ex-GMTC method is quite good. Specifically, the temperature is concentrated only at the location where the weldline appears, in addition, the temperature is kept low at other locations. This is one of the advantages of hot air heating in particular and surface heating in general. Because of this feature, after heating and the plastic is filled in the mold cavity, the cooling step for the mold cavity will be carried out easily with a very small high temperature zone compared to the entire mold plate volume. In addition, in terms of energy saving, the temperature distribution at the mold surface also shows that nearly all of the heat energy of the heating process is concentrated in the area to be heated, which indicates the efficiency of Ex-GMTC heating method is great.



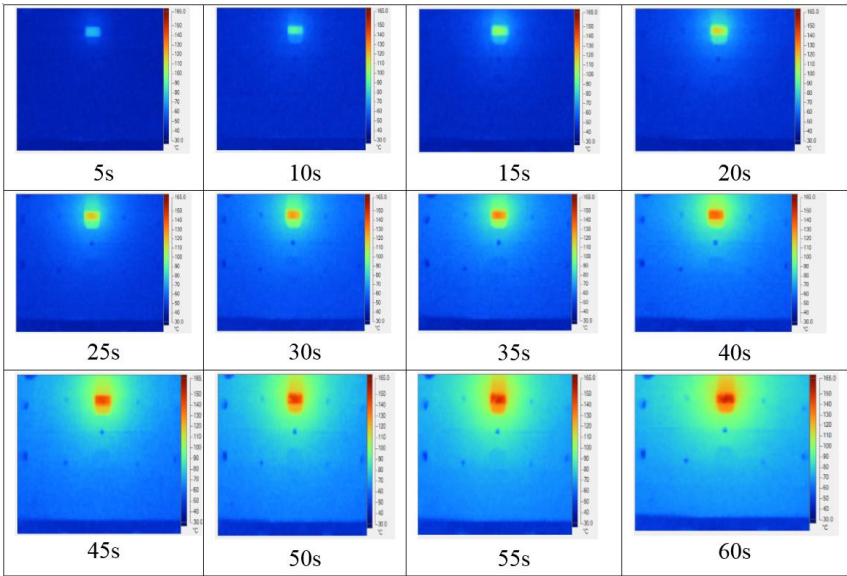
**Figure 5.12:** The mold surface temperature when heated with the gas source 200 °C



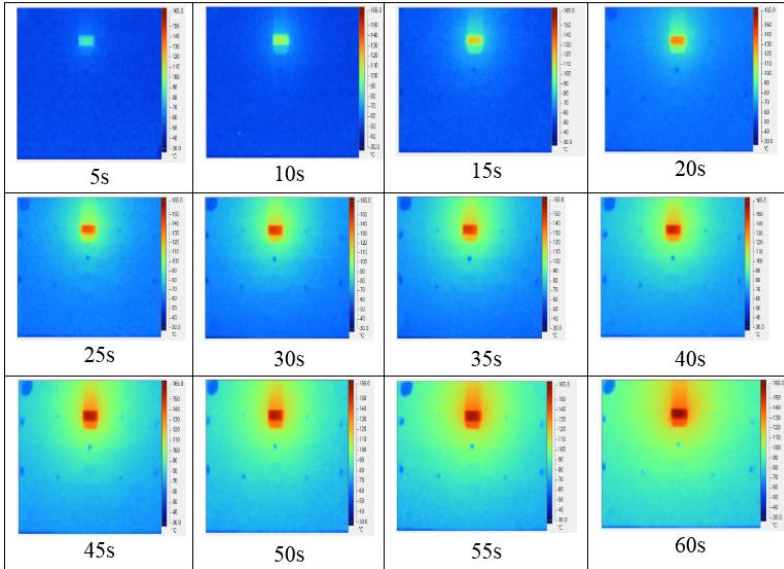
**Figure 5.13:** The mold surface temperature when heated with the gas source 250 °C



**Figure 5.14:** The mold surface temperature when heated with the gas source 300 °C



**Figure 5.15:** The mold surface temperature when heated with the gas source 350 °C



**Figure 5.16:** The mold surface temperature when heated with the gas source 400 °C

### 5.3.2 Test product durability with injection molding processes with different mold temperatures

Tensile test results are synthesized and compared through 2 charts as shown in Figure 5.17 and Figure 5.18. This result shows a clear influence of the insert temperature and mesh thickness on the tensile strength of the product.

