

TÓM TẮT NHỮNG ĐÓNG GÓP MỚI CỦA LUẬN ÁN

Họ & tên NCS : Phan Thế Nhân MSNCS: 1424004
Thuộc chuyên ngành : Kỹ thuật cơ khí Khoá: 2014-2017
Tên luận án : Nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ khuôn đến độ điền đầy của vật liệu composite trong qui trình phun ép
Người hướng dẫn chính: PGS. TS Đỗ Thành Trung
Người hướng dẫn phụ : PGS. TS Phạm Sơn Minh

Tóm tắt những đóng góp mới về lý luận và học thuật của luận án:

1. Với mô hình cơ bản nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ khuôn đến độ điền đầy vật liệu composite trong khuôn phun ép, mô hình nghiên cứu dòng chảy trong lòng khuôn đã được thiết kế và chế tạo với khả năng điều chỉnh nhiệt độ khuôn từ 30°C đến 110°C thông qua hệ thống kênh dẫn và gia nhiệt bằng khí nóng. Kết quả kiểm tra chiều dài dòng chảy 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, chẳng hạn: ở trường hợp nhựa PA6 0%GF, nhiệt độ khuôn tăng từ 30°C đến 110°C và lòng khuôn có chiều dày 1 mm thì chiều dài tăng từ 114.8 mm lên 145.8 mm (tức là tăng 31 mm). Với vùng nhiệt độ khuôn thay đổi từ 30°C đến 110°C, kết quả mô phỏng trên phần mềm Moldex3D là tương đối giống với kết quả thực nghiệm.

2. Với mô hình dòng chảy có thành 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 hơn 140°C. Kết quả thực nghiệm cho thấy:

- Mô hình khảo sát dòng chảy có thành mỏng: Với vật liệu PA6 và PA6+30%GF, tỉ lệ cải thiện khả năng chảy của dòng vật liệu càng 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% (tăng từ 38,96 mm lên 74,25 mm) khi gia nhiệt 20s. Với vật liệu composite PA6+30%GF, kết quả thực nghiệm cho thấy với chiều dày dòng chảy là 0,6 mm, khi gia nhiệt 20s, chiều dài được cải thiện từ 28,5 mm đến 58,95 mm, tương đương 108,6%. Các kết quả này cũng cho thấy dòng chảy của vật

liệu nền PA6 (PA6 và PA6 + 30%GF) có độ nhạy với nhiệt độ khuôn hơn vật liệu PP và ABS, với khả năng cải thiện chiều dài dòng chảy là trên 80% với thời gian gia nhiệt là 20s.

- Mô hình ứng dụng cho gân mỏng: Khi nhiệt độ khuôn tăng từ 45°C đến 75°C, chiều cao gân đã tăng từ 2,8 đến 4,2 mm. Khi Ex-GMTC được sử dụng, nhiệt độ khuôn thay đổi từ 112,0°C đến 140,8°C và chiều cao gân mỏng đạt 7,0 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 dòng chảy vật liệu trong khuôn tốt hơn. Ngoài ra, 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.

Tp. Hồ Chí Minh, ngày tháng năm 20

Nghiên cứu sinh

(Ký và ghi rõ họ tên)

Người hướng dẫn chính

(Ký và ghi rõ họ tên)

Người hướng dẫn phụ

(Ký và ghi rõ họ tên)

rib was full fill with the height of 7.0 mm. Due to the Ex-GMTC is not influence by the mold structure, so, this heating method support a better mold temperature distribution than the hot water heating method, and the result is the better balance of melt flow. On the other hand, these results also prove that the heating position does not need to be at the thin wall location. The heating location should be selected for reducing the frozen layer, so, the reducing of melt flow at the thin wall location will be eliminated

Supervisor
(Sign and name)

HCMC, / /2020
PhD candidate
(Sign and name)

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

PHAN THỂ NHÂN

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

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

Tp. Hồ Chí Minh, tháng 12 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

Ngàythángnăm 2020

Chương 1. TỔNG QUAN

1.1. Khái quát chung về công nghệ phun ép nhựa

Sản phẩm phun ép nhựa hiện nay rất đa dạng, từ đơn giản đến phức tạp, từ kích thước lớn đến kích thước nhỏ. Với sự phát triển như hiện nay, yêu cầu mới với công nghệ phun ép luôn được đặt ra, một trong những yêu cầu cấp thiết nhất là: chế tạo các sản phẩm nhựa với bề dày nhỏ hơn 1 mm phục vụ cho các chip y sinh, các thiết bị quang học,... Mỗi một sản phẩm trong quy trình phun ép đều có những đặc trưng và yêu cầu kỹ thuật khác nhau để đảm bảo độ điền đầy, độ bóng bề mặt, độ bền sản phẩm,... Vì vậy, cần chọn loại vật liệu, nhiệt độ khuôn phù hợp để tránh những sai hỏng trong quá trình phun ép cũng như đảm bảo được yêu cầu về cơ tính và thẩm mỹ của sản phẩm.

1.2. Tình hình nghiên cứu

1.2.1. Ngoài nước

Trong những năm qua đã có một số nghiên cứu nhằm nâng cao năng suất và chất lượng sản phẩm trong quy trình phun ép cho vật liệu polymer và composite. Các nghiên cứu này chủ yếu tập trung vào các hướng chính như sau:

- Nghiên cứu các qui trình mới nhằm giải quyết các khó khăn trong quá trình phun ép. Trong các nghiên cứu của X. Xu, S. Wong, H. X. Huang, nhựa bột khí được tiến hành thực nghiệm với các đánh giá về chất lượng sản phẩm cho thấy khả năng chống co rút là một trong những điểm nổi bật của loại vật liệu này. Ngoài nhựa bột khí, quy trình phun ép dành cho nhóm vật liệu polymer kết hợp với vật liệu gốm cũng được nghiên cứu bởi F. Sommer, W. Liu. Các nghiên cứu này cũng cho thấy vật liệu nhựa kết hợp với gốm sứ cũng có nhiều tính năng ưu việt, nhưng quy trình phun ép vẫn còn nhiều vấn đề cần được cải tiến.

- Nghiên cứu ảnh hưởng của các chất phụ gia nhằm nâng cao cơ tính của vật liệu composite, hoặc tăng khả năng gia công của vật liệu. Trong nghiên cứu của A. Maltby, bề mặt khuôn được bôi trơn bằng hỗn hợp đặc biệt nhằm tăng khả năng chảy của dòng nhựa. Trong quá trình phun ép với nhựa bột gỗ, J. Markarian đã tăng các chất liên kết giữa bột gỗ và nhựa nhằm nâng cao cơ tính của vật liệu. Ngoài ra, để tăng khả năng chảy của dòng nhựa, phương pháp kết hợp hai vật liệu nhựa có độ nhớt khác nhau đã được J. E. M. Alfonso giới thiệu. Đặc biệt, trong quá trình phun ép bằng vật liệu composite, hiện tượng ma sát giữa dòng chảy composite và thành khuôn cũng được nghiên cứu bởi J. L. Laursen. Các nghiên cứu này cho thấy các chất phụ gia có thể được sử dụng như một trong những giải pháp nhằm tăng khả năng chảy của dòng vật liệu trong khuôn, cũng như giúp giảm hiện tượng co rút và cong vênh của các loại sản phẩm phun ép.

