

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

PHAN THẾ NHÂN

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA NHIỆT ĐỘ KHUÔN
ĐẾN ĐỘ ĐIỀN ĐẦY CỦA VẬT LIỆU COMPOSITE
TRONG QUY TRÌNH PHUN ÉP

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

Tp. Hồ Chí Minh, tháng 02 năm 2022

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

Ngàythángnăm 2022

MỞ ĐẦU

1. Lý do chọn đề tài

Sản phẩm composite nhựa nhiệt dẻo tạo hình bằng công nghệ phun ép được ứng dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực với kết cấu và hình dạng ngày càng phức tạp. Cùng với sự phát triển này, các khuyết tật của sản phẩm cũng xuất hiện ngày càng nhiều, nguyên nhân là do hiện tượng đông đặc nhanh khi vật liệu composite tiếp xúc với thành khuôn, độ nhót của vật liệu composite cao hơn các loại vật liệu nhựa thông dụng khác. Vì vậy, quá trình chảy của vật liệu vào lòng khuôn sẽ gặp nhiều khó khăn. Để tăng khả năng điền đầy khuôn trong quá trình phun ép với vật liệu composite, điều khiển nhiệt độ khuôn là một trong những giải pháp được nghiên cứu để hạn chế hiện tượng đông đặc nhanh và tăng khả năng chảy của vật liệu trong lòng khuôn.

Chính vì vậy, luận án “*Nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ khuôn đến độ điền đầy của vật liệu composite trong quy trình phun ép*” là rất cần thiết. Kết quả nghiên cứu của luận án là cơ sở khoa học, tài liệu tham khảo phục vụ công tác đào tạo và nghiên cứu khoa học tại các trường kỹ thuật, đặc biệt là trong lĩnh vực phun ép. Ngoài ra, kết quả nghiên cứu còn hướng đến chuyển giao công nghệ trong lĩnh vực sản xuất sản phẩm composite nhựa nhiệt dẻo bằng công nghệ phun ép, đặc biệt đối với sản phẩm kích thước rất nhỏ, kết cấu thành mỏng như các bảng mạch và giắc cắm trong lĩnh vực điện tử, đầu nối sợi quang nhằm tăng khả năng chịu nhiệt, cách điện, cải thiện đáng kể độ bền sản phẩm. Ngoài ra còn ứng dụng chế tạo các chi tiết máy như bánh răng, vòng đệm có kích thước nhỏ và độ chính xác cao với tổng trọng lượng khoảng vài gram.

2. Mục đích nghiên cứu

Nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ khuôn đến độ điền đầy của sản phẩm composite thành mỏng bằng phương pháp mô phỏng và thực nghiệm với mô hình gia nhiệt bằng nước có nhiệt độ khuôn từ 30 °C đến 110 °C và mô hình gia nhiệt bằng khí nóng có nhiệt độ khuôn từ 45 °C đến 140 °C.

3. Nội dung nghiên cứu:

- Nghiên cứu tổng quan và cơ sở lý thuyết các vấn đề liên quan đến nhiệt độ khuôn, quá trình điền đầy sản phẩm phun ép vật liệu composite.
- Thiết lập mô hình nghiên cứu và chế tạo thiết bị gia nhiệt bằng nước với nhiệt độ khuôn từ 30 °C đến 110 °C và thiết bị gia nhiệt bằng khí nóng với nhiệt độ khuôn từ 45 °C đến 140 °C.
- Nghiên cứu ảnh hưởng nhiệt độ khuôn đến chiều dài dòng chảy vật liệu composite với mô hình cơ bản dòng chảy xoắn ốc bằng mô phỏng và thực nghiệm với tỉ lệ sợi thủy tinh thay đổi từ 0 % đến 30 % và nhiệt độ khuôn thay đổi từ 30 °C đến 110 °C. Qua đó đánh giá hiệu quả điều khiển nhiệt độ

khuôn thông qua việc nâng cao khả năng chảy của vật liệu composite nhựa nhiệt dẻo. Đồng thời, xác định phương trình hồi quy về mối quan hệ giữa chiều dài dòng chảy, nhiệt độ khuôn và chiều dày sản phẩm.

- Nghiên cứu ảnh hưởng nhiệt độ khuôn đến khả năng điền đầy với sản phẩm composite thành mỏng, gân mỏng bằng mô phỏng và thực nghiệm với tỉ lệ sợi thay đổi từ 0 % đến 30 % và nhiệt độ khuôn thay đổi từ 45 °C đến 140 °C, nhằm ứng dụng hiệu quả phương pháp điều khiển nhiệt độ khuôn nâng cao độ điền đầy đối với sản phẩm thành mỏng và gân mỏng.

4. Phạm vi nghiên cứu và giới hạn đề tài

- Đánh giá khả năng chảy của vật liệu composite với mô hình dòng chảy xoắn ốc dày: 0,5 mm, 0,75 mm và 1 mm; sản phẩm thành mỏng dày: 0,2 mm, 0,4 mm và 0,6 mm; và mô hình sản phẩm gân mỏng.
- Nhiệt độ khuôn: từ 30 °C đến 110 °C và vùng nhiệt độ cao đến 140 °C
- Vật liệu nhựa PA6 và composite có nền PA6 trộn sợi ngắn thủy tinh với tỉ lệ thay đổi từ 0 % đến 30 %.

5. Phương pháp nghiên cứu

L luận án sử dụng các 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 phun ép để phân tích, đánh giá khả năng điền đầy của vật liệu.

6. Ý nghĩa khoa học:

- Mối quan hệ giữa chiều dài dòng chảy, nhiệt độ khuôn và chiều dày sản phẩm được xác định với tỉ lệ sợi thủy tinh từ 0 % đến 30 % của vật liệu composite nền nhựa PA6.
- Phương pháp phun ép với vùng nhiệt độ khuôn cao là một trong những giải pháp nâng cao khả năng chảy của vật liệu composite trong lòng khuôn. Đồng thời, điều khiển nhiệt độ bề mặt khuôn bằng khí nóng có thể ứng dụng phun ép sản phẩm thành mỏng, gân mỏng nhằm tăng khả năng điền đầy.
- Tăng nhiệt độ khuôn có thể tiến hành toàn bộ lòng khuôn hoặc một số vị trí trước khi dòng vật liệu chảy vào các vị trí có thành mỏng và gân mỏng.

7. Giá trị thực tiễn:

- Việc nâng cao khả năng chảy của vật liệu composite đã được thực hiện nhằm tăng khả năng chế tạo các sản phẩm nhựa nói chung và đặc biệt là các sản phẩm composite có thành mỏng nói riêng. Điểm mới trong nghiên cứu này là điều khiển nhiệt độ khuôn để nâng cao khả năng điền đầy lòng khuôn.
- Bằng phương pháp phun ép với nhiệt độ khuôn cao, giúp các công ty nâng cao khả năng công nghệ, không tốn quá nhiều chi phí đầu tư, vẫn đáp ứng được yêu cầu với sản phẩm thành mỏng và vật liệu độ nhớt thấp như vật liệu composite.

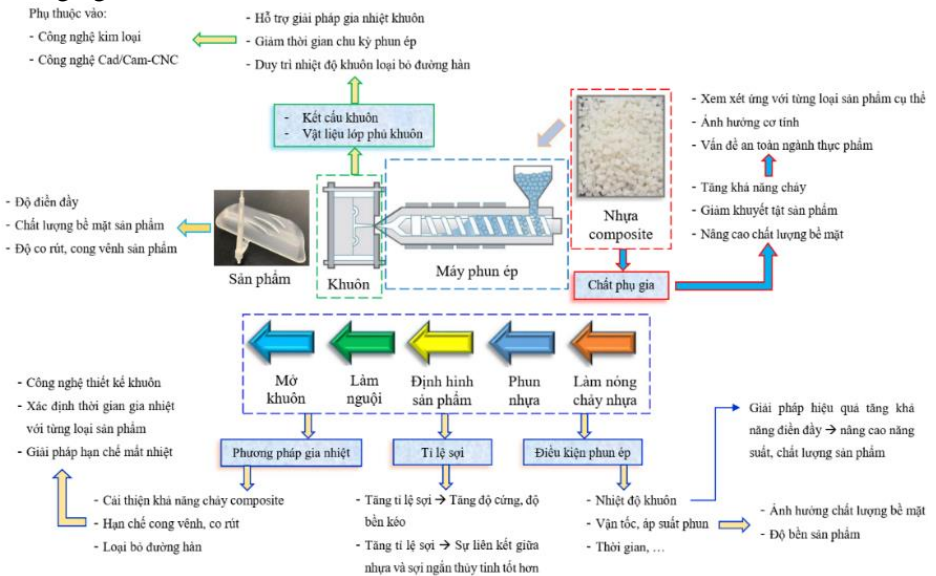
Chương 1: TỔNG QUAN

1.1. Giới thiệu công nghệ phun ép

Phun ép là công nghệ tạo hình trong khuôn với sự hỗ trợ của hệ thống gia nhiệt làm nóng chảy vật liệu từ bên ngoài và được phun ép vào khuôn thông qua vít me để tạo thành sản phẩm tương ứng khi khuôn nguội đi. Hiện nay, có rất nhiều loại vật liệu được sử dụng trong công nghệ phun ép, bao gồm cả vật liệu composite nhựa nhiệt dẻo. Phương pháp phun ép cho thấy những ưu điểm trong quá trình chế tạo sản phẩm bằng vật liệu composite như tăng độ đồng đều về hình dạng trong một loạt sản phẩm và ít bị khuyết tật.

1.2. Tình hình nghiên cứu ngoài nước

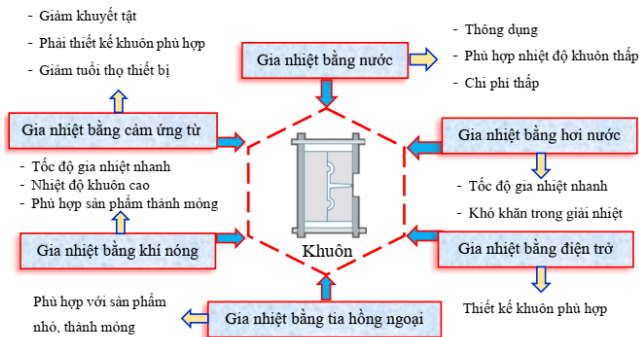
Công nghệ phun ép được sử dụng khá phổ biến và ứng dụng trong nhiều lĩnh vực. Trong thực tế phun ép vật liệu composite còn xuất hiện một số vấn đề ảnh hưởng đến năng suất, chi phí gia công, độ bền sản phẩm so với phun ép vật liệu nhựa thông thường. Vì vậy, nhiều nghiên cứu gần đây đã được thực hiện với các hướng nghiên cứu như hình 1.2.



Hình 1.2: Các hướng nghiên cứu trong lĩnh vực phun ép vật liệu composite

- **Ảnh hưởng chất phụ gia đến khả năng phun ép và độ bền sản phẩm composite.** Các hướng nghiên cứu này cho thấy các chất phụ gia được sử dụng như một trong những giải pháp nhằm tăng khả năng chảy của vật liệu, đặc biệt đối với vật liệu composite nhựa nhiệt dẻo trong lòng khuôn, đồng thời giảm hiện tượng co rút, cong vênh, rỗ bề mặt của sản phẩm khi kết thúc quá trình phun ép.