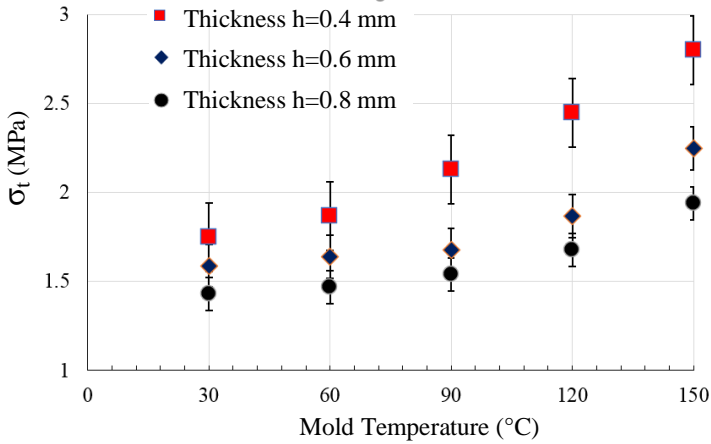
+ For products made of PA6 plastic:

- In the same cavity temperature (Figure 5.17): when the mesh thickness increases, the product's tensile capacity increases. At a temperature of 60 °C, with a mesh thickness of 0.4 mm, the corresponding tensile force is 7 kgf, when the mesh thickness is increased to 0.6 mm, the tensile force increases to 7.5 kgf, an increase of 6.83%. However, the degree of tensile strength increase is more and more pronounced, especially in the area where the insert temperature is higher than 120 °C.

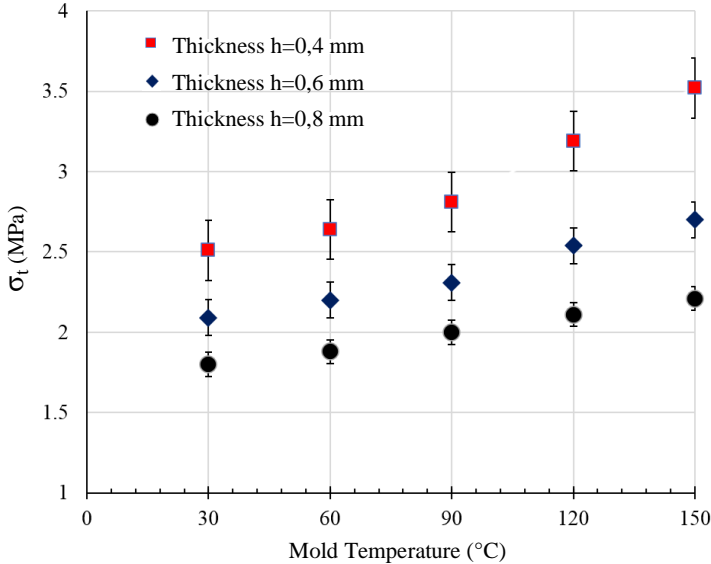
- In general, when the insert temperature increases from 30 °C to 150 °C, the tensile strength of the product improves markedly with all types of product thickness. However, the experimental results also show that the smaller the thickness, the higher percentage increase of strength will be.

+ For products made of PA6 + 30% GF: due to the addition of glass fiber in the resin composition, these products have a higher tensile strength

than products made of PA6. Considering the same mold temperature of 30 °C and mesh thickness of 0.4 mm, the tensile strength of product made of PA6 is 1.75 MPa while product sample PA6 + 30% GF is 2.51 MPa. The phenomenon of durability of the product increased when injection molding with higher insert temperature also appeared with this composite material.