- Nghiên cứu kết cấu khuôn phun ép và vật liệu chế tạo khuôn phun ép với mục tiêu tối ưu hóa khả năng điền đầy khuôn và hạn chế độ cong vênh, co rút của sản phẩm. Trong nghiên cứu của G. Wang và S. C. Chen, kết cấu khuôn đã được điều chỉnh để thích nghi với yêu cầu gia nhiệt cho khuôn trong thời gian ngắn. Trong nghiên cứu của H. L. Lin, kết cấu khuôn với cuộn dây gia nhiệt được tích hợp nhằm hỗ trợ khả năng gia nhiệt cho khuôn bằng cảm ứng điện từ. Nhóm tác giả Chen và các cộng sự tìm hiểu về phương pháp kiểm soát nhiệt độ bề mặt khuôn

bằng các cách khác nhau bao gồm lớp phủ bề mặt khuôn, nhiệt cảm ứng, nhiệt cảm hồng ngoại và kết hợp của lớp phủ bề mặt với cách nhiệt bề mặt khác nhau được sử dụng để điều khiển nhiệt độ bề mặt khuôn nhanh chóng. Lớp phủ bề mặt bằng vật liệu cách nhiệt có thể làm cho hiệu ứng trễ nhiệt và nhiệt độ bề mặt tiếp xúc nhựa - khuôn có thể duy trì cao trong một khoảng thời gian, đồng thời loại bỏ các đường hàn cho sản phẩm.

- Nghiên cứu điều kiện phun ép nhằm tăng năng suất với các thông số chính như: áp suất phun ép, áp suất định hình, nhiệt độ nhựa, nhiệt độ khuôn đã được nghiên cứu bởi A. Kumar, H. L. Chen, A. C. Liou, G. Wang. Trong đó, thông số về 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. Tác giả Young và các cộng sự đã nghiên cứu ảnh hưởng của điều kiện phun ép đến ứng suất dư và quá trình co rút của sản phẩm nhựa sau khi được lấy ra khỏi khuôn. Với nghiên cứu này, nhóm tác giả chọn sản phẩm phun ép là thấu kính có chiều dày lớn. Kết quả nghiên cứu cho thấy nhiệt độ khuôn là yếu tố quan trọng nhất ảnh hưởng đến độ co rút của thấu kính. Tác giả Mustafa Kurt và các cộng sự cũng cho thấy tốc độ phun, áp suất phun và nhiệt độ nóng chảy vật liệu là các thông số có ảnh hưởng lớn đến độ co rút và độ nhám bề mặt sản phẩm.

Nhìn chung, điều khiển nhiệt độ khuôn phun ép là một trong những giải pháp hiệu quả và có thể nâng cao năng suất, chất lượng sản phẩm, cũng như giảm chi phí sản xuất đối với sản phẩm là vật liệu composite. Trong một chu kỳ phun ép, nếu nhiệt độ bề mặt lòng khuôn cao, độ nhót vật liệu composite sẽ thấp hơn. Do đó, khả năng điền đầy lòng khuôn sẽ dễ hơn, độ bóng bề mặt sản phẩm sẽ được cải thiện đáng kể, đồng thời các khuyết tật sản phẩm cũng sẽ giảm. Tuy nhiên, nếu nhiệt độ của khuôn tăng quá cao, thời gian giải nhiệt sẽ tăng và chu kỳ phun ép sẽ kéo dài, cũng như chi phí nhân công và giá thành sản phẩm sẽ tăng lên. Vì vậy, nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ khuôn trong quy trình phun ép nhằm điều khiển nhiệt độ khuôn phù hợp để nâng cao chất lượng sản phẩm composite như độ điền đầy, độ bền kéo, độ bền uốn và độ dai va đập là rất cần thiết và đang được các nhà nghiên cứu trên thế giới quan tâm.

1.2.2. Trong nước

- Bài báo khoa học của nhóm tác giả Hoàng Văn Thanh và Trần Đình Sơn đã trình bày nghiên cứu về xây dựng lưu đồ thuật toán cho việc thiết kế, chế tạo một sản phẩm quang học. Trong đó, tính toán, thiết kế và mô phỏng dòng nhựa chảy trong khuôn bằng các phần mềm CAD/CAM/CAE. Trên cơ sở đó, thiết kế và chế tạo hoàn chỉnh một bộ khuôn ứng dụng cho việc khảo sát thực nghiệm các thông số ảnh hưởng đến chất lượng sản phẩm quang học trên máy phun ép. Từ kết quả mô phỏng và thực nghiệm, đã khảo sát được một số thông số ảnh hưởng đến chất lượng sản phẩm như nhiệt độ khuôn, nhiệt độ vật liệu, áp suất phun, áp suất ép và thời gian ép.

- Đề tài nghiên cứu khoa học thuộc chương trình KH&CN trọng điểm cấp Nhà nước “Nghiên cứu thiết kế và chế tạo hệ thống khuôn ép phun nhựa nhiệt dẻo kỹ thuật với kênh dẫn nóng có điều khiển”, mã số KC.03.22/11-15 do PGS. TS. Đặng

Văn Nghin làm chủ nhiệm, đã tiến hành nghiên cứu, thiết kế, chế tạo và thử nghiệm 2 bộ khuôn ép phun nhựa nhiệt dẻo kỹ thuật với với kênh dẫn nóng có điều khiển. Kết quả nghiên cứu đã tiếp cận những vấn đề khoa học kỹ thuật cơ bản và xu thế phát triển mới của ngành khuôn mẫu nhựa. Tuy nhiên, kết cấu khuôn được thiết kế đặc biệt nhằm tích hợp hệ thống kênh dẫn nóng. Do đó, với các khuôn thông thường, phương pháp này hầu như không thể áp dụng được.

- Ngoài ra, một số nghiên cứu liên quan khác của các tác giả trong cùng nhóm nghiên cứu khuôn mẫu tại Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP.HCM như: Lê Quốc Việt nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số công nghệ phun ép và phụ gia đến độ bền của vật liệu polymer và composite, Lê Võ nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ khuôn và nhiệt độ nhựa đến độ cong vênh sản phẩm nhựa dạng tấm, ...

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 bị mất nhiệt nhanh và gặp khó khăn trong quá trình điền đầy lòng khuôn. Nhược điểm này càng nghiêm trọng hơn khi vật liệu phun ép dạng composite do độ nhớt của vật liệu composite cao hơn so với nhựa thông thường. Khi tiếp xúc với thành khuôn có nhiệt độ thấp thì độ nhớt vật liệu composite sẽ tăng cao và dòng chảy composite sẽ gặp trở kháng rất lớn. Ngoài ra, với các nghiên cứu trong nước và cũng như trong quá trình sản xuất, lĩnh vực điều khiển nhiệt độ khuôn chủ yếu tập trung theo hướng giải nhiệt cho khuôn nhằm làm nguội khuôn trong thời gian ngắn nhất. Ngược lại, quá trình gia nhiệt cho khuôn vẫn chưa được quan tâm đúng mức.