- **Kết cấu khuôn phun ép tăng khả năng chảy của vật liệu composite trong lòng khuôn.** Việc điều chỉnh kết cấu khuôn để thích nghi với yêu cầu của các phương pháp gia nhiệt, cũng như quy trình mới đã được xem xét nhằm nâng cao khả năng điền đầy dòng chảy, giảm chu kỳ phun ép, loại bỏ khuyết tật sản phẩm, nâng cao năng suất của quá trình tạo hình sản phẩm.
- **Điều kiện phun ép tăng năng suất và độ bền sản phẩm vật liệu composite nhựa nhiệt dẻo.** Các nghiên cứu về điều kiện phun ép đã được tiến hành trong thời gian qua như: áp suất phun ép, áp suất định hình, nhiệt độ nhựa và nhiệt độ khuôn là các yếu tố chính ảnh hưởng đến quá trình phun ép. Trong đó, thông số nhiệt độ khuôn được nhiều nghiên cứu đề cập đến như một trong những thông số ảnh hưởng lớn đến chất lượng bề mặt sản phẩm và năng suất phun ép.
- **Ảnh hưởng của tỉ lệ sợi thủy tinh đến độ bền sản phẩm vật liệu composite trong phun ép.** Các nghiên cứu đã cho thấy độ cứng vật liệu tăng dần khi sợi thủy tinh tăng, đồng thời độ bền cũng được cải thiện và xu hướng tăng lên khi tỉ lệ sợi thủy tinh tăng lên 30 %. Qua đó cho thấy tính chất cơ - lý của vật liệu composite phụ thuộc vào tỉ lệ sợi.
- **Ảnh hưởng của phương pháp gia nhiệt đến nhiệt độ khuôn và chất lượng sản phẩm composite trong phun ép.** Với các phương pháp gia nhiệt phần nào cải thiện khả năng chảy của vật liệu composite trong quá trình điền đầy. Tuy nhiên, với từng phương pháp vẫn tồn tại một số hạn chế cần được cải thiện (hình 1.4). Trong đó, phương pháp gia nhiệt bằng nước được sử dụng rất hiệu quả và phổ biến trong lĩnh vực phun ép, đây là phương pháp có thể nâng nhiệt độ khuôn lên đến gần nhiệt độ sôi của nước, là khoảng nhiệt độ phù hợp để duy trì khả năng chảy đối với các sản phẩm nhựa thông thường. Tuy vậy, với các trường hợp yêu cầu nhiệt độ khuôn cao, để nâng cao hiệu quả của quá trình phun ép thì phương pháp gia nhiệt bằng khí nóng từ bên ngoài sẽ được xem xét, đặc biệt đối với sản phẩm composite thành mỏng.



Hình 1.4: Một số phương pháp gia nhiệt khuôn phun ép
 Với các hướng nghiên cứu nhằm nâng cao năng suất, chất lượng sản phẩm

với vật liệu composite nhựa nhiệt dẻo trong thời gian qua, nhìn chung, phương pháp điều khiển nhiệt độ khuôn trong quá trình phun ép là một trong những giải pháp hiệu quả nâng cao năng suất, chất lượng sản phẩm, cũng như giảm chi phí sản xuất đối với sản phẩm là vật liệu composite. Vì vậy, nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ khuôn trong quy trình phun ép nhằm nâng cao chất lượng sản phẩm composite là rất cần thiết và đang được quan tâm nghiên cứu.

1.3. Tình hình nghiên cứu trong nước

Nhiều công trình nghiên cứu liên quan đến vật liệu composite và công nghệ phun ép đã được thực hiện, chẳng hạn như:

- Tác giả Đào Lê Chung cùng các cộng sự báo cáo tại Hội nghị khoa học và công nghệ lần thứ 12, Đại học Bách khoa Tp. HCM cho thấy khả năng nội địa hóa các chi tiết máy của xe tải nhẹ KIA-THACO bằng vật liệu composite.

- Tác giả Trần Minh Hồ đã thực hiện nghiên cứu “Khảo sát ảnh hưởng tỉ lệ của vật liệu gia cường đến tính chất vật liệu composite lai trên nền nhựa polymer”. Kết quả nghiên cứu cho thấy vật liệu composite được tạo ra với thành phần 35 % sợi thủy tinh + 60 % nhựa epoxy + 5 % TiO_2 có tính chất cơ lý cao hơn so với các loại composite có chứa 2 %, 10 % và 20 % TiO_2 .

- Tác giả Trần Minh Thế Uyên đã thực hiện “Nghiên cứu ảnh hưởng của gia nhiệt khuôn phun ép bằng khí nóng đến độ bền sản phẩm nhựa dạng thành mỏng”. Trong nghiên cứu này tác giả tập trung các phương pháp gia nhiệt cho lòng khuôn ứng dụng trong công nghệ phun ép nhằm làm rõ ảnh hưởng của các thông số đến gia nhiệt khuôn.

- Đề tài nghiên cứu Khoa học và Công nghệ cấp Nhà nước (KC.03.22/11-15) do tác giả Đặng Văn Nghin chủ nhiệm “Nghiên cứu thiết kế và chế tạo hệ thống khuôn phun ép nhựa nhiệt dẻo kỹ thuật với kênh dẫn nóng có điều khiển”. Trong đề tài này, nhóm nghiên cứu đã sử dụng kỹ thuật kênh dẫn nóng (hot runner) nhằm hạn chế hiện tượng giảm áp suất của dòng nhựa nóng chảy trong quá trình chảy qua hệ thống kênh dẫn.

- Ngoài ra, một số nghiên cứu liên quan của nhóm nghiên cứu Công nghệ khuôn mẫu Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp. HCM như: Lê Quốc Việt - Nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số công nghệ và phụ gia đến độ bền của vật liệu polymer và composite trong công nghệ phun ép, Phùng Huy Dũng - Nghiên cứu ảnh hưởng của phương pháp gia nhiệt bằng khí nóng đến sự xuất hiện đường hàn của sản phẩm nhựa thành mỏng, Vũ Viết Chuyên - Nghiên cứu ảnh hưởng của thông số phun ép tới độ bền uốn của vật liệu nhựa PA6.

Qua các kết quả nghiên cứu, điều khiển nhiệt độ khuôn chỉ được hiệu và thực hiện theo hướng giảm nhiệt cho khuôn hoặc hạn chế hiện tượng giảm áp suất của dòng nhựa trong quá trình chảy vào lòng khuôn. Khả năng hạn chế các khuyết tật cho sản phẩm vẫn chưa được xem xét và ứng dụng. Ngược lại, vấn đề giữ bề

mặt khuôn ở nhiệt độ cao trong quá trình phun ép nhằm nâng cao độ bền sản phẩm, đặc biệt với các sản phẩm có yêu cầu độ chính xác cao đã bắt đầu có sự quan tâm. Nhìn chung, chất lượng sản phẩm trong quy trình phun ép phụ thuộc vào nhiều thông số, trong đó nhiệt độ khuôn là một trong các thông số quan trọng. Nếu nhiệt độ khuôn thấp thì dòng chảy nhựa sẽ khó điền đầy, đặc biệt với vật liệu composite, do độ nhớt cao hơn so với nhựa thông thường. Với các kết quả nghiên cứu cũng như trong quá trình sản xuất, giải pháp gia nhiệt cho khuôn vẫn chưa được quan tâm đúng mức.

1.4. Nhu cầu thực tiễn sản phẩm composite nhựa nhiệt dẻo

Vật liệu composite nhựa nhiệt dẻo cũng được nghiên cứu và ứng dụng phổ biến ở nước ta. Các sản phẩm được tạo hình bằng công nghệ phun ép ngày càng có yêu cầu cao và được ứng dụng đa dạng trong nhiều lĩnh vực: cơ khí, điện tử, y tế, hàng không và đời sống. Vì vậy, có thể nói vật composite nhựa nhiệt dẻo có nhiều tiềm năng và triển vọng, đang được thay thế dần kim loại và hợp kim trong mọi lĩnh vực.

1.5. Vấn đề cần tiếp tục nghiên cứu:

- Làm rõ ảnh hưởng của nhiệt độ khuôn đến độ điền đầy vật liệu, đặc biệt với sản phẩm thành mỏng và sản phẩm gân mỏng bằng công nghệ phun ép.
- Đánh giá phương pháp mô phỏng, thực nghiệm quá trình điền đầy composite.
- Đánh giá kết quả tạo hình sản phẩm composite nhựa nhiệt dẻo thông qua ảnh hưởng của nhiệt độ khuôn khi phun ép sản phẩm.
- Ứng dụng phương pháp điều khiển nhiệt độ khuôn bằng khí nóng nâng cao khả năng điền đầy, đặc biệt với sản phẩm composite thành mỏng, gân mỏng.

Chương 2: CƠ SỞ LÝ THUYẾT

2.1. Vật liệu composite nhựa nhiệt dẻo

Vật liệu composite là vật liệu được tổ hợp từ hai hay nhiều loại vật liệu khác nhau và có nhiều ưu điểm hơn so với các vật liệu riêng lẻ. Trong đó: Vật liệu cốt có vai trò đảm bảo cho composite có được các đặc tính cơ học cần thiết, vật liệu nền có vai trò đảm bảo cho thành phần cốt của composite liên kết với nhau nhằm tạo ra tính nguyên khối và thống nhất cho composite.

Trong nghiên cứu này vật liệu được chọn để nghiên cứu là vật liệu composite nhựa nhiệt dẻo với nền PA6 (Polyaminde 6) gia cường sợi ngắn thủy tinh. Vật liệu sợi ngắn thủy tinh được gia cường nhằm tăng độ bền, dẻo dai của sản phẩm và được sử dụng nhiều trong công nghiệp, có tính chất cách điện và độ bền cao.

2.2. Tỷ lệ sợi của vật liệu composite

Tỷ lệ sợi được xác định dựa vào tỉ trọng của các vật liệu thành phần:

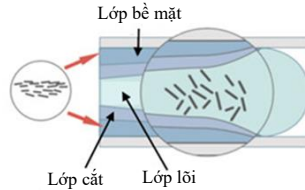
$$V_f = \frac{\rho_c - \rho_m}{\rho_f - \rho_m} \quad (2.8)$$

Trong đó: ρ_c là tỉ trọng của composite, ρ_m là tỉ trọng của thành phần nhựa, ρ_f là tỉ trọng của thành phần sợi.

Vật liệu composite được sử dụng trong nghiên cứu này là vật liệu được nhà sản xuất pha trộn sẵn sợi thủy tinh với vật liệu nền PA6 theo các tỉ lệ: 5 %GF, 10 %GF, 15 %GF, 20 %GF, 25 %GF, 30 %GF.

2.3. Định hướng sợi trong quá trình phun ép

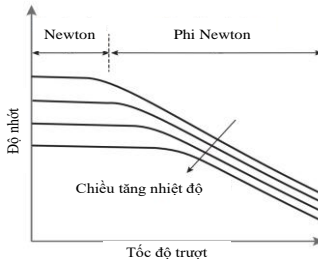
Trong quá trình điền đầy vật liệu vào lòng khuôn, nhựa nóng chảy ở nhiệt độ cao tiếp xúc với bề mặt lòng khuôn, hình thành lớp bề mặt (hình 2.2) và đông đặc nhanh vì hiện tượng mất nhiệt. Sợi gia cường trong lớp đông đặc này không được định hướng trong một thời gian ngắn, do đó sự sắp xếp theo hướng dòng chảy không đều hơn so với lớp cắt. Lớp nhựa composite nóng chảy trong cùng là lớp lõi và ít chịu ảnh hưởng của ma sát và các ứng suất trượt thấp nên chỉ có một ít sợi có thể định hướng theo hướng dòng chảy.



Hình 2.2: Mô tả định hướng sợi

2.4. Mối quan hệ giữa độ nhớt và nhiệt độ

Độ nhớt của các nhựa nhiệt dẻo phụ thuộc rất nhiều vào nhiệt độ với hiện tượng điển hình cho tính chất này là: độ nhớt của nhựa nhiệt dẻo sẽ giảm mạnh khi nhiệt độ của vật liệu đó tăng như hình 2.5.



Hình 2.5: Mối quan hệ giữa độ nhớt và nhiệt độ

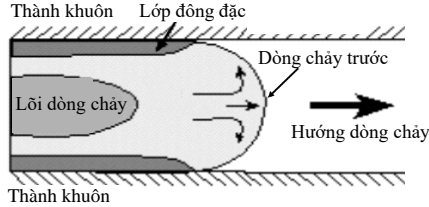
Để mô tả ảnh hưởng của nhiệt độ đến độ nhớt, người ta sử dụng hệ số a_T :

$$a_T = \frac{\mu_0(T)}{\mu_0(T_0)} \quad (2.12)$$

Trong đó, T_0 là nhiệt độ ban đầu, T là nhiệt độ tại thời điểm xem xét, μ_0 là độ nhớt tương ứng với nhiệt độ T và T_0 .