**Figure 5.17:** Tensile strength of thin wall products made of PA6



**Figure 5.18:** Tensile strength of thin wall products made of PA6 + 30% GF

- ❖ To find regression equation on the relationship between tensile strength and mold temperature and product thickness by Minitab software of PA6 resin as follows:

$$\sigma_t = 2,209 + 0,006T - 1,47h \quad (5.1)$$

With  $\sigma_t$ : Tensile strength (MPa)

T: Mold temperature (°C)

h: Thickness (mm)

This regression equation was tested accuracy on Minitab software with the reliability of R-sq (ajd) = 92.95%. Therefore, this equation can be used to predict cases of PA6 plastic products with different temperatures and thickness.

- ❖ To find regression equation on the relationship between tensile strength and mold temperature and product thickness by Minitab software of PA6 + 30% GF resin as follows:

$$\sigma_t = 3,317 + 0,006T - 2,335h \quad (5.2)$$

This regression equation tests the accuracy on Minitab software with the reliability of R-sq (ajd) = 93.28%. Therefore, this equation can be used to predict the case of PA6 + 30% GF plastic products with different temperatures and thickness.

#### 5.4 Conclusion

- The results of simulating the heating process for the insert shows that high temperatures are concentrated at the surface of the insert, at the position of creating a mesh grid for plastic products.

- The results of the temperature change at the surface of the insert show that corresponding to the temperature values of the hot air stream, the surface temperature of the mold cavity will increase very rapidly in the first 5 s of the heating process. Then, over the next 10 s, the temperature at the mold surface will slow down.

- The molding plastic filling process was investigated through Moldex3D software. Simulation results show the reduction of forming pressure over time from 0.1 s to 1 s.

- Cases of using the hot air heating step show that the forming pressure can still be kept high, especially in the case of 0.4 mm thick products.

- The results of the temperature distribution of the mold surface show that the local heating ability of the Ex-GMTC method is quite good.

- The results of pulling plastic products into thin wall were synthesized and compared with 2 types of plastic, PA6 and PA6 + 30%GF. This result shows a clear influence of the insert plate temperature and mesh thickness on the product's tensile capacity.

## Chapter 6. CONCLUSION

- Through simulation and experimentation, the results showed:
  - The thickness of the insert has a great influence on the heating rate, as well as the temperature distribution on the surface of the mold cavity.
  - The gap between the hot air nozzle and the mold surface also has an influence on the speed and temperature distribution.
  - The simulation also shows that the hot air injection method from outside can be analyzed first, in order to choose the optimal parameters depending on the product shape and injection mold structure.
- With the thin-walled products, the results in the thesis show that high temperatures are concentrated only at the surface of the insert, at the position of creating a mesh grid for plastic products. This is also one of the outstanding advantages of the hot air heating method.
- The heating process shows that the temperature of the surface of the mold will increase very quickly in the first 5 s of the heating process. Then, over the next 10 s, the temperature at the mold surface will slow down, and after 20 s, the temperature of the mold surface will remain stable.
- The case of using hot air heating step shows that the forming pressure can still be kept high, especially in the case of 0.4 mm thick products.
- The results of the temperature distribution of the mold surface show that the local heating ability of the Ex-GMTC method is quite good.
- The results of tensile test on thin-walled plastic products show positive effects of mold temperature and mesh thickness on the product's tensile capacity. In particular, the experimental results also show that the smaller the thickness, the higher percentage increase of the strength will be.