1.2. Tính cấp thiết đề tài

Trong các nghiên cứu về dòng chảy trong khuôn, hai nguyên nhân chính gây cản trở quá trình điền đầy lòng khuôn là:

- Hiện tượng đông đặc nhanh của vật liệu composite khi tiếp xúc với thành khuôn.
- Độ nhớt của vật liệu composite cao hơn các loại vật liệu nhựa thông dụng khác. Chính vì điều này, quá trình chảy của vật liệu composite vào lòng khuôn sẽ gặp nhiều khó khăn, đặc biệt khi nhiệt độ khuôn thấp.

Với đặc điểm này, các khuôn phun ép cho sản phẩm composite thường có số lòng khuôn ít nên sản lượng phun ép sẽ giảm rất nhiều khi vật liệu composite được sử dụng. Để khắc phục, qui trình phun ép được vận hành với áp suất phun cao. Tuy nhiên, khi áp suất phun được chọn ở giá trị cao, các vấn đề khác sẽ xuất hiện như: hiện tượng bavia tại các vị trí khuôn không được gia công kín, độ bền của máy phun ép sẽ giảm đáng kể do phải hoạt động ở trạng thái áp suất phun ép cao... Để tăng khả năng điền đầy khuôn của quá trình phun ép với vật liệu composite, cũng như nâng cao tuổi thọ của máy và chất lượng sản phẩm, phương pháp điều khiển nhiệt độ khuôn được đề xuất nhằm:

- Hạn chế hiện tượng đông đặc nhanh của vật liệu composite trong quá trình điền đầy lòng khuôn.
- Giữ độ nhớt của vật liệu composite ở mức thấp, từ đó, quá trình chảy của vật liệu composite vào lòng khuôn được thuận lợi hơn.

Vì vậy, nhằm mục đích nâng cao chất lượng, năng suất sản phẩm nhựa composite và tăng khả năng cạnh tranh của sản phẩm trong nước so với ngoại nhập, đề tài “*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 sẽ được chuyển giao cho các đơn vị trong lĩnh vực sản xuất sản phẩm nhựa composite bằng phương pháp phun ép. Ngoài ra, đây cũng là cơ sở khoa học, tài liệu tham khảo phục vụ công tác nghiên cứu khoa học và đào tạo tại các trường kỹ thuật nói chung trong ngành cơ khí, đặc biệt là trong lĩnh vực khuôn mẫu.

1.3. Mục tiêu nghiên cứu

- Nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ trên bề mặt khuôn phun ép đến độ điền đầy của vật liệu composite với biến thay đổi (nhiệt độ, phần trăm sợi, chiều dày sản phẩm) bằng mô phỏng và thực nghiệm.
- Chế tạo thiết bị điều khiển nhiệt độ khuôn nghiên cứu mức độ điền đầy, cải thiện chiều dài dòng chảy vật liệu composite với sản phẩm thành mỏng trong qui trình phun ép.
- Xác định phương trình hồi quy thông qua quy hoạch thực nghiệm giữa chiều dài dòng chảy với nhiệt độ, phần trăm sợi, chiều dày sản phẩm.

1.4. Nội dung nghiên cứu

- Nghiên cứu tổng quan các vấn đề liên quan đến khuôn phun ép nhựa, tập trung vào một số vấn đề chính có ảnh hưởng đến dòng chảy composite.
- Nghiên cứu chế tạo thiết bị điều khiển nhiệt độ khuôn với kênh dẫn nước (nhiệt độ khuôn thay đổi từ 30°C đến 110°C) và khí nóng (nhiệt độ khuôn cao nhất 140°C).
- 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 thành thay đổi với 3 giá trị : 0.5 mm, 0.75 mm và 1 mm.
- Thiết kế và chế tạo mô hình nghiên cứu dòng chảy composite với sản phẩm có thành mỏng và nhiệt độ khuôn cao với 2 mô hình:
 - Mô hình dòng chảy thành mỏng với 3 giá trị: 0.2 mm, 0.4 mm và 0.6 mm.
 - Mô hình ứng dụng cho sản phẩm có gân mỏng.
- Thực nghiệm và đánh giá khả năng điền đầy lòng khuôn của dòng chảy với các loại vật liệu khác nhau.

1.5. Phạm vi nghiên cứu và giới hạn đề tài

- Luận án chỉ tập trung đánh giá khả năng chảy của dòng vật liệu thông qua khả năng điền đầy của vật liệu vào lòng khuôn ứng với các chiều dày sản phẩm khác nhau.
- Nhiệt độ khuôn được nghiên cứu với 2 nhóm chính là:
 - + Vùng nhiệt độ thông dụng hiện được khuyến cáo sử dụng cho từng loại vật liệu (nhiệt độ thay đổi từ 30°C đến 110°C).
 - + Vùng nhiệt độ cao được tạo ra thông qua phương pháp gia nhiệt bằng khí nóng (nhiệt độ cao nhất 140°C).
- Vật liệu nhựa được sử dụng gồm 2 nhóm chính:

- + Vật liệu thông dụng gồm PP, ABS và PA6.
- + Vật liệu composite có nền là PA6 trộn với sợi thủy tinh theo tỉ lệ thay đổi từ 0% đến 30%.

1.6. 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 phun ép để quan sát khả năng điền đầy lòng khuôn của vật liệu ứng với các mức nhiệt độ khuôn, tỷ lệ phần trăm sợi thủy tinh và chiều dày sản phẩm khác nhau.

1.7. Ý nghĩa khoa học

- Với các kết quả của luận án, phương pháp phun ép với vùng nhiệt độ khuôn cao cho thấy là một trong những giải pháp nhằm nâng cao khả năng chảy của dòng vật liệu trong lòng khuôn.
- Kết quả nghiên cứu cũng cho thấy 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.

1.8. Giá trị thực tiễn

Từ những phân tích như trên, việc nâng cao khả năng chảy của dòng vật liệu composite trong lòng khuôn đã được nghiên cứu trong luận án này 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. So với các công nghệ hiện có, thay vì phải phun ép với áp suất và nhiệt độ vật liệu cao, để sản xuất các sản phẩm có thành mỏng bằng công nghệ phun ép, điểm mới của đề tài này là việc kết hợp kỹ thuật gia nhiệt bề mặt với kết cấu khuôn hợp lý.

Việc nghiên cứu thành công phương án nâng cao khả năng chảy của vật liệu trong lòng khuôn, thông qua việc phun ép với nhiệt độ khuôn cao, giúp các công ty có thể nâng cao khả năng công nghệ phun ép nhưng không tốn quá nhiều chi phí đầu tư các thiết bị ngoại nhập, nhưng vẫn có thể đáp ứng được các yêu cầu với các sản phẩm có thành mỏng và vật liệu có độ nhớt thấp, như các dạng vật liệu composite.

Với những phân tích như trên, việc nâng cao khả năng chế tạo 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 nhiệt độ khuôn đến độ điền đầy của vật liệu composite trong quy trình phun ép*” đã được tiến hành nhằm góp phần mở rộng khả năng sản xuất các sản phẩm có thành mỏng bằng công nghệ phun ép.