2.6. Đặc điểm của dòng chảy “Fountain”

Trong lĩnh vực phun ép, dòng chảy nhựa trong lòng khuôn tuân thủ theo các tính chất của dòng chảy “Fountain” với các đặc điểm: phần nhựa tại tâm dòng chảy sẽ chảy nhanh hơn phần nhựa gần với thành khuôn. Trong đó, tại vị trí tiếp xúc với thành 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 2.8).



Hình 2.8: Dòng chảy của nhựa trong khuôn

2.8. Nhiệt lượng trao đổi nhiệt môi trường xung quanh phần tử dòng chảy

Gọi q là véc tơ nhiệt lượng chảy qua phần tử dòng chảy có dạng tổng quát:

$$- \text{div} (q) = \text{div} [k \text{ grad} (T)] \tag{2.19}$$

Với k là hệ số dẫn nhiệt của dòng chảy.

2.9. Phương trình cân bằng dòng chảy vật liệu trong lòng khuôn phun ép

- Nguyên lý bảo toàn khối lượng trong hệ tọa độ Đề các:

Từ điều kiện cân bằng, ta được phương trình bảo toàn khối lượng:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div} (\rho \mathbf{u}) = 0 \tag{2.22}$$

$\text{div} (\rho \mathbf{u})$: Lượng thay đổi của khối lượng dòng chảy (thành phần đối lưu), t là thời gian, ρ là khối lượng riêng phần tử dòng chảy, \mathbf{u} là véc tơ vận tốc, $\frac{\partial \rho}{\partial t}$ là lượng thay đổi của khối lượng riêng theo thời gian.

- Phương trình bảo toàn động lượng trong hệ tọa độ Đề các:

$$\rho \frac{D_i}{Dt} = - p \text{ div} (\mathbf{u}) + \text{div} [k \text{ grad} (T)] + \Phi + S_i \tag{2.41}$$

Trong đó, Φ là hàm phân tán, p là áp suất bề mặt, S_i biểu thức nguồn nội năng phát sinh.

- Phương trình bảo toàn năng lượng trong hệ tọa độ Đề các

$$\rho \frac{DE}{Dt} = [- \text{div} (p \mathbf{u}) + \left[\frac{\partial (u\tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial (u\tau_{yx})}{\partial y} + \frac{\partial (u\tau_{zx})}{\partial z} + \frac{\partial (v\tau_{xy})}{\partial x} + \frac{\partial (v\tau_{yy})}{\partial y} + \frac{\partial (v\tau_{zy})}{\partial z} + \frac{\partial (w\tau_{xz})}{\partial x} + \frac{\partial (w\tau_{yz})}{\partial y} + \frac{\partial (w\tau_{zz})}{\partial z} \right] + \text{div} [k \text{ grad} (T) + S_E] \tag{2.46}$$

Trong đó, S_E biểu thức nguồn năng lượng phát sinh, τ_{ij} lực bề mặt ứng suất nhớt, $\frac{DE}{Dt}$ là lượng biến đổi năng lượng của phần tử dòng chảy.

- Hệ phương trình cơ bản chuyển động của dòng chảy

Phương trình bảo toàn khối lượng:

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \text{div}(\rho \mathbf{u}) = 0 \quad (2.47)$$

Phương trình bảo toàn động lượng theo phương x:

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \text{div}(\rho u \mathbf{u}) = - \frac{\partial p}{\partial x} + \text{div}[\mu \text{grad}(\mathbf{u})] + s_{Mx} \quad (2.48)$$

Phương trình bảo toàn động lượng theo phương y:

$$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \text{div}(\rho v \mathbf{u}) = - \frac{\partial p}{\partial y} + \text{div}[\mu \text{grad}(\mathbf{v})] + s_{My} \quad (2.49)$$

Phương trình bảo toàn động lượng theo phương z:

$$\frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \text{div}(\rho w \mathbf{u}) = - \frac{\partial p}{\partial z} + \text{div}[\mu \text{grad}(\mathbf{w})] + s_{Mz} \quad (2.50)$$

Phương trình bảo toàn nội năng:

$$\frac{\partial(\rho i)}{\partial t} + \text{div}(\rho i \mathbf{u}) = - p \text{div}(\mathbf{u}) + \text{div}[k \text{grad}(T)] + \Phi + S_i \quad (2.51)$$

Phương trình trạng thái:

$$p = p(\rho, T) \text{ và } i = i(\rho, T) \quad (2.52)$$

Trong đó: i là nội năng, s_M là biểu thức nguồn phát sinh, $\frac{dx}{dt} = u$, $\frac{dy}{dt} = v$,

$$\frac{dz}{dt} = w.$$

Gọi Φ là ký hiệu cho các đại lượng vô hướng. Phương trình trạng thái cân bằng của các đặc tính dòng chảy dạng tổng quát:

$$\frac{\partial(\int_V \rho \Phi dV)}{\partial t} + \int_S n(\rho \Phi \mathbf{u}) dS = \int_S n[\Gamma \text{grad}(\Phi)] dS + \int_V S_\Phi dV \quad (2.56)$$

Với Γ : hệ số khuếch tán, S_Φ : nguồn phát sinh.

Điều kiện biên các phương trình dòng chảy

- Điều kiện ban đầu: Tại mọi điểm vùng khảo sát \mathbf{u} và T được cho tại $t = 0$.
- Điều kiện biên: Tại thành khuôn $\mathbf{u} = \mathbf{u}_w$ (điều kiện không trượt), $T = T_w$ (nhiệt độ xác định). Tại biên vùng khảo sát: u , T được biết như hàm vị trí.

2.10. Phương trình mô phỏng gia nhiệt lòng khuôn

Mô hình k- ϵ tiêu chuẩn gồm hai phương trình, một cho động năng rối k và một cho độ tiêu tán rối ϵ .

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \text{div}(\rho k \mathbf{u}) = \text{div}\left[\frac{\mu_t}{\sigma_k} \text{grad} k\right] + 2\mu_t E_{ij} E_{ij} - \rho \epsilon \quad (2.62)$$

$$\frac{\partial(\rho \epsilon)}{\partial t} + \text{div}(\rho \epsilon \mathbf{u}) = \text{div}\left[\frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \text{grad} \epsilon\right] + C_{1\mu} \frac{\epsilon}{k} 2\mu_t E_{ij} E_{ij} - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} \quad (2.63)$$

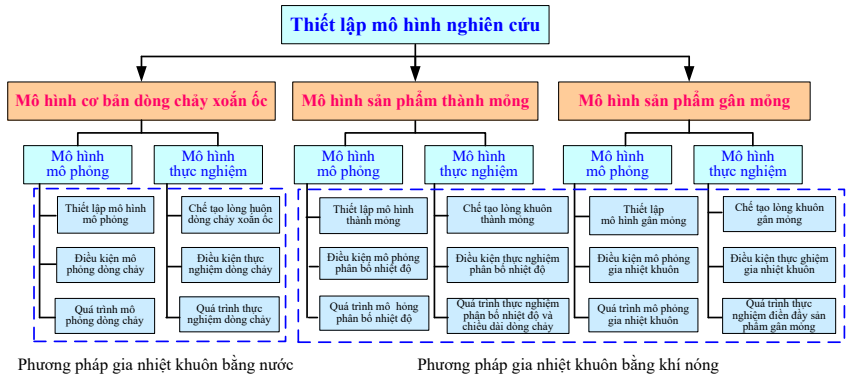
Trong đó, các hằng số hiệu chỉnh trong nhiều loại dòng chảy rối là:

$$C_{\mu} = 0.09; \quad \sigma_k = 1.00; \quad \sigma_\epsilon = 1.30; \quad C_{1\epsilon} = 1.44; \quad C_{2\epsilon} = 1.92$$

Điều kiện biên của các phương trình mô hình k- ϵ

Các điều kiện biên của mô hình cụ thể: Tại miệng vào: phân bố của k và ϵ phải được cho trước. Gần thành khuôn: phụ thuộc vào số Reynolds.

Chương 3: NGHIÊN CỨU XÂY DỰNG MÔ HÌNH MÔ PHỎNG VÀ THỰC NGHIỆM



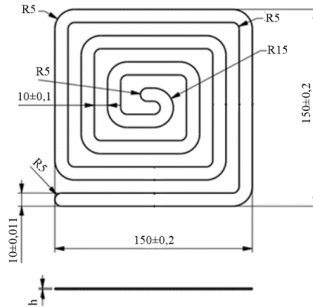
Hình 3.1: Sơ đồ thiết lập mô hình nghiên cứu

3.1. Mô hình cơ bản dòng chảy xoắn ốc

3.1.1. Mô hình mô phỏng

3.1.1.1. Thiết lập mô hình dòng chảy

Để nghiên cứu chiều dài dòng chảy, lòng khuôn được thiết kế như hình 3.2.



Hình 3.2: Kích thước mô hình cơ bản dòng chảy xoắn ốc

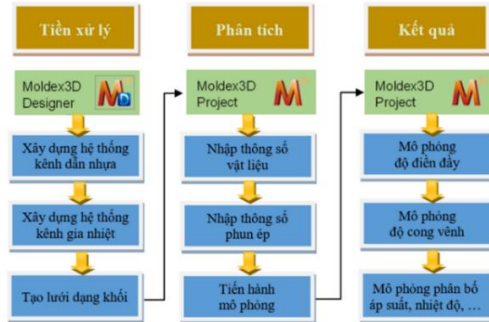
3.1.1.2. Điều kiện mô phỏng dòng chảy

Bảng 3.1: Thông số mô phỏng chiều dài dòng chảy xoắn ốc

TT	Thông số mô phỏng	Giá trị
1	Tỉ lệ sợi vật liệu composite	0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%
2	Nhiệt độ khuôn	30 °C, 50 °C, 70 °C, 90 °C, 110 °C
3	Chiều dày lòng khuôn	0,5 mm, 0,75 mm và 1 mm
4	Nhiệt độ nóng chảy nhựa	260 °C
5	Áp suất phun	30 Kg/cm ²
6	Thời gian phun ép	1 s

3.1.1.3. Quá trình mô phỏng dòng chảy

Mô đun Filling của Moldex3D được ứng dụng để tính toán, mô phỏng trên cơ sở phương trình mô tả trạng thái cân bằng đặc tính dòng chảy nhựa (phương trình 2.56). Quá trình mô phỏng được tiến hành như hình 3.4.

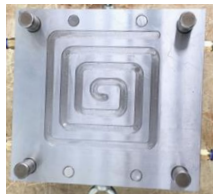


Hình 3.4: Quá trình mô phỏng ứng dụng phần mềm Moldex3D

3.1.2. Mô hình thực nghiệm:

3.1.2.1. Chế tạo lòng khuôn dòng chảy xoắn ốc

Lòng khuôn được chế tạo để thực nghiệm chiều dài dòng chảy như hình 3.7.



Hình 3.7: Lòng khuôn thực nghiệm dòng chảy xoắn ốc

3.1.2.2. Quá trình thực nghiệm dòng chảy

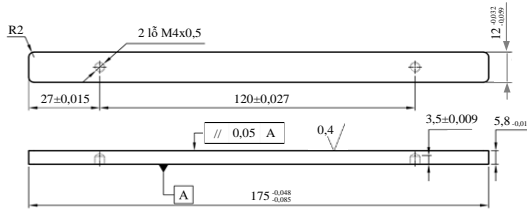
Quá trình thực nghiệm tiến hành theo trình tự: Thiết lập thông số thực nghiệm trên máy ép nhựa Shinewell-120B, tiến hành gia nhiệt khuôn bằng nước đến nhiệt độ đã được thiết lập, sau đó phun ép tạo hình sản phẩm và cuối cùng là xác định chiều dài dòng chảy sản phẩm thực nghiệm.