## APPENDIX: PUBLISHED PAPERS

1. Pham Son Minh, **Tran Minh The Uyen**, Dang Minh Phung and Thanh Trung Do, A study of temperature control for the pulsed cooling of injection molding process, The 2nd international conference on green technology and sustainable development, 2014, Vol. 1, pp. 81-85.
2. **Trần Minh Thế Uyên**, Phạm Sơn Minh, Đỗ Thành Trung, Trần Văn Trọn và Phan Thế Nhân, Ảnh hưởng của áp suất phun đến chiều dài dòng chảy của nhựa lỏng trên sản phẩm phun ép nhựa, Tạp chí Cơ khí Việt Nam, 2014, Số 7, tr. 60-63.
3. Pham Son Minh and **Tran Minh The Uyen**, Numerical study on flow length in injection molding process with high-speed injection molding, International Journal of Mechanical Engineering and Applications, 2014, Vol. 2, pp. 58-63.
4. Huỳnh Đỗ Song Toàn, **Trần Minh Thế Uyên**, Nguyễn Danh Kiên và Lê Hiếu Giang, Nâng cao độ chính xác kích thước sản phẩm nhựa thành mỏng bằng phương pháp kết hợp mô phỏng và thực nghiệm, Tạp chí Khoa học Giáo dục Kỹ thuật Trường ĐH SPKT TP.HCM, 2015, Số 32, tr. 42-45.
5. Phạm Sơn Minh, Đỗ Thành Trung, Lê Tuyên Giáo và **Trần Minh Thế Uyên**, Nghiên cứu quá trình gia nhiệt bằng khí nóng cho khuôn phun ép tạo sản phẩm dạng lưới, Tạp chí Khoa học Giáo dục Kỹ thuật Trường ĐH SPKT TP. HCM, 2015, Số 32, tr. 46-51.
6. Huỳnh Đỗ Song Toàn, **Trần Minh Thế Uyên**, Võ Bá Anh Đại và Lê Hiếu Giang, Phân tích gia nhiệt và làm nguội bằng nước trong khuôn ép phun một số sản phẩm khác nhau, Tạp chí Khoa học Giáo dục Kỹ thuật Trường ĐH SPKT TP. HCM, 2015, Số 33, tr. 44-50.
7. Phạm Sơn Minh, Đỗ Thành Trung, **Trần Minh Thế Uyên** và Phan Thế Nhân, Ảnh hưởng của chiều dày sản phẩm và nhiệt độ khuôn đến độ cong vênh của sản phẩm nhựa polypropylene dạng tấm, Hội nghị Khoa học và Công nghệ Toàn quốc về Cơ khí lần thứ IV, TP. HCM, 2015, Tập 2, tr. 536 – 543.
8. Thanh Trung Do, Pham Son Minh, **Tran Minh The Uyen** and Pham Hoang The, Numerical study on the flow length in an injection molding process with an external air-heating step, International Journal of Engineering Research and Application, 2017, Vol. 7, pp. 85-89.
9. Thanh Trung Do, **Tran Minh The Uyen** and Pham Son Minh, Study on the external gas-assisted mold temperature control for thin wall injection molding, International Journal of Engineering Research and Application, 2017, Vol. 7, pp. 15-19.

10. Pham Son Minh, Thanh Trung Do, **Tran Minh The Uyen** and Phan The Nhan, A study on the welding line strength of composite parts with various venting systems in injection molding process, *Key Engineering Materials*, 2017, Vol. 737, pp. 70-76. (SCOPUS).
11. Pham Son Minh and **Tran Minh The Uyen**, Numerical study on the heliacal cooling channel for injection molding process, *International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*, 2018, Vol. 5(2), pp. 86-91.
12. Pham Son Minh, Thanh Trung Do and **Tran Minh The Uyen**, The feasibility of external gas-assisted mold-temperature control for thin-wall injection molding, *Advances in Mechanical Engineering*, 2018, Vol. 10 (10), pp. 1-13. (SCIE).
13. Pham Son Minh, **Tran Minh The Uyen**, Tran Anh Son and Huynh Duc Thuan, Study on the temperature distribution of core plates during injection molding, *International Journal of Engineering Inventions*, 2018, Vol. 7 (10), pp. 24 – 29.
14. **Minh The Uyen Tran**, Son Minh Pham and Thanh Trung Do, Experimental study on external air heating for an injection molding process, *ICSSE2019*, 2019, pp. 681-685.
15. **Tran Minh The Uyen**, Le Tuyen Giao, Thanh Trung Do and Pham Son Minh, Numerical study on local heating for thin-walled product by external air heating, *Materials Science Forum*, 2019, Vol. 971, pp. 21-26. (SCOPUS).
16. **Tran Minh The Uyen**, Nguyen Truong Giang, Thanh Trung Do, Tran Anh Son and Pham Son Minh, External Gas-Assisted Mold Temperature Control Improves Weld Line Quality in the Injection Molding Process, *Materials*, 2020, Vol. 13, pp. 1-19. (SCIE).