Chương 2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

2.1. Công nghệ phun ép

Công nghệ phun ép được sử dụng để chế tạo các sản phẩm nhựa từ đơn giản đến phức tạp. Trong đó, quy trình phun ép bao gồm 4 bước chính như nóng chảy vật liệu, điền đầy, định hình và mở khuôn. Trong quy trình này, vật liệu thô dạng hạt được chứa trong phễu cấp liệu và được đưa dần vào xi lanh trong hệ thống làm nóng chảy nhựa. 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 hệ thống phun ép, nhựa nóng chảy trong xi lanh được vít-me chuyển động tịnh tiến và ép vào hệ thống khuôn thông qua cổng phun. Tại vị trí cổng phun, nhựa hoàn toàn ở thể lỏng. Sau khi toàn bộ lòng khuôn được điền đầy, quá trình định hình sẽ diễn ra. 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. Khi toàn bộ sản phẩm đạt đến nhiệt độ mở khuôn, hai nửa khuôn sẽ mở ra và sản phẩm sẽ được lấy ra ngoài.

2.2. Vật liệu composite nhựa nhiệt dẻo

Vật liệu composite nhựa nhiệt dẻo trong công nghệ phun ép là vật liệu tổ hợp từ hai (hoặc nhiều) vật liệu có bản chất khác nhau. Trong đó, vật liệu nền là nhựa nhiệt dẻo, đóng vai trò liên kết vật liệu gia cường với nhau, truyền lực cơ học, cũng như bảo vệ vật liệu gia cường chống chọi với môi trường xung quanh và vật liệu gia cường là các sợi ngắn và giúp cho composite có khả năng chịu lực lớn hơn. Hiện nay, trong công nghệ phun ép thường sử dụng 2 loại vật liệu composite nhựa nhiệt dẻo với hai loại sợi gia cường khác nhau (sợi ngắn thủy tinh và sợi ngắn carbon). Trong nghiên cứu này vật liệu composite nhựa nhiệt dẻo gia cường sợi ngắn thủy tinh được chọn là vật liệu chính để nghiên cứu, có các đặc điểm và tính chất như: vật liệu PA6+30%GF là vật liệu composite có nền nhựa PA6 và gia cường 30% sợi ngắn thủy tinh (30%GF) và được pha trộn thành dạng hạt, sử dụng trong công nghệ phun ép. Trong đó, vật liệu thành phần PA6 (polyamide 6) là một loại nhựa nhiệt dẻo được hình thành bởi phản ứng cộng của các hợp chất vòng và có những tính chất chung của nhóm polyamide polymer (PA), vật liệu sợi ngắn thủy tinh là vật liệu gia cường nhằm tăng độ bền, dẻo dai của sản phẩm. Tùy thuộc vào tỉ lệ sợi mà có thể là PA6+20%GF (tương ứng tỉ lệ sợi 20%), PA6+10%GF (tương ứng tỉ lệ sợi 10%),... Các loại vật liệu này có một số đặc điểm như: độ bền cao, khả năng chịu nhiệt tốt và chống mài mòn tốt. Tuy nhiên, khả năng chống thấm nước và chống axit không cao.

2.3. Xác định tỉ lệ sợi của composite

Tỉ lệ sợi của vật liệu composite có thể xác định bằng một trong hai phương pháp sau:

- **Phương pháp 1** (đối với loại cốt sợi không bị cháy): Đầu tiên đo khối lượng mẫu

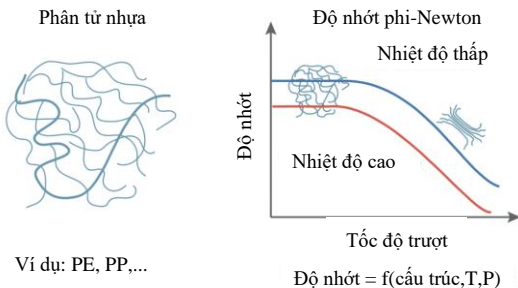
composite bao gồm cả sợi và nền nhựa. Tiếp theo, đốt cháy mẫu composite thì vật liệu nền nhựa bị cháy, còn lại vật liệu sợi. Sau đó, tiến hành đo khối lượng của vật liệu sợi này để xác định tỉ lệ của thành phần sợi trong vật liệu composite.

- Phương pháp 2: Tỉ lệ sợi được xác định dựa vào tỉ trọng sợi (ρ_f), tỉ trọng nhựa (ρ_m) và tỉ trọng composite (ρ_c), với công thức tính được xác định như sau:

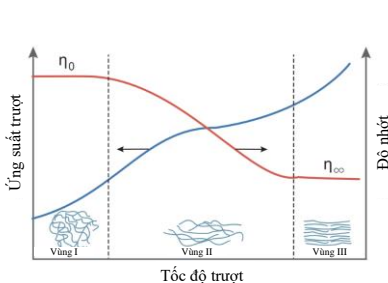
$$V_f = \frac{\rho_c - \rho_m}{\rho_f - \rho_m} \quad (2.1)$$

2.4. Mối quan hệ giữa độ nhớt và nhiệt độ

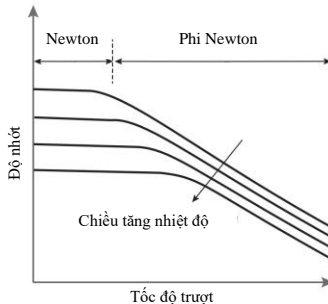
Độ nhớt là mối quan hệ giữa sự cản trở dòng chảy đến sự chảy của vật liệu. Độ nhớt của nước, dầu thường là một giá trị không đổi ở một nhiệt độ nhất định và tuân theo lý thuyết về lưu chất của Newton. Tuy nhiên, độ nhớt của các nhựa nhiệt dẻo thì rất phức tạp và phi Newton. Độ nhớt của các nhựa nhiệt dẻo phụ thuộc vào cấu trúc hoá học, nhiệt độ và áp suất và được thể hiện như Hình 2.1. Ứng với mỗi 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 và áp suất.



Hình 2.1 Cấu trúc phân tử (bên trái) và độ nhớt của nhựa (bên phải)



Hình 2.2 Đường đặc tính dẻo của nhựa nhiệt dẻo



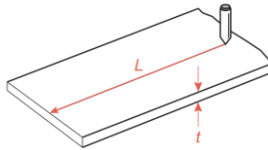
Hình 2.3 Mối quan hệ độ nhớt và nhiệt độ

Để hiểu bản chất độ nhớt của nhựa nhiệt dẻo, cần định nghĩa rõ ứng suất trượt và tốc độ trượt như Hình 2.2. Khi tốc độ trượt nhỏ, độ nhớt của vật liệu gần như là hằng số (ứng với vùng I). Các chuỗi polymer gần như thẳng hàng khi tốc độ trượt tiếp tục gia tăng, do đó, độ nhớt của vật liệu sẽ giảm (ứng với vùng 2). Khi tất cả

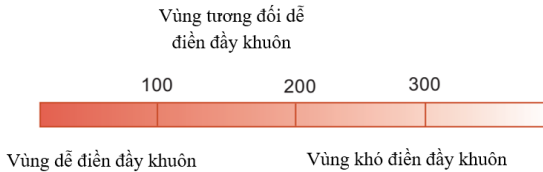
các chuỗi polymer sắp xếp thẳng hàng, độ nhớt của vật liệu đạt giá trị cực tiểu (ứng với vùng III). Ở vùng I và II, có thể quan sát được ở hầu hết các vật liệu nhựa. Tuy nhiên, vùng III thì hầu như không thể quan sát được do sự tan rã của các phân tử ở điểm cực đại của tốc độ trượt. Trong quá trình phun ép, nhiều yếu tố ảnh hưởng đến độ nhớt của vật liệu như: nhiệt độ, tốc độ trao đổi nhiệt, tốc độ trượt, và chiều dày của sản phẩm. Trong đó, 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 2.3.