3.2. Mô hình sản phẩm thành mỏng

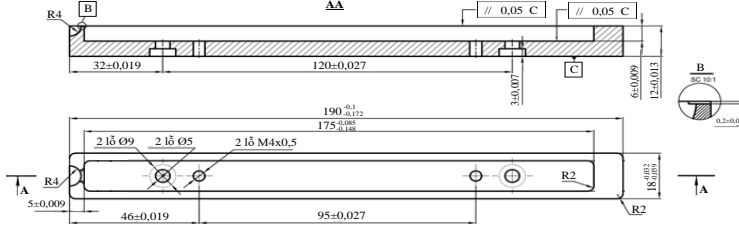
3.2.1. Mô hình mô mỏng

3.2.1.1. Thiết lập mô hình sản phẩm thành mỏng

Mô hình được thiết kế chiều dày lần lượt là 0,2 mm, 0,4 mm và 0,6 mm. Kích thước chiều dày sản phẩm được thay đổi thông qua việc thay đổi tấm gia nhiệt (hình 3.17) bên trong khối insert (hình 3.19) của lòng khuôn.



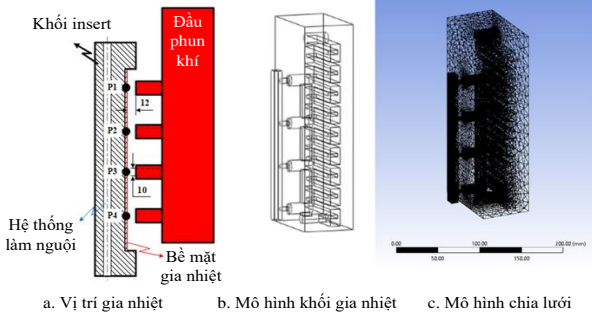
Hình 3.17: Kích thước tấm gia nhiệt lòng khuôn thành mỏng



Hình 3.19: Kích thước khối insert

3.2.1.2. Điều kiện mô phỏng phân bố nhiệt độ

Phần mềm ANSYS với mô đun CFX được sử dụng để mô phỏng phân bố nhiệt độ. Mô hình gia nhiệt gồm bốn công phun khí thiết kế như hình 3.20.



Hình 3.20: Mô hình mô phỏng gia nhiệt lòng khuôn bằng khí nóng

Quá trình mô phỏng được tiến hành với nhiệt độ khuôn ban đầu là 30 °C, thời gian gia nhiệt từ 0 s đến 30 s, áp suất không khí là 1 atm và một số thông số khác như bảng 3.4.

Bảng 3.4: Thông số mô phỏng gia nhiệt bằng khí nóng

Thông số mô phỏng	Giá trị					
Nhiệt độ không khí đầu ra (°C)	30	200	250	300	350	400
Tỉ trọng không khí (kg/m ³)	1,165	0,746	0,680	0,616	0,570	0,524
Nhiệt dung riêng không khí (J/kg°K)	1004	1026	1035	1046	1057	1068
Hệ số dẫn nở không khí	3,32	2,1	1,93	1,76	1,64	1,52

3.2.1.3. Quá trình mô phỏng phân bố nhiệt độ

Quá trình mô phỏng gia nhiệt lòng khuôn bằng khí nóng như hình 3.21.

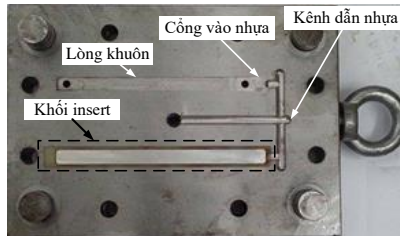


Hình 3.21: Trình tự mô phỏng gia nhiệt khuôn bằng khí nóng

3.2.2. Mô hình thực nghiệm

3.2.2.1. Chế tạo lòng khuôn thành mỏng

Lòng khuôn thực nghiệm như hình 3.22. Khối insert được thêm vào để thay đổi chiều dày sản phẩm lần lượt là 0,2 mm, 0,4 mm và 0,6 mm.



Hình 3.22: Lòng khuôn thực nghiệm sản phẩm thành mỏng

3.2.2.2. Điều kiện thực nghiệm phân bố nhiệt độ

Quá trình thực nghiệm được thực hiện với các thông số như sau: Nhiệt độ khuôn ban đầu 30 °C, nhiệt độ nóng chảy nhựa 260 °C, áp suất phun 30 Kg/cm², thời gian giải nhiệt 20 s, tốc độ phun 50 mm/s, thời gian phun 0,5 s, thời gian đóng khuôn 2,5 s, thời gian gia nhiệt lần lượt là 5 s, 10 s, 15 s và 20 s.

3.2.2.3. Quá trình thực nghiệm phân bố nhiệt độ, chiều dài dòng chảy

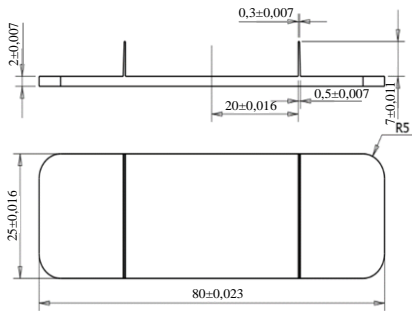
Quá trình thực nghiệm theo trình tự: Gia nhiệt lòng khuôn xác định phân bố nhiệt độ bề mặt khuôn, cài đặt thông số thực nghiệm và tiến hành phun ép tạo hình sản phẩm, kết quả sản phẩm thực nghiệm được ghi nhận khi kết thúc quá trình phun ép, cuối cùng là xác định độ điền đầy sản phẩm thành mỏng.

3.3. Mô hình sản phẩm gân mỏng

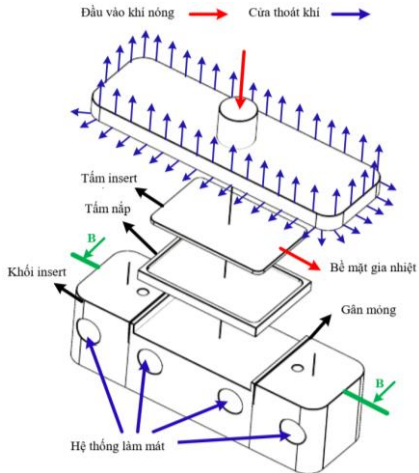
3.3.1. Mô hình mô phỏng

3.3.1.1. Thiết lập mô hình gân mỏng

Trong nghiên cứu này, mô hình gân mỏng được thiết kế như hình 3.25 và ô hình mô phỏng gia nhiệt được thiết lập như hình 3.26. Tại trung tâm lòng khuôn được thiết kế một tấm insert kích thước 40 mm × 25 mm × 1 mm với hệ thống gia nhiệt khí nóng một công phun và nhiệt độ là 400 °C.



Hình 3.25: Kích thước sản phẩm gân mỏng



Hình 3.26: Mô hình mô phỏng gia nhiệt khuôn sản phẩm gân mỏng

3.3.1.2. Điều kiện mô phỏng gia nhiệt khuôn

Điều kiện mô phỏng tương tự như quá trình mô phỏng sản phẩm thành mỏng, trong đó, nhiệt độ khuôn từ 45 °C đến 140 °C.

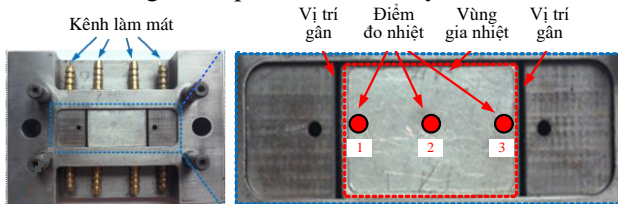
3.3.1.3. Quá trình mô phỏng gia nhiệt khuôn

Quá trình mô phỏng thực hiện tương tự với mô hình sản phẩm thành mỏng đã trình bày tại mục 3.2.1.3.

3.3.2. Mô hình thực nghiệm

3.3.2.1. Chế tạo lòng khuôn gân mỏng

Lòng khuôn thực nghiệm quá trình điền đầy được chế tạo như hình 3.27.



Hình 3.27: Lòng khuôn thực nghiệm sản phẩm gân mỏng

3.3.2.2. Điều kiện thực nghiệm gia nhiệt khuôn

Điều kiện thực nghiệm tương tự như điều kiện mô phỏng tại mục 3.3.1.2. Trong đó, quá trình phun ép được thực hiện bằng máy ép nhựa Shinewell 120B.

3.3.2.3. Quá trình thực nghiệm điền đầy sản phẩm gân mỏng

Quá trình thực nghiệm điền đầy sản phẩm gân mỏng gồm 5 bước tương tự như mục 3.2.2.3 với số lần lặp lại của mỗi thực nghiệm là 10 mẫu.

Chương 4: KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN ẢNH HƯỞNG NHIỆT ĐỘ KHUÔN ĐẾN CHIỀU DÀI DÒNG CHẢY

4.1. Kết quả mô phỏng chiều dài dòng chảy với mô hình xoắn ốc

Kết quả mô phỏng ứng với các chiều dày sản phẩm là 0,5 mm, 0,75 mm và 1 mm như bảng 4.1, 4.2 và 4.3. Kết quả cho thấy chiều dài dòng chảy thay đổi khi nhiệt độ khuôn thay đổi từ 30 °C đến 110 °C cho cả 3 trường hợp chiều dày sản phẩm. Đồng thời, khi tỉ lệ sợi thay đổi từ 0 % đến 30 % thì giá trị chiều dài dòng chảy cũng thay đổi. Điều đó cho thấy chiều dài dòng chảy không chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ khuôn mà còn phụ thuộc vào chiều dày sản phẩm cho từng loại vật liệu composite sợi gia cường. Tuy nhiên, mức độ thay đổi là khác nhau tương ứng với từng kích thước chiều dày, tỉ lệ sợi.

Bảng 4.1: Kết quả mô phỏng chiều dài dòng chảy sản phẩm dày 0,5 mm

Chiều dày sản phẩm (mm)	Nhiệt độ khuôn (°C)	Tỉ lệ sợi (%)						
		0	5	10	15	20	25	30
		Chiều dài dòng chảy (mm)						
0,5	30	28,3	26,1	24,1	20,8	19,7	15,7	14,7
	50	33,5	33,4	31,4	24,7	20,8	22,7	15,3
	70	36,3	35,7	34,7	30,5	26,1	26,4	18,8
	90	40,1	39,5	36,7	34,8	30,3	27,4	19,7
	110	43,1	44,4	42,1	39,8	34,7	30,7	21,5

Bảng 4.2: Kết quả mô phỏng chiều dài dòng chảy sản phẩm dày 0,75 mm

Chiều dày sản phẩm (mm)	Nhiệt độ khuôn (°C)	Tỉ lệ sợi (%)						
		0	5	10	15	20	25	30
		Chiều dài dòng chảy (mm)						
0,75	30	89,5	78,6	75,1	72,1	69,1	68,1	64,3
	50	91,3	80,7	76,9	74,3	71,7	70,3	65,6
	70	97,3	86,3	80,7	77,1	74,8	72,1	71,8
	90	101,7	90,1	87,1	81,5	77,5	75,1	73,3
	110	107,8	93,7	91,7	85,7	81,7	80,7	75,7

Bảng 4.3: Kết quả mô phỏng chiều dài dòng chảy sản phẩm dày 1 mm

Chiều dày sản phẩm (mm)	Nhiệt độ khuôn (°C)	Tỉ lệ sợi (%)						
		0	5	10	15	20	25	30
		Chiều dài dòng chảy (mm)						
1	30	115,3	102,7	94,3	90,7	85,7	82,1	80,6
	50	117,8	107,7	100,7	94,8	88,5	85,1	82,1
	70	128,7	111,1	105,7	101,3	97,1	96,1	93,1

	90	132,6	114,1	110,4	105,8	101,3	100,1	97,1
	110	150,8	117,5	114,5	109,1	105,8	101,1	99,9

4.2. Kết quả thực nghiệm chiều dài dòng chảy với mô hình xoắn ốc

Kết quả thực nghiệm như bảng 4.4, 4.5 và 4.6 cho thấy khi chiều dày sản phẩm càng nhỏ và tỉ lệ sợi gia cường càng lớn thì vật liệu composite càng khó chảy trong lòng khuôn. Qua đó, cho thấy có thể sử dụng thông số nhiệt độ khuôn như một giải pháp nhằm nâng cao khả năng chảy của vật liệu composite, có thể chọn nhiệt độ khuôn phù hợp ứng với từng kích thước sản phẩm để phun ép đạt hiệu quả cao nhất.

Bảng 4.4: Kết quả thực nghiệm chiều dài dòng chảy sản phẩm dày 0,5 mm

Chiều dày sản phẩm (mm)	Nhiệt độ khuôn (°C)	Tỉ lệ sợi (%)						
		0	5	10	15	20	25	30
0,5		Chiều dài dòng chảy (mm)						
	30	29,8	25,1	24,3	22,3	20,1	18,3	13,3
	50	32,7	31,7	29,1	24,1	22,3	21,2	14,3
	70	37,7	34,1	30,8	29,1	25,1	24,7	19,7
	90	39,7	37,8	34,2	32,7	28,4	25,2	23,6
	110	41,4	39,8	38,3	34,7	31,7	30,1	25,8

Bảng 4.5: Kết quả thực nghiệm chiều dài dòng chảy sản phẩm dày 0,75 mm

Chiều dày sản phẩm (mm)	Nhiệt độ khuôn (°C)	Tỉ lệ sợi (%)						
		0	5	10	15	20	25	30
0,75		Chiều dài dòng chảy (mm)						
	30	87,1	79,1	74,4	71,1	68,4	67,1	64,1
	50	89,1	81,3	75,5	73,1	70,6	69,8	65,2
	70	94,1	83,8	77,8	74,4	73,3	72,2	70,4
	90	99,3	87,4	81,8	79,0	74,4	74,4	72,6
	110	104,1	93,1	88,3	84,1	79,1	78,5	75,4

Bảng 4.7: Kết quả thực nghiệm chiều dài dòng chảy sản phẩm dày 1 mm

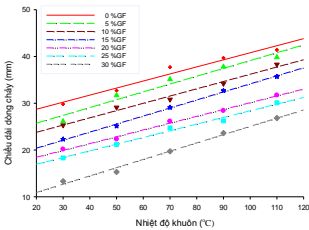
Chiều dày sản phẩm (mm)	Nhiệt độ khuôn (°C)	Tỉ lệ sợi (%)						
		0	5	10	15	20	25	30
1		Chiều dài dòng chảy (mm)						
	30	114,8	101,1	95,1	91,25	87,6	83,2	79,9
	50	118,1	109,1	101,5	97,6	91,1	87,2	84,6
	70	125,3	111,4	105,8	100,1	97,5	95,2	93,6
	90	135,8	114,8	108,4	104,3	100,2	98,1	96,1
	110	145,8	115,3	113,5	110,2	106,4	102,3	100,3

4.3. Kết quả so sánh giữa thực nghiệm và mô phỏng

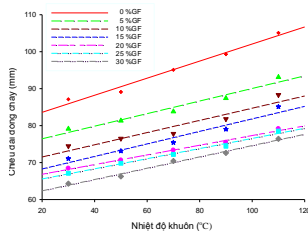
Kết quả so sánh thông qua giá trị chênh lệch giữa chiều dài dòng chảy của thực nghiệm và mô phỏng với chênh lệch trung bình là 6,9 %, 2,1 %, 1,4 % tương ứng chiều dày sản phẩm 0,5 mm, 0,75 mm và 1 mm. Nguyên nhân sai lệch là do ảnh hưởng của môi trường thực nghiệm phun ép và quá trình đo, cũng như kết quả mô phỏng là kết quả gần đúng. Nhìn chung, kết quả thực nghiệm là tương đối giống với kết quả mô phỏng trên phần mềm Moldex3D. Do đó, có thể lựa chọn một trong hai kết quả này để phân tích, đánh giá ảnh hưởng của nhiệt độ khuôn đến chiều dài dòng chảy. Đồng thời, có thể sử dụng thông số nhiệt độ khuôn như một giải pháp nâng cao khả năng chảy của vật liệu trong lòng khuôn phun ép.

4.4. Ảnh hưởng của nhiệt độ khuôn đến chiều dài dòng chảy vật liệu

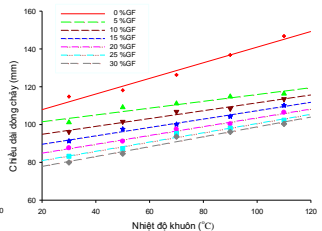
Ảnh hưởng của nhiệt độ khuôn đến chiều dài dòng chảy với tỉ lệ sợi, chiều dày sản phẩm thay đổi được mô tả như hình 4.1, 4.2, 4.3. Kết quả thực nghiệm cho thấy: khi tăng nhiệt độ khuôn từ 30 °C đến 110 °C, chiều dài dòng chảy nhựa tăng cho cả 3 trường hợp chiều dày sản phẩm 0,5 mm, 0,75 mm và 1 mm. Tuy nhiên, mức độ tăng là khác nhau khi chiều dày sản phẩm thay đổi. Qua đó, cho thấy cần phải chọn nhiệt độ khuôn phù hợp ứng với từng kích thước sản phẩm để quá trình phun ép đạt hiệu quả cao nhất. Với kết quả nghiên cứu này, gia nhiệt nhiệt độ khuôn như một giải pháp nhằm nâng cao độ điền đầy lòng khuôn, cũng như cải thiện phân bố sợi gia cường trong quá trình phun ép các sản phẩm bằng vật liệu composite nhựa nhiệt dẻo, qua đó tăng bền cho sản phẩm.



Hình 4.1: Chiều dài dòng chảy sản phẩm dày 0,5 mm



Hình 4.2: Chiều dài dòng chảy sản phẩm dày 0,75 mm

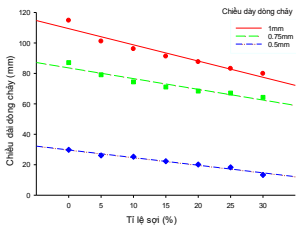


Hình 4.3: Chiều dài dòng chảy sản phẩm dày 1 mm

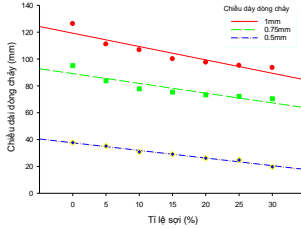
4.5. Ảnh hưởng của tỉ lệ sợi đến chiều dài dòng chảy

Chiều dài dòng chảy không chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ khuôn (hình 4.1, 4.2 và 4.3), mà còn phụ thuộc vào tỉ lệ sợi gia cường. Hình 4.4, 4.6, 4.9 thể hiện kết quả mô tả ảnh hưởng của tỉ lệ sợi đến chiều dài dòng chảy vật liệu composite ứng với nhiệt độ khuôn 30 °C, 70 °C và 110 °C. Kết quả thực nghiệm cho thấy khi tỉ lệ sợi (V_f) tăng lên trong khoảng khảo sát từ 0 % đến 30 % thì chiều dài dòng chảy giảm đáng kể. Cho nên, khi sử dụng sợi ngắn gia cường cho sản phẩm

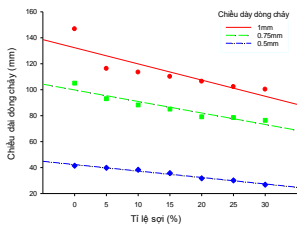
phun ép thì cần phải chọn nhiệt độ khuôn phù hợp nhằm tăng chất lượng cũng như đảm bảo hiệu quả kinh tế. Nhìn chung, trong quá trình phun ép sản phẩm bằng composite nhựa nhiệt dẻo thì nhiệt độ khuôn, tỉ lệ sợi có ảnh hưởng lớn đến định hướng của sợi, độ điền đầy, độ bóng bề mặt.



Hình 4.4: Chiều dài dòng chảy nhiệt độ khuôn 30 °C



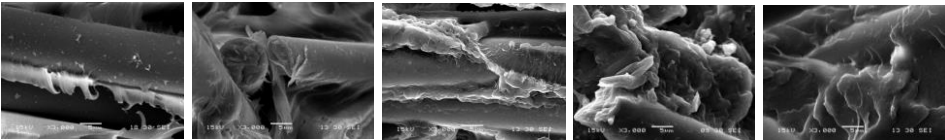
Hình 4.6: Chiều dài dòng chảy nhiệt độ khuôn 70 °C



Hình 4.9: Chiều dài dòng chảy nhiệt độ khuôn 110 °C

4.6. Ảnh hưởng của nhiệt độ khuôn đến liên kết sợi thủy tinh

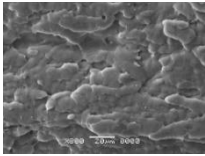
Phương pháp chụp SEM được sử dụng với vật liệu composite PA6 + 30 %GF, chiều dày 1 mm và nhiệt độ khuôn thay đổi từ 30 °C đến 110 °C. Kết quả ảnh SEM với độ phóng đại 3000 lần được mô tả như hình 4.10. Qua đó, cho thấy khi nhiệt độ khuôn thấp, độ nhớt của dòng chảy nhựa cũng thấp dẫn đến thành phần nhựa (PA6) và sợi ngắn thủy tinh (GF) khó liên kết với nhau, hình thành nhiều khoảng trống bên trong, ảnh hưởng lớn đến chất lượng điền đầy. Khi nhiệt độ khuôn đủ lớn (> 70 °C), độ nhớt của dòng chảy tăng lên, liên kết giữa các vật liệu thành phần được cải thiện rõ rệt và chất lượng điền đầy được tốt hơn.



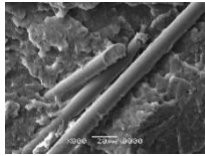
Hình 4.10: Liên kết sợi ứng với nhiệt độ khuôn thay đổi lần lượt: 30 °C, 50 °C, 70 °C, 90 °C, 110 °C

4.7. Ảnh hưởng của tỉ lệ sợi đến phân bố sợi thủy tinh

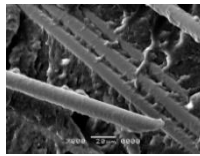
Phương pháp chụp SEM với độ phóng đại 800 lần được sử dụng cho các mẫu sản phẩm với nhiệt độ khuôn 70 °C, chiều dày 1 mm và tỉ lệ sợi thay đổi từ 0 % đến 30 %. Kết quả cho thấy tỉ lệ sợi ảnh hưởng đáng kể đến phân bố và liên kết giữa các thành phần vật liệu composite. Khi không có sợi gia cường, nhựa PA6 được phân bố đồng đều và có cấu trúc như gợn sóng ($V_f = 0\%$). Khi được gia cường sợi thì phân bố sợi trong phun ép có sự thay đổi đáng kể. Với $V_f = 30\%$ thì sợi ngắn thủy tinh có xu hướng dồn lại với nhau, dẫn đến ảnh hưởng đáng kể đến độ điền đầy của vật liệu composite trong lòng khuôn (hình 4.11).



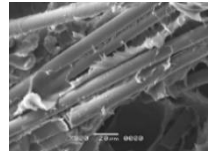
$V_f = 0 \%$



$V_f = 10 \%$



$V_f = 20 \%$



$V_f = 30 \%$

Hình 4.11: Sự phân bố sợi thủy tinh khi tỉ lệ sợi thay đổi

4.8. Xây dựng phương trình hồi quy xác định chiều dài dòng chảy vật liệu composite trong quy trình phun ép

Phương trình hồi quy mô tả quan hệ giữa chiều dài dòng chảy của vật liệu nhựa với nhiệt độ khuôn, chiều dày sản phẩm và tỉ lệ sợi thay đổi từ 0 % đến 30 % được xác lập dựa trên kết quả thực nghiệm (bảng 4.1, 4.2, 4.3) và phần mềm **Minitab** với độ tin cậy R^2 trong khoảng 93,5 % đến 98,4 % và được trình bày trong bảng 4.11. Kết quả phương trình hồi quy tổng quát có dạng:

$$L = aT + bh - c \quad (4.1)$$

Trong đó: L: chiều dài dòng chảy (mm), T: nhiệt độ khuôn ($^{\circ}\text{C}$), h: chiều dày sản phẩm (mm), a, b và c là các hệ số phụ thuộc vào T, V_f và h.