2.5. Mối quan hệ giữa chiều dài và chiều dài dòng chảy

Trong quá trình phun ép, chiều dài dòng chảy nhựa có mối quan hệ đến khả năng chảy và chiều dày của chi tiết. Cách đơn giản để kiểm tra mối quan hệ này là xem tỷ lệ giữa chiều dài dòng chảy và chiều dày sản phẩm nằm trong phạm vi hợp lý. Hình 2.4 là ví dụ cho thiết kế nhựa nóng chảy vào lòng khuôn từ cổng phun đến điểm cuối của sản phẩm. Độ nhớt của dòng nhựa có ảnh hưởng đến khả năng điền đầy trong quá trình phun ép nhựa vào lòng khuôn.



Hình 2.4 Tỷ lệ chiều dài dòng chảy với chiều dày sản phẩm (tỷ lệ L/t)



Hình 2.5 Tỷ lệ chiều dài dòng chảy với chiều dày sản phẩm

Bởi vì chiều dày sản phẩm và chiều dài dòng chảy có ảnh hưởng đến khả năng điền đầy, mối quan hệ giữa chiều dài dòng chảy và chiều dày sản phẩm được sử dụng trong thiết kế để đánh giá thiết kế có tối ưu hay không và được xác định theo công thức 2.2 như sau:

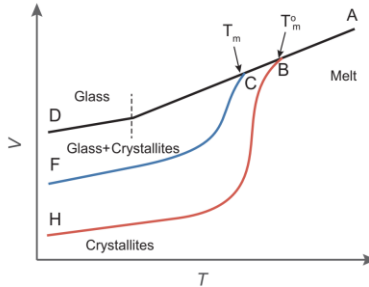
$$\frac{L}{t} = \frac{\text{Chiều dài dòng chảy từ cổng phun đến điểm cuối sản phẩm}}{\text{Chiều dày sản phẩm}} \quad (2.2)$$

Như thể hiện trong Hình 2.5, tỷ lệ chiều dài dòng chảy với chiều dày sản phẩm có thể dự đoán được sự khó khăn trong quá trình thiết kế và gia công khuôn.

2.5. Ảnh hưởng của trạng thái không cân bằng trên mô hình PVT

Vật liệu polymer bán tinh thể có thể hoàn toàn vô định hình ở trạng thái rắn, có nghĩa là các chuỗi của polymer được định hướng theo kiểu hoàn toàn ngẫu nhiên. Khi thay đổi nhiệt độ, thể tích trong các polymer vô định hình tuân theo đường cong A - D như Hình 2.6, trong đó, vùng D - C thể hiện polymer ở dạng

thủy tinh. Khi vật liệu được gia nhiệt đến nhiệt độ T_g (nhiệt độ dẻo) thì vật liệu trở nên mềm dẻo giống như cao su. Đây là một nhiệt độ quan trọng đánh dấu điểm thay đổi thuộc tính xảy ra trong vật liệu, vật liệu dễ bị biến dạng hơn trong khoảng nhiệt độ T_g . Nhiệt độ tiếp tục tăng sẽ làm tăng tự do thể tích vùng C - B - A, làm cho polymer thay đổi thành nhựa lỏng.

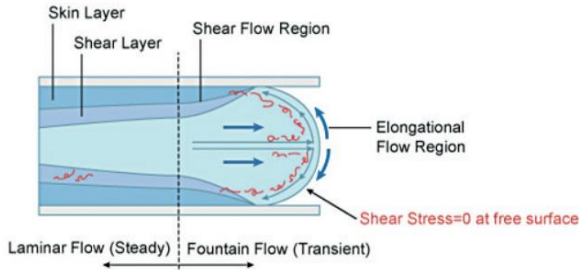


Hình 2.6 Sự thay đổi thể tích của polymer với nhiệt độ T đối với

Trong thực tế, chúng ta gần như không gặp polymer tinh thể hoàn hảo, mà thường gặp các polymer bán tinh thể, có thể chứa các thành phần khác nhau. Các polymer bán tinh thể này thường có cả T_g (nhiệt độ dẻo) và T_m (nhiệt độ chảy) như đường biểu diễn F - C - B - A. Ngoài ra, T_m^0 đặc trưng cho nhiệt độ nóng chảy của vật liệu tinh thể hoàn toàn có khối lượng mol phân tử cao.

2.6. Ảnh hưởng lớp bề mặt “frozen layer” đến dòng chảy

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 (skin layer) của dòng chảy nhựa sẽ bị mất nhiệt và 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 như Hình 2.7.



Hình 2.7 Dòng chảy của nhựa trong khuôn

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.

Sự hình thành lớp bề mặt sẽ được quyết định bởi đặc tính nhiệt tại bề mặt khuôn, trong đó, hệ số truyền nhiệt giữa nhựa và lòng khuôn là một trong những thông số quan trọng, đặc biệt với sản phẩm nhựa thành mỏng. Các nghiên cứu trước đây cho thấy nhiệt lượng truyền từ nhựa sang lòng khuôn được xác định theo công thức:

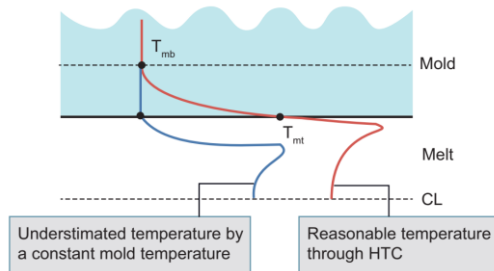
$$\frac{dQ}{dt} = hxA(\Delta T) \quad (2.3)$$

Trong đó: Q là nhiệt lượng truyền từ nhựa sang thành khuôn (Joules), h là hệ số truyền nhiệt (heat transfer coefficient – HTC), A là diện tích tiếp xúc giữa nhựa và thành khuôn và ΔT là chênh lệch nhiệt độ giữa nhựa và thành khuôn.

Công thức trên cho thấy, muốn giảm thất thoát nhiệt của dòng chảy nhựa (nhằm giảm chiều dày của lớp bề mặt), cách duy nhất là giảm chênh lệch nhiệt độ giữa nhựa và lòng khuôn.

2.7. Hệ số truyền nhiệt khuôn

Trong quá trình điền đầy khuôn trong công nghệ phun ép, nhiệt độ trên bề mặt lòng khuôn (T_{mb}) thường cao hơn so với nhiệt độ khuôn (T_{mb}) như Hình 2.8. Sự khác biệt giữa T_{mb} và T_{mt} phụ thuộc vào tính chất của vật liệu làm khuôn, nhiệt độ nóng chảy của vật liệu và các điều kiện liên quan được sử dụng trong quy trình phun ép.