Bảng 4.11: Phương trình hồi quy xác định chiều dài dòng chảy

V_f (%)	Phương trình hồi quy	V_f (%)	Phương trình hồi quy
0	$L = 0,265T + 185h - 70,4$	20	$L = 0,170T + 142h - 53,0$
5	$L = 0,179T + 152h - 49,9$	25	$L = 0,175T + 138h - 52,7$
10	$L = 0,176T + 147h - 50,0$	30	$L = 0,187T + 143h - 60,0$
15	$L = 0,171T + 143h - 48,8$		

4.9. Mối quan hệ giữa tỉ lệ chiều dài dòng chảy và chiều dày sản phẩm đối với vật liệu composite

Mối quan hệ giữa tỉ lệ chiều dài dòng chảy và chiều dày sản phẩm với sự thay đổi của nhiệt độ, tỉ lệ sợi được xác định với kết quả như bảng 4.12.

Bảng 4.12: Mối quan hệ giữa tỉ lệ chiều dài dòng chảy và chiều dày sản phẩm đối với vật liệu composite

Chiều dày (mm)	Tỉ lệ sợi (%)	Nhiệt độ khuôn ($^{\circ}\text{C}$)				
		30	50	70	90	110
Tỉ lệ chiều dài dòng chảy và chiều dày sản phẩm						
0,5		26,6 - 59,6	28,6 - 65,4	39,4 - 75,5	47,2 - 79,4	51,6 - 82,8
0,75	0 - 30	85,7 - 116,1	86,9 - 118,8	93,8 - 125,4	96,8 - 132,4	100,5 - 138,8
1		79,9 - 114,8	84,6 - 118,1	93,6 - 125,3	96,1 - 135,8	100,3 - 145,8

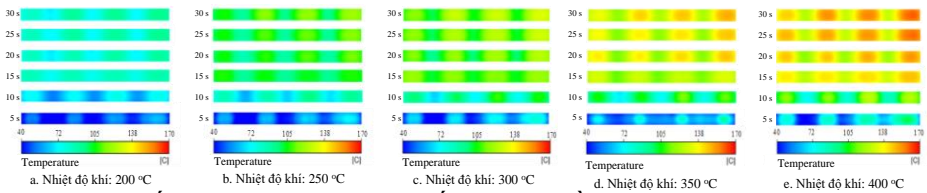
Căn cứ vào mối quan hệ này sẽ xác định được giới hạn khả năng điền đầy tương ứng với từng kích thước chiều dày, tỉ lệ sợi gia cường. Qua đó, thuận lợi hơn trong quá trình thiết kế, chế tạo lòng khuôn ứng dụng thực tiễn sản xuất.

Chương 5: ỨNG DỤNG PHƯƠNG PHÁP ĐIỀU KHIỂN NHIỆT ĐỘ KHUÔN NÂNG CAO ĐỘ ĐIỀN ĐẦY SẢN PHẨM THÀNH MỎNG, GẮN MỎNG

5.1. Mô hình dòng chảy lòng khuôn sản phẩm thành mỏng

5.1.1. Kết quả mô phỏng gia nhiệt lòng khuôn sản phẩm thành mỏng

Kết quả mô phỏng gia nhiệt lòng khuôn như hình 5.1 và nhiệt độ đo tại bốn điểm như bảng 5.1. Kết quả cho thấy sự khác biệt về nhiệt độ vào đầu giai đoạn gia nhiệt. Ngược lại, khi tăng nhiệt độ gia nhiệt, sự khác biệt về nhiệt độ cũng thể hiện rõ vào cuối giai đoạn gia nhiệt. Đồng thời, kết quả cũng cho thấy hiệu quả gia nhiệt chỉ tăng cao khi bắt đầu quá trình gia nhiệt và sau 20 s nhiệt độ tăng chậm lại. Do đó, với bốn công phun khí nóng, hệ thống gia nhiệt đạt hiệu quả cao trong 20 s đầu tiên, với tốc độ gia nhiệt tối đa $6,4\text{ }^{\circ}\text{C/s}$ với khí $400\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Hình 5.1: Kết quả mô phỏng phân bố nhiệt độ bề mặt lòng khuôn sau 30 s gia nhiệt với các nhiệt độ khí khác nhau

Bảng 5.1: Kết quả mô phỏng nhiệt độ tại lòng khuôn với thời gian gia nhiệt bằng khí nóng từ 5 s đến 30 s

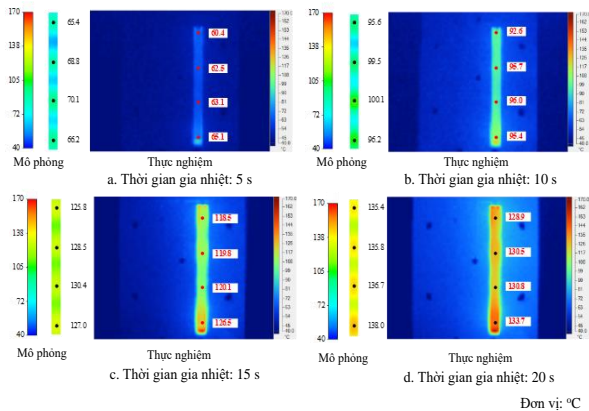
Thời gian gia nhiệt (s)	Vị trí	Nhiệt độ khí ($^{\circ}\text{C}$)				
		200	250	300	350	400
		Nhiệt độ lòng khuôn ($^{\circ}\text{C}$)				
5	P1	62,3	73,2	83,3	92,5	102,8
	P2	58,1	69,3	81,4	84,5	95,4
	P3	56,6	67,2	79,8	82,4	91,3
	P4	57,8	66	78,9	76,6	88,4
10	P1	76	91,6	109,1	115,8	125,6
	P2	78,3	92,6	109,5	115,5	126,8
	P3	74,5	84,4	105,6	104,3	115,7
	P4	74,4	86,8	104,4	105,1	115,6
15	P1	90,8	105,7	119	131,8	148,4
	P2	87,2	102,7	117,5	123,7	144,2
	P3	86,6	101,5	116,3	124,2	142,1
	P4	85,5	101,3	115,4	131	141,6

20	P1	92,2	114	125,6	147,8	154,8
	P2	90,2	110,9	122,9	146,6	153,7
	P3	88,3	108,1	119,7	145,9	151,1
	P4	84,8	105,3	117,1	145,9	150,5
25	P1	95,6	116,2	129,8	147,4	160,1
	P2	92,1	112,4	125,5	144	158,6
	P3	91,2	112,6	123,3	142,1	157,8
	P4	86,6	96,8	117,4	143,8	155,7
30	P1	96,5	119,6	132,9	151,7	161,3
	P2	94,4	117,7	128	147,9	159,4
	P3	94,3	116,9	127,4	145,3	158,1
	P4	84	106,2	119,6	140,7	152,5

5.1.2. Kết quả thực nghiệm phân bố nhiệt độ và chiều dài dòng chảy

5.1.2.1. Kết quả phân bố nhiệt độ khuôn

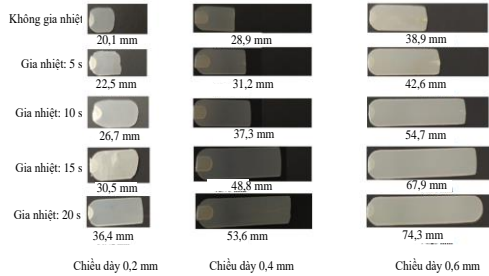
Sự phân bố nhiệt độ của khuôn được xác định như hình 5.3. Kết quả cho thấy với thời gian gia nhiệt 5 s, 10 s, 15 s và 20 s, nhiệt độ của bề mặt khuôn duy trì ở mức 62,8 °C, 94,9 °C, 121,2 °C và 130,9 °C tương ứng. Kết quả cũng chỉ ra với cách bố trí hợp lý các công phun khí, phương pháp điều khiển nhiệt độ khuôn bằng gia nhiệt khí nóng bên ngoài khuôn (Ex-GMTC) có thể được áp dụng cho hình dạng phức tạp của lòng khuôn. Kết quả so sánh có sự khác nhau về nhiệt độ giữa mô phỏng và thực nghiệm nhưng thấp hơn 12 °C. Sự khác biệt là do độ trễ của camera đo nhiệt. Nhìn chung, kết quả mô phỏng và thực nghiệm phù hợp và tương đối chính xác.



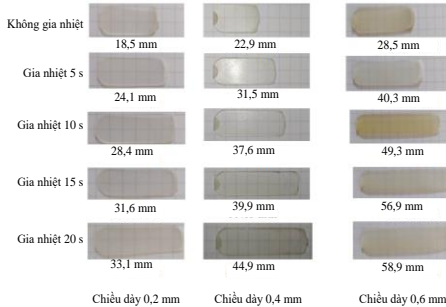
Hình 5.3: Kết quả thực nghiệm phân bố nhiệt độ tại bề mặt lòng khuôn với thời gian gia nhiệt khác nhau

5.1.2.2. Kết quả xác định chiều dài dòng chảy

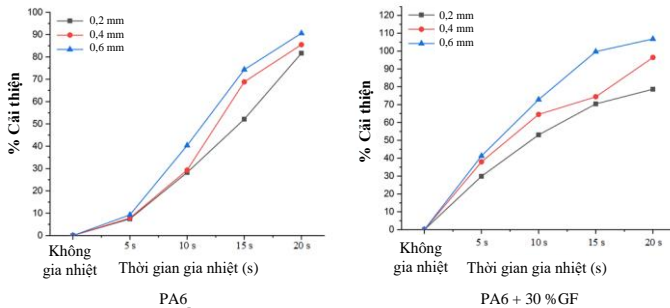
Kết quả thực nghiệm chiều dài dòng chảy như hình 5.4 và 5.5. Dòng thời, phần trăm cải thiện chiều dài dòng chảy theo thời gian gia nhiệt, chiều dày sản phẩm khác nhau như hình 5.6. Kết quả thực nghiệm cho thấy với vật liệu PA6 và PA6 + 30 %GF, tỉ lệ cải thiện khả năng chảy của vật liệu được cải thiện rõ rệt hơn. Cụ thể, với vật liệu PA6 và chiều dày dòng chảy 0,6 mm, chiều dài dòng chảy được tăng thêm khoảng 90,6 % khi gia nhiệt 20 s. Với vật liệu composite PA6 + 30 %GF, chiều dày dòng chảy là 0,6 mm khi gia nhiệt 20 s, chiều dài được cải thiện 108,6 %. Qua đó, cho thấy hiệu quả của phương pháp Ex-GMTC.



Hình 5.4: Kết quả thực nghiệm chiều dài dòng chảy vật liệu nhựa PA6



Hình 5.5: Kết quả thực nghiệm chiều dài dòng chảy vật liệu PA6 + 30 %GF

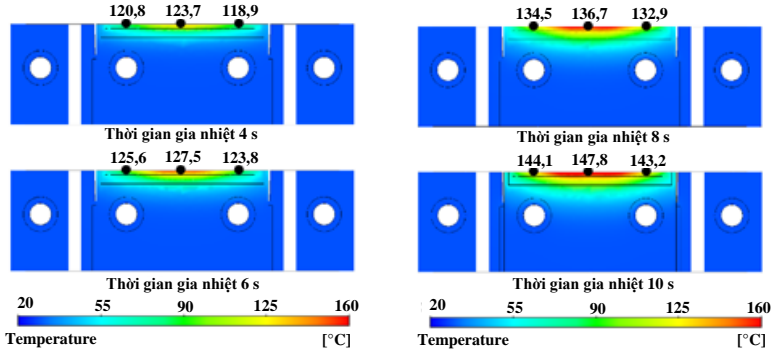


Hình 5.6: Sự cải thiện chiều dài dòng chảy với vật liệu PA6 và PA6 + 30 %GF

5.2. Mô hình dòng chảy lòng khuôn sản phẩm gân mỏng

5.2.1. Kết quả mô phỏng gia nhiệt khuôn sản phẩm gân mỏng

Mô phỏng gia nhiệt với nhiệt độ khí nóng 400 °C cho mô hình gân mỏng (hình 3.25) và sự phân bố nhiệt độ ở mặt cắt B-B thể hiện như hình 5.7. Kết quả mô phỏng cho thấy chênh lệch nhiệt độ giữa ba điểm nhỏ hơn 10 °C. Chênh lệch nhiệt độ giữa điểm 1 và điểm 3 (hình 3.27) thấp hơn 3,2 °C. Nhiệt độ càng phù hợp giữa điểm 1 và 3 thì sự điền đầy vào hai gân càng cân bằng.

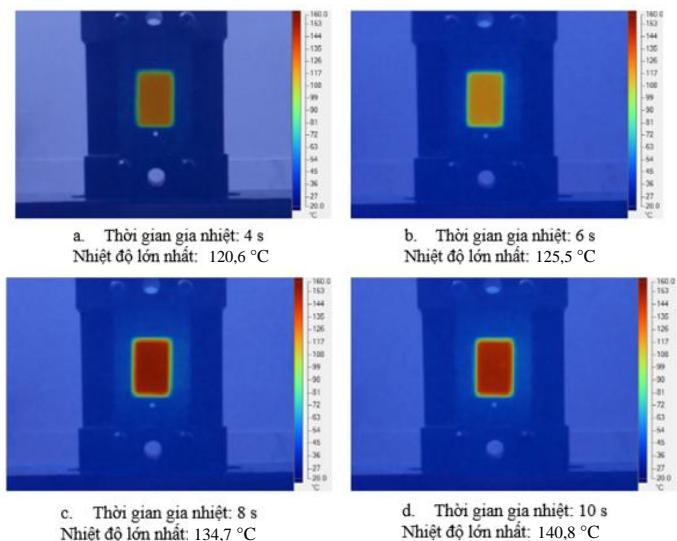


Hình 5.7: Kết quả mô phỏng phân bố nhiệt độ bề mặt khuôn tại mặt cắt B-B

5.2.2. Kết quả thực nghiệm gia nhiệt và độ điền đầy

5.2.2.1. Kết quả quá trình gia nhiệt

Để xác định sự phân bố nhiệt độ trong khuôn gân mỏng ở cuối bước gia nhiệt, camera hồng ngoại đo nhiệt được sử dụng với kết quả như hình 5.8. Kết quả cho thấy nhiệt độ phân bố đồng đều, quá trình gia nhiệt chỉ ảnh hưởng đến vị trí gia nhiệt. Đồng thời, để nghiên cứu bước gia nhiệt cho khuôn gân mỏng, nhiệt độ bề mặt lòng khuôn được đo tại ba điểm (hình 3.26) với số lần lặp lại của mỗi thực nghiệm là 10 lần, nhiệt độ trung bình tại các vị trí đo được tổng hợp trong bảng 5.2 và kết quả so sánh như hình 5.9. Với các giá trị được tô màu trong bảng 5.2 thể hiện nhiệt độ khuôn trong quá trình gia nhiệt, các vị trí không tô màu diễn tả giá trị nhiệt độ khuôn sau khi quá trình gia nhiệt kết thúc (đây là khoảng thời gian thiết bị gia nhiệt được di chuyển ra khỏi vùng gia nhiệt và hai nửa khuôn được đóng lại). Thông thường, thời gian đóng khuôn nhỏ hơn 6s. Vì vậy, trong nghiên cứu này, tổng thời gian di chuyển thiết bị gia nhiệt và đóng khuôn được chọn là 6 s. Nhiệt độ trong hình 5.9 cho thấy ở cuối bước gia nhiệt, nhiệt độ khuôn đạt 120,6 °C, 125,5 °C, 134,7 °C và 140,8 °C tại các thời điểm gia nhiệt lần lượt là 4 s, 6 s, 8 s và 10 s. Đồng thời, sau 6 s để đóng khuôn, nhiệt độ của bề mặt gia nhiệt giảm khoảng 10 °C với khuôn gân mỏng. Giá trị nhiệt độ tại bề mặt khuôn giảm là do khí nóng đã dừng phun vào vùng gia nhiệt, ngoài ra, nhiệt năng tại bề mặt khuôn truyền vào phần thể tích tấm khuôn và không khí.

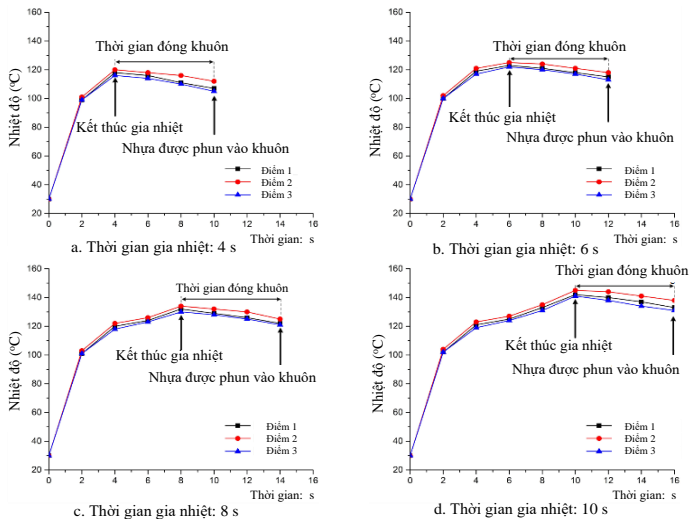


Hình 5.8: Phân bố nhiệt độ kết thúc bước gia nhiệt cho khuôn gân mỏng với thời gian gia nhiệt khác nhau

Bảng 5.2: Kết quả thực nghiệm đo nhiệt độ gia nhiệt lòng khuôn chi tiết gân mỏng với thời gian gia nhiệt khác nhau

Vị trí đo	Thời gian tiến hành đo (s)	Thời gian gia nhiệt (s)			
		4	6	8	10
		Nhiệt độ lòng khuôn (°C)			
1	0	30	30	30	30
	2	99,2	100,2	101,2	102,2
	4	118,6	119,9	120,1	121,1
	6	116,4	123,4	124,2	125,6
	8	111,1	121,5	132,6	133,5
	10	107	118	129,5	142,3
	12		115,5	126,7	140,8
	14			122	137,2
	16				133
2	0	30	30	30	30
	2	101,2	102,1	103,3	104,2
	4	120,6	121,9	122,2	123,6
	6	118,5	125,5	126,6	127,2
	8	116,7	124,4	134,7	135,1

	10	112,0	121,3	132,5	140,8
	12		118,4	130,2	144,2
	14			125,1	141,6
	16				138,1
3	0	30	30	30	30
	2	99,2	100,3	101,2	102,3
	4	116,2	117,5	118,3	119,9
	6	114,1	122,4	123,4	124,8
	8	110,4	120,1	130,5	131,1
	10	105,6	117,2	128,9	141,4
	12		113,2	125,7	138,3
	14			121,1	134,5
	16				131,1
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 10px; background-color: #f4a460; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> Nhiệt độ khuôn khi gia nhiệt </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 10px; background-color: white; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> Nhiệt độ khuôn khi kết thúc gia nhiệt và tiến hành đóng khuôn </div>					

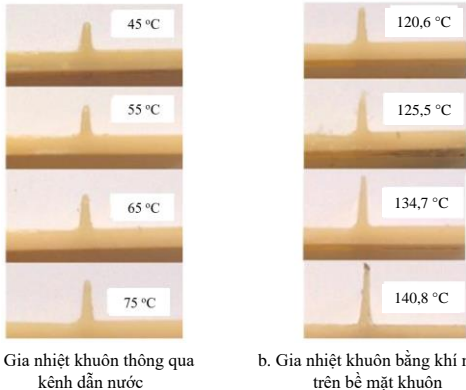


Hình 5.9: So sánh giá trị nhiệt độ bề mặt khuôn gân mỏng tại ba vị trí đo

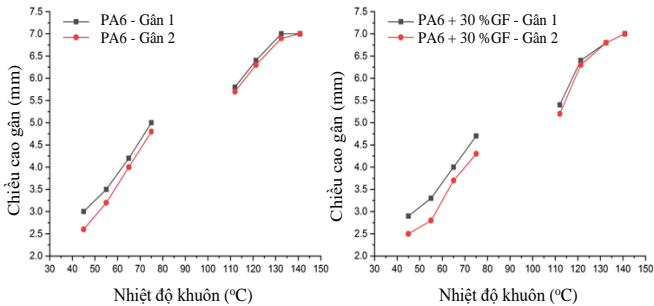
5.2.2.2. Kết quả độ điền đầy chiều cao gân mỏng

Ở mỗi nhiệt độ khuôn, chu trình phun ép được thực hiện 20 lần để đạt sự ổn định của hệ thống, trước khi 10 chu kỳ tiếp theo được sử dụng để so sánh chiều cao gân. Sau bước phun ép, các mẫu sản phẩm được thu thập và đo chiều cao gân và kết quả được thể hiện trong hình 5.10 và 5.11. Khi nhiệt độ khuôn tăng từ 45 °C đến 75 °C, chiều cao gân tăng từ 2,8 mm đến 4,2 mm. Tuy nhiên, khi

Ex-GMTC được sử dụng với nguồn khí 400 °C, nhiệt độ khuôn thay đổi từ 120,6 °C đến 140,8 °C và chiều cao gân mỏng đạt tối đa 7 mm. Sự cải thiện này là do khả năng hạn chế chiều dày lớp đông đặc khi dòng chảy chảy qua tấm insert trong lòng khuôn, giúp tăng áp lực điền đầy tại vị trí gân mỏng. Kết quả thực nghiệm so sánh chiều cao giữa hai gân trên cùng một sản phẩm cũng cho thấy chiều cao của hai gân khác nhau khi điều khiển nhiệt độ khuôn thông qua kênh dẫn nước (hình 3.25). Điều này là do sự không đối xứng của kết cấu khuôn, sự phân bố nhiệt độ bên trong khuôn bị ảnh hưởng, đặc biệt là trong trường hợp nhiệt độ khuôn thấp hơn. Ngược lại, với Ex-GMTC, việc gia nhiệt chỉ ảnh hưởng đến bề mặt khuôn phun ép, do đó, kết cấu khuôn hầu như không ảnh hưởng đến kết quả gia nhiệt. Như vậy, chiều cao của hai gân mỏng đồng đều hơn so với phương pháp điều khiển gia nhiệt bằng nước. Nhìn chung, phương pháp Ex-GMTC hỗ trợ phân bố nhiệt độ tốt hơn so với phương pháp gia nhiệt bằng nước, kết quả là sự cân bằng nhiệt độ tốt hơn trong dòng chảy có thể đạt được, qua đó cải thiện quá trình điền đầy trong lòng khuôn.



Hình 5.10: Sự thay đổi chiều cao gân với nhiệt độ khuôn khác nhau



Hình 5.11: So sánh chiều cao gân mỏng với các nhiệt độ khuôn khác nhau của vật liệu PA6 và PA6 + 30 %GF

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Kết luận của luận án

Thông qua quá trình thực hiện luận án với mục tiêu chính là nghiên cứu khả năng điền đầy của sản phẩm composite thành mỏng bằng phương pháp điều khiển nhiệt độ khuôn trong qui trình phun ép, luận án đã đạt được các kết quả chính như sau:

- Chế tạo thành công các thiết bị phục vụ quá trình thực nghiệm nhằm nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ khuôn đến khả năng chảy của vật liệu composite nhựa nhiệt dẻo trong lòng khuôn phun ép, bao gồm:

+ Thiết kế và chế tạo mô hình cơ bản nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ khuôn đến chiều dài dòng chảy vật liệu composite trong khuôn phun ép với chiều dày sản phẩm: 0,5 mm, 0,75 mm và 1 mm.