Hình 2.8 Truyền nhiệt tiếp xúc vật liệu nóng chảy trong lòng khuôn

Hệ số truyền nhiệt khuôn (HTC) được xác định bởi định luật của Newton:

$$q = h_c (T_{mt} - T_{mb}) \quad (2.4)$$

Trong đó hệ số truyền nhiệt (h_c) giữa chi tiết và khuôn phụ thuộc vào vật liệu, nhiệt độ và điều kiện quy trình thực hiện. Nói chung, phạm vi h_c là từ 1000 đến 25.000 W / m²·K.

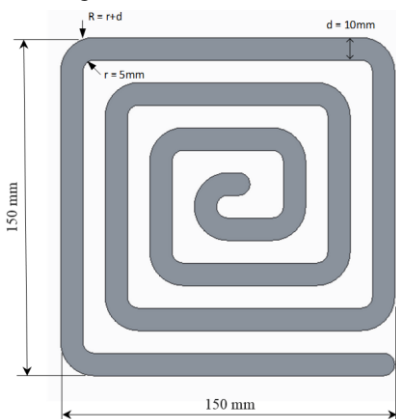
Khi sử dụng hệ số truyền nhiệt càng lớn thì lượng truyền nhiệt q càng lớn. Nhiệt độ vật liệu nóng chảy trên bề mặt của khuôn T_{mt} sẽ gần với nhiệt độ cơ bản của khuôn T_{mb} . Ngược lại, khi sử dụng hệ số truyền nhiệt thấp hơn, nhiệt độ T_{mt} sẽ cao hơn nhiều so với nhiệt độ nền khuôn T_{mb} .

Chương 3. PHƯƠNG PHÁP MÔ PHỎNG VÀ THỰC NGHIỆM

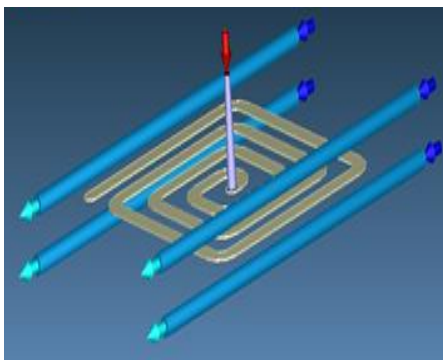
3.1. Mô hình cơ bản nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ khuôn đến chiều dài dòng chảy

3.1.1. Mô hình mô phỏng

Để quan sát khả năng chảy của dòng vật liệu composite, lòng khuôn được thiết kế dạng hình xoắn ốc với kích thước chi tiết như Hình 3.1. Với thiết kế này, dòng chảy composite có chiều rộng là 10 mm. Mô hình này lần lượt được sử dụng cho các giá trị nhiệt độ khuôn khác nhau, cũng như các tỉ lệ khác nhau của sợi thủy tinh có trong vật liệu nhựa. Để điều khiển nhiệt độ khuôn ứng với các giá trị khác nhau, 4 kênh giải nhiệt (Hình 3.2) được sử dụng với lưu chất là nước nóng.



Hình 3.1 Kích thước lòng khuôn



Hình 3.2 Kênh giải nhiệt cho mô hình cơ bản nghiên cứu dòng chảy nhựa

Với các giá trị nhiệt độ nước khác nhau, nhiệt độ khuôn sẽ được thay đổi theo các giá trị cần khác sát. Trong quá trình mô phỏng, các thông số cơ bản của vật liệu như Bảng 3.1 sẽ được sử dụng.

Bảng 3.1 Thông số cơ bản theo nhà sản xuất vật liệu nhựa PA6 và PA6+30%GF

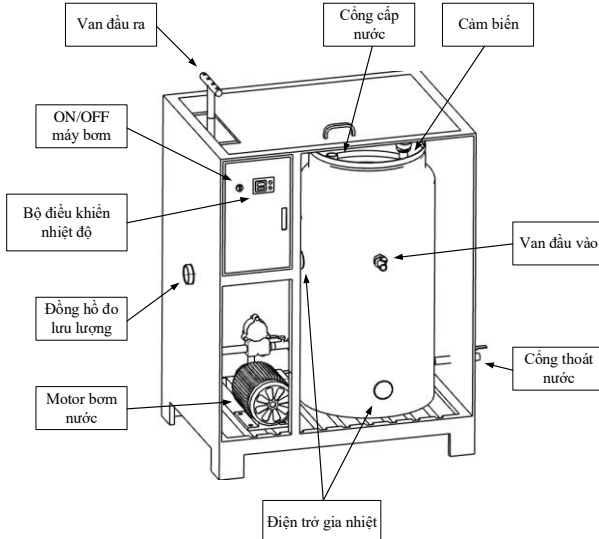
Loại nhựa	PA6	PA6+30%GF
Tên	Durethan B30S	Durethan BKV 130
Nhà sản xuất	Lanxess	Lanxess
Phần trăm sợi thủy tinh	0%	30%
Nhiệt độ chảy	260 - 280°C	270 - 290°C
Nhiệt độ khuôn	80 - 100°C	80 - 120°C
Nhiệt độ đông đặc	170°C	170°C

3.1.2. Mô hình thực nghiệm

3.1.2.1. Hệ thống điều khiển nhiệt độ khuôn với kênh dẫn nước

Hệ thống điều khiển nhiệt độ khuôn với kênh dẫn nước được thiết kế sơ bộ như Hình 3.3, nhằm thỏa mãn các yêu cầu gia nhiệt cho khuôn với nhiệt độ từ 30°C đến 110°C, lưu lượng dòng chảy lớn hơn 0.1 m³/phút, dung tích bồn chứa nước 300 lít

và có thể sử dụng cho các loại dung dịch, loại khuôn khác nhau. Hệ thống điều khiển nhiệt độ với kênh dẫn nước và được kết nối với khuôn phun ép như Hình 3.4. Trong hệ thống này, cảm biến nhiệt độ được đặt trong bồn nước có chức năng kiểm soát nhiệt độ của nước, nếu nhiệt độ thực tế chưa đạt đến nhiệt độ thiết lập thì điện trở sẽ hoạt động làm nóng nước, khi nhiệt độ thực đạt đến nhiệt độ yêu cầu thì cảm biến sẽ hồi tiếp tín hiệu về mạch điều khiển để ngắt nguồn của điện trở. Cứ như vậy, điện trở sẽ làm việc khi có sự chênh lệch nhiệt độ của thực tế nhỏ hơn nhiệt độ đặt và nhiệt độ nước sẽ ổn định với dung sai $\pm 1^{\circ}\text{C}$.



Hình 3.3 Mô hình hệ thống điều khiển nhiệt độ với kênh dẫn nước



Hình 3.4 Hệ thống điều khiển nhiệt độ kết nối với khuôn trên máy SW 120B

Trong quá trình gia nhiệt khuôn, một lượng nhiệt có thể bị tổn hao trên đường dẫn nên có sự chênh lệch giữa nhiệt độ tại bồn chứa và khuôn. Vì vậy, cần xác định bằng mô phỏng, thực nghiệm hoặc tính toán nhằm đảm bảo nhiệt độ khuôn được chính xác. Trong nghiên cứu này, giá trị chênh lệch giữa nhiệt độ tại bồn chứa

nước (dung dịch) và nhiệt độ khuôn sau khoảng thời gian 600s được xác định bằng thực nghiệm với kết quả như Bảng 3.2.