+ Thiết kế và chế tạo mô hình nghiên cứu dòng chảy composite với nhiệt độ khuôn cao cho hai mô hình:

- Mô hình dòng chảy thành mỏng với ba mức giá trị chiều dày: 0,2 mm, 0,4 mm và 0,6 mm.

- Mô hình ứng dụng sản phẩm có hai gân mỏng với chiều cao 7 mm.

- Thực nghiệm đánh giá ảnh hưởng của nhiệt độ khuôn với 2 vùng nhiệt độ khác nhau. Kết quả đạt được như sau:

+ Với mô hình cơ bản dòng chảy xoắn ốc, điều chỉnh nhiệt độ khuôn từ 30 °C đến 110 °C, vật liệu composite nền PA6 và gia cường sợi ngắn thủy tinh với tỉ lệ thay đổi từ 0 % đến 30 %. Kết quả cho thấy:

- Chiều dài dòng chảy của lòng khuôn có chiều dày 1 mm là lớn hơn so với chiều dày 0,75 mm và 0,5 mm. Chiều dày lớp đông đặc giảm khi nhiệt độ khuôn được nâng cao, độ nhớt của cả dòng nhựa thấp, nên dễ chảy và di chuyển được khoảng cách xa hơn.

- Việc lựa chọn và điều chỉnh nhiệt độ khuôn đóng vai trò quan trọng nhằm cân bằng dòng chảy của nhựa vào lòng khuôn. Kết quả thực nghiệm cho thấy: khi tăng nhiệt độ khuôn từ 30 °C đến 110 °C, chiều dài dòng chảy nhựa tăng cho cả ba trường hợp chiều dày sản phẩm khác nhau. Tuy nhiên, mức độ tăng là khác nhau khi chiều dày sản phẩm thay đổi.

- Với vùng nhiệt độ khuôn thay đổi từ 30 °C đến 110 °C, kết quả thực nghiệm là tương đối giống với kết quả mô phỏng trên phần mềm Moldex3D. Điều này cho thấy có thể lựa chọn một trong hai phương pháp để xác định ảnh hưởng của nhiệt độ khuôn đến khả năng điền đầy trong quá trình ép phun sản phẩm composite nhựa nhiệt dẻo.

- Khả năng chảy của dòng vật liệu composite không chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ khuôn mà còn phụ thuộc vào tỉ lệ sợi gia cường. Khi tỉ lệ sợi tăng lên trong khoảng khảo sát từ 0 % đến 30 % thì chiều dài dòng chảy giảm đáng

kê. Cho nên, khi sử dụng sợi ngắn gia cường cho sản phẩm phun ép thì cần phải chọn nhiệt độ khuôn phù hợp nhằm tăng chất lượng cũng như đảm bảo hiệu quả kinh tế (thời gian, chi phí năng lượng) trong quá trình sản xuất. Ngoài ra, nhiệt độ khuôn có ảnh hưởng lớn đến định hướng sợi trong dòng chảy và chất lượng bề mặt. Nếu nhiệt độ khuôn thấp và chênh lệch lớn với nhiệt độ chảy của vật liệu thì bề mặt của sản phẩm sẽ rất thô và các sợi lộ rõ trên bề mặt.

+ Với mô hình dòng chảy có thành mỏng, gân mỏng và nhiệt độ khuôn cao, phương pháp gia nhiệt cho bề mặt khuôn bằng khí nóng đã được sử dụng để nâng nhiệt độ khuôn lên đến 140 °C. Với mô hình thành mỏng, nhiệt độ khí được thay đổi từ 200 °C đến 400 °C và chu trình ép được thực hiện ở độ dày sản phẩm lần lượt là 0,2, 0,4 và 0,6 mm. Với mô hình gân mỏng, Ex-GMTC được thực hiện bằng cách sử dụng một cổng phun khí 400 °C đặt ở trung tâm lòng khuôn. Dựa vào các kết quả đạt được, các kết luận được rút ra như sau:

- Với chiều dài lòng khuôn 175 mm, chiều dài dòng chảy được điền đầy cho thấy quá trình gia nhiệt tương đối cân bằng khi sử dụng bốn cổng khí nóng, tuy vậy vẫn có một số vùng nhiệt độ cao hơn do gần cổng gia nhiệt. Hiệu quả gia nhiệt cao ở đầu quá trình gia nhiệt, tuy nhiên, sau 20 s nhiệt độ tăng chậm lại. Kết quả này là do sự đối lưu nhiệt giữa khí nóng và bề mặt khuôn. Tốc độ gia nhiệt cao nhất đạt được là 6,4 °C/s với khí 400 °C.
- Do đối lưu nhiệt, kết quả cho thấy ứng với một mức nhiệt độ khí nhất định, Ex-GMTC tồn tại một giới hạn về nhiệt độ lớn nhất tại bề mặt gia nhiệt. Tuy nhiên, với khuôn có chiều dài dòng chảy dài, bề mặt khuôn đạt 158,4 °C, ở nhiệt độ gần như toàn bộ dòng chảy có thể dễ dàng điền đầy lòng khuôn.
- Với khuôn gân mỏng, khi nhiệt độ khuôn tăng từ 45 °C đến 75 °C, chiều cao gân đã tăng từ 2,8 mm đến 4,2 mm. Khi Ex-GMTC được sử dụng, nhiệt độ khuôn thay đổi từ 120,6 °C đến 140,8 °C và chiều cao gân mỏng đạt 7 mm. Do Ex-GMTC không bị ảnh hưởng bởi kết cấu khuôn, nên phương pháp gia nhiệt này hỗ trợ phân bố nhiệt độ tốt hơn so với phương pháp gia nhiệt bằng nước; kết quả là sự cân bằng nhiệt độ tốt hơn trong dòng chảy có thể đạt được.
- Quá trình gia nhiệt cho thấy vị trí gia nhiệt không nhất thiết tại khu vực thành mỏng. Vùng gia nhiệt có thể được chọn sao cho hạn chế được lớp đông đặc nhằm hạn chế hiện tượng cản trở dòng chảy vật liệu vào khu vực có thành mỏng.

+ Nhìn chung kết quả cho thấy phương pháp phun ép với vùng nhiệt độ khuôn cao là một trong những giải pháp nhằm nâng cao khả năng chảy của dòng vật liệu trong lòng khuôn. Ngoài ra, phương pháp gia nhiệt bằng khí nóng có thể ứng dụng cho các trường hợp phun ép sản phẩm có thành mỏng nhằm tăng khả

năng điền đầy lòng khuôn. Việc tăng nhiệt độ lòng khuôn có thể tiến hành tại toàn bộ lòng khuôn, hoặc tại một số vị trí trước khi dòng vật liệu chảy vào vị trí có thành mỏng.

✚ Tính mới của luận án:

1. Thiết lập được mô hình nghiên cứu độ điền đầy vật liệu composite nhựa nhiệt dẻo với các vùng nhiệt độ khuôn khác nhau.
2. Chiều dài dòng chảy vật liệu composite với mẫu thành mỏng được xác định bằng mô phỏng và thực nghiệm với tỉ lệ sợi ngắn thủy tinh và nhiệt độ khuôn thay đổi, đặc biệt với vùng nhiệt độ khuôn cao hơn 70 °C.
3. Thông qua phương pháp thực nghiệm chiều dài dòng chảy, xác định:
 - Phương trình hồi quy mối quan hệ giữa chiều dài dòng chảy, nhiệt độ khuôn và chiều dày sản phẩm.
 - Tỉ lệ giữa chiều dài dòng chảy và chiều dày sản phẩm ứng với các nhiệt độ khuôn, tỉ lệ phần trăm sợi khác nhau.
4. Phương pháp gia nhiệt cho bề mặt khuôn bằng khí nóng từ bên ngoài hiệu quả với mô hình dòng chảy có thành mỏng và nhiệt độ khuôn cao. Trong đó, với vật liệu composite PA6 + 30 %GF và chiều dày dòng chảy là 0,6 mm, khi gia nhiệt 20 s nhiệt độ bề mặt khuôn đạt 133,7 °C, chiều dài dòng chảy được cải thiện 108,6 %. Điều khiển nhiệt độ khuôn bằng phương pháp Ex-GMTC có thể thực hiện trên toàn bộ lòng khuôn hoặc tại một số vị trí trước khi dòng vật liệu composite chảy vào vị trí có thành mỏng và gân mỏng.

✚ Kiến nghị:

Nhằm hoàn thiện và nâng cao khả năng ứng dụng sản phẩm composite trong công nghệ phun ép với phương pháp điều khiển nhiệt độ khuôn, một số kiến nghị về hướng phát triển của nghiên cứu được đề xuất như sau:

- Nghiên cứu định hướng sợi nhằm nâng cao cơ tính sản phẩm composite nhựa nhiệt dẻo thông qua quá trình điều khiển nhiệt độ khuôn cao.
- Nghiên cứu tích hợp điều khiển nhiệt độ khuôn bằng khí nóng và nước nhằm hạn chế độ cong vênh của sản phẩm composite trong công nghệ phun ép.

CÁC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ

1. Trần Minh Thế Uyên, **Phan Thế Nhân**, Phạm Sơn Minh, Thanh Trung Do và Trần Văn Trọn, *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, Số 7, 2014, trang 60-63.
2. Phạm Sơn Minh and **Phan The Nhan**, *Effect of CaCO₃ additive on the warpage of injection molding part*, Universal Journal of Mechanical Engineering, Vol. 2, Issue 9, 2014, p. 280-286.
3. Trần Minh Thế Uyên, **Phan Thế Nhân**, Phạm Sơn Minh và Đỗ Thành Trung, *Ảnh hưởng nhiệt độ đến chiều dài dòng chảy của nhựa lỏng trong khuôn phun ép nhựa*, Tạp chí Khoa học Giáo dục Kỹ thuật, Số 30, 2014, trang 15-20.
4. Đỗ Thành Trung, Phạm Sơn Minh, **Phan Thế Nhân** và Phùng Huy Dũng, *Gia nhiệt cục bộ cho lòng khuôn phun ép nhựa bằng khí nóng*, Tạp chí Cơ khí Việt Nam, Số 4, 2015, trang 15-20.
5. Phạm Sơn Minh, Đỗ Thành Trung, Nguyễn Hộ và **Phan Thế Nhân**, *Đánh giá quá trình gia nhiệt cho lòng khuôn hình chữ nhật bằng phương pháp phun khí nóng từ bên ngoài*, Tạp chí Khoa học Giáo dục Kỹ thuật, Số 33, 2015, trang 9-15.
6. 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, trang 536-543.
7. Phạm Sơn 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, Vol. 737, 2017, p. 70-76. (SCOPUS Journal).
8. Phạm Sơn Minh and **Phan The Nhan**, *Numerical study on the air heating for injection mold*, International Journal of Research in Engineering and Science, Vol. 6, Issue 8, 2018, p. 31-35.
9. **Phan The Nhan**, Thanh Trung Do, Tran Anh Son and Phạm Sơn Minh, *Study on external gas-assisted mold temperature control for improving the melt flow length of thin rib products in the injection molding process*, Advances in Polymer Technology, 2019, p. 1-17, doi.org/10.1155/2019/5973403 (SCIE Journal).
10. **Phan The Nhan**, Thanh Trung Do and Phạm Sơn Minh, *Numerical study on the melt flow length of the composite materials in the injection molding process*, Materials Science Forum, Vol. 971, 2019, p. 15-20. (SCOPUS Journal).
11. **Phan The Nhan**, Nguyen Tinh and Nguyen Phuoc Thien, *Study on the temperature distribution of the mold cavity with the air heating method*, American Journal of Engineering Research (AJER), Vol. 9, Issue 11, 2020, p. 116-120.
12. **Phan Thế Nhân** và Nguyễn Tinh, *Nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ khuôn đến áp suất định hình trong quy trình phun ép nhựa*, Tạp chí Cơ khí Việt Nam, Số 11, 2020, trang 54-57.