Bảng 3.2 Nhiệt độ khuôn và nhiệt độ tại bồn chứa nước (dung dịch)

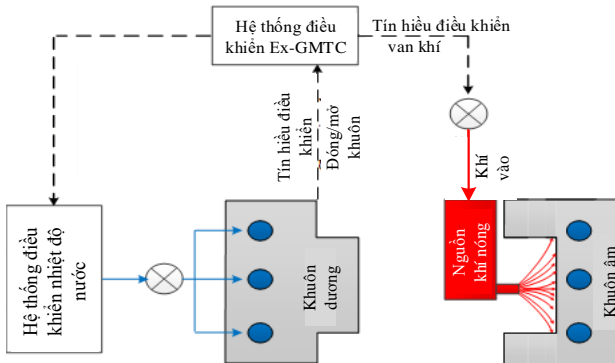
Nhiệt độ tại bồn chứa (°C)	30	40	50	62	72	83	94	104	114
Nhiệt độ khuôn (°C)	30	40	50	60	70	80	90	100	110

3.1.2.2. Điều kiện mô phỏng và thực nghiệm

- Vật liệu composite với nền nhựa PA6 (Polyamide 6) và 7 tỉ lệ sợi thủy tinh (glass fibers - GF) khác nhau từ 0 – 30%.
- Máy phun ép Shine Well 120B.
- Chiều dày lòng khuôn: 0.5 mm, 0.75 mm và 1 mm
- Nhiệt độ nóng chảy nhựa (melt temperature): 260°C.
- Áp suất phun (injection pressure): 30 Kg/cm².
- Thời gian phun ép (injection time): 1s.
- Nhiệt độ khuôn (mold temperature): 30°C, 50°C, 70°C, 90°C, 110°C.
- Phần mềm mô phỏng: Modex3D R14.

3.2. Mô hình nghiên cứu dòng chảy composite với sản phẩm có thành mỏng và nhiệt độ khuôn cao

Các bước cơ bản của quy trình phun ép nhựa có hỗ trợ gia nhiệt khuôn bằng khí nóng bên ngoài khuôn (Gas-assisted mold temperature control-Ex-GMTC) được trình bày như Hình 3.5. Hệ thống công nghệ phục vụ cho Ex-GMTC được chuẩn bị gồm các thiết bị chính như: Hệ thống điều khiển GMTC, hệ thống cấp khí nóng (gồm máy nén khí, khối gia nhiệt cho khí, hệ thống điều khiển lưu lượng khí) và hệ thống giải nhiệt cho khuôn.



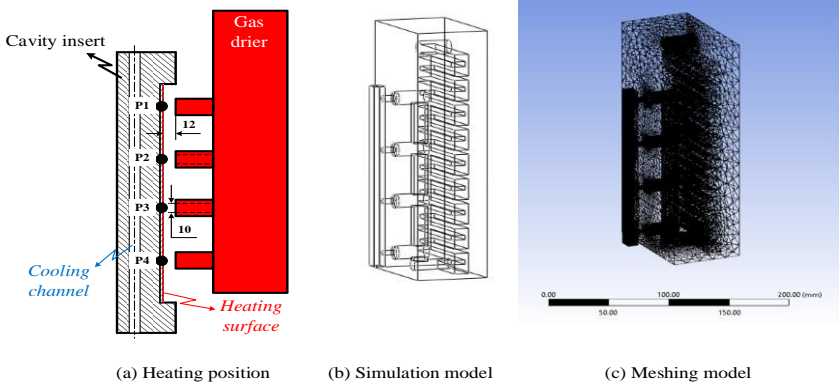
Hình 3.5 Mô hình hệ thống gia nhiệt bằng khí nóng (Ex-GMTC)

Trong trường hợp này, mô hình nghiên cứu chiều dài dòng chảy với thành sản phẩm mỏng (nhỏ hơn 0,5 mm) sẽ được thiết lập. Ngoài ra, mô hình nghiên cứu khả năng tạo hình cho gân mỏng của sản phẩm nhựa sẽ được thực hiện.

3.2.1. Mô hình mô phỏng

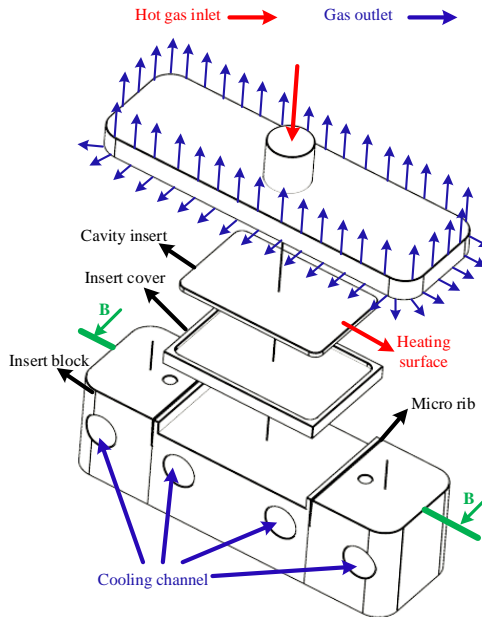
Để nghiên cứu sự phân bố nhiệt độ tại các vị trí gia nhiệt của khuôn, tác giả

Thực hiện mô phỏng bởi phần mềm ANSYS, mô hình mô phỏng được thiết kế gồm công phun, hệ thống kênh giải nhiệt như Hình 3.6.



Hình 3.6 Mô hình gia nhiệt bằng khí nóng

Đối với khuôn thành mỏng, mô hình mô phỏng được thiết kế như Hình 3.7. Chế độ truyền nhiệt xung quanh tất cả các bề mặt bên ngoài của tấm khuôn được đặt ở vị trí đối lưu tự do với không khí, với nhiệt độ môi trường ở 30°C và hệ số truyền nhiệt là $10 \text{ W/m}^2\text{K}$. Giống như thực nghiệm, diện tích tại tâm khuôn được thiết kế với miếng thép để cải thiện hiệu quả gia nhiệt. Tấm chèn khuôn có kích thước $40 \times 25 \times 1.0 \text{ mm}^3$. Khí đầu vào với nhiệt độ 400°C được sử dụng để mô phỏng.



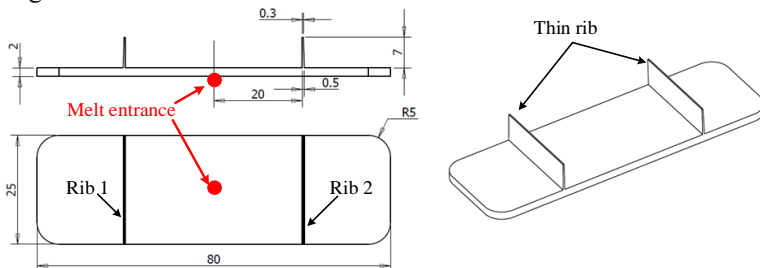
Hình 3.7 Mô hình mô phỏng gia nhiệt khuôn sản phẩm thành mỏng

Mô hình được xây dựng gồm hai phần: Các vị trí gia nhiệt và các kênh dẫn khí nóng với các điều kiện biên được thể hiện trong Bảng 3.3.

Bảng 3.3 Các thông số mô phỏng nghiên cứu chiều dài dòng chảy

Thông số mô phỏng						
Nhiệt độ không khí tại đầu vào của bộ gia nhiệt khí	30°C , 7 bar					
Nhiệt độ không khí tại đầu ra của bộ gia nhiệt cho khí (°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 của không khí Nhiệt dung riêng của không khí (J/kg*K)	1004	1026	1035	1046	1057	1068
Hệ số dẫn nở của không khí	3.32	2.1	1.93	1.76	1.64	1.52
Áp suất không khí	1 atm					
Nhiệt độ ban đầu của khuôn	30°C					
Tỉ trọng của nhôm	2702 kg/m ³					
Nhiệt dung riêng của nhôm	903 J/kgK					
Hệ số truyền nhiệt của nhôm	237 W/mK					
Tỉ trọng của thép	7870 kg/m ³					
Nhiệt dung riêng của thép P20	460 J/kgK					
Hệ số truyền nhiệt của thép P20	29 W/mK					
Dạng mô phỏng	Transient					
Thời gian gia nhiệt	0s → 30 s					
Thông số không khí ngoài môi trường	- Áp suất môi trường: 1 atm - Nhiệt độ không khí: 30°C					
Điều kiện ban đầu của không khí	- Vận tốc không khí: 0 m/s - Áp suất không khí: 1 atm - Nhiệt độ không khí: 30°C					

Sau khi nghiên cứu ảnh hưởng của Ex-GMTC đến chiều dài dòng chảy của quá trình phun ép, phương pháp gia nhiệt này được áp dụng cho sản phẩm có gân mỏng như trong Hình 3.8.

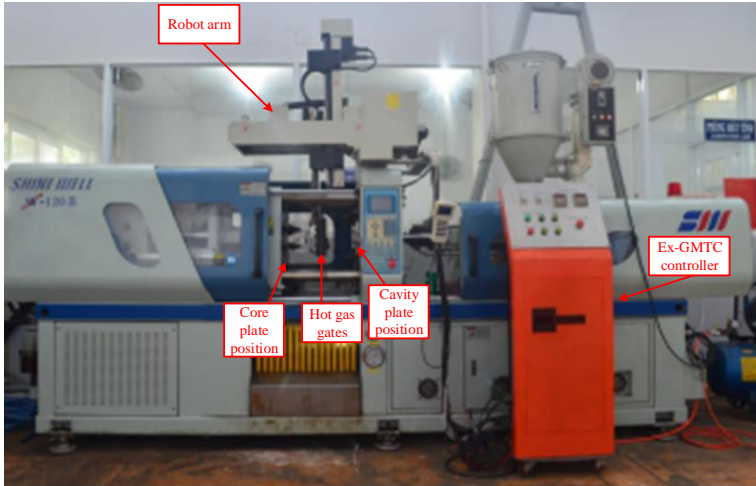


Hình 3.8 Mô hình chi tiết gân mỏng

3.2.2. Mô hình thực nghiệm

Hệ thống Ex-GMTC bao gồm bộ điều khiển nhiệt độ khuôn, hệ thống tạo khí nóng (bao gồm máy nén khí, máy sấy không khí có công suất 12 kW và bộ điều

khuyến lưu lượng thể tích kỹ thuật số) và cánh tay robot để di chuyển hệ thống máy phát khí nóng đến vị trí gia nhiệt. Việc lắp ráp hệ thống Ex-GMTC và máy phun ép được thể hiện như Hình 3.9.



Hình 3.9 Thiết bị gia nhiệt khuôn bằng khí nóng từ bên ngoài

3.2.3. Điều kiện mô phỏng và thực nghiệm

- Vật liệu điền vào lòng khuôn:

+ Nhựa thông dụng: Nhựa thông dụng được chọn gồm 3 loại:

- Nhựa PP: có hệ số nhớt thấp và khả năng chảy tốt.
- Nhựa ABS: là vật liệu nhựa có hệ số nhớt cao
- Nhựa PA6: là loại nhựa thông dụng, thường được trộn sợi thủy tinh để gia cường.

+ Nhựa composite: Vật liệu PA6+30%GF được sử dụng để khảo sát khả năng chảy của composite ứng với các trường hợp nhiệt độ khuôn cao và sản phẩm có thành mỏng.

- Máy phun ép: Shine Well 120B.

- Gia nhiệt bằng khí nóng từ ngoài khuôn.

- Nhiệt độ nóng chảy nhựa (melt temperature): 260°C.

- Áp suất phun (injection pressure): 30 Kg/cm².

- Thời gian phun ép (injection time): 1s.

- Nhiệt độ khuôn (mold temperature): thay đổi từ 45 đến 140°C

Chương 4. ẢNH HƯỞNG CỦA NHIỆT ĐỘ KHUÔN ĐẾN ĐỘ ĐIỀN ĐẦY VẬT LIỆU COMPOSITE

4.1. Ảnh hưởng của nhiệt độ khuôn đến độ điền đầy với mô hình cơ bản

4.1.1. Kết quả mô phỏng và thực nghiệm

Trong quá trình mô phỏng và thực nghiệm vật liệu nhựa PA6 với các tỉ lệ sợi thủy tinh thay đổi từ 0% đến 30% sẽ được sử dụng để quan sát ảnh hưởng của nhiệt độ khuôn đến chiều dài dòng chảy. Ngoài ra, nhiệt độ khuôn sẽ được điều khiển với giá trị thay đổi từ 30°C đến 110°C với 3 loại chiều dày sản phẩm đã được mô phỏng và thực nghiệm gồm: 1 mm, 0.75 mm và 0.5 mm. Kết quả mô phỏng và thực nghiệm của chiều dài dòng chảy tương ứng với các loại vật liệu, chiều dày sản phẩm và nhiệt độ khuôn khác nhau được thể hiện như Bảng 4.1, 4.2 và 4.3.

Bảng 4.1 Kết quả chiều dài dòng chảy nhựa (L) bằng mô phỏng và thực nghiệm với sản phẩm có chiều dày 1 mm

TT	GF (%)	T (°C)	Kết quả mô phỏng (mm)	Kết quả thực nghiệm (mm)	Sai lệch (mm)
1	0	30	115.3	114.8	0.5
		50	117.8	118.1	0.3
		70	128.7	126.3	2.4
		90	132.6	136.8	4.2
		110	150.8	146.8	4.0
2	5	30	102.7	101.1	1.6
		50	107.7	109.1	1.4
		70	111.1	111.1	0
		90	114.1	114.8	0.7
		110	117.5	116.3	1.2
3	10	30	94.3	96.1	1.8
		50	100.7	101.5	0.8
		70	105.7	106.8	1.1
		90	110.4	108.4	2
		110	114.5	113.5	1.0
4	15	30	90.7	91.3	0.6
		50	94.8	97.6	2.8
		70	101.3	100.1	1.2
		90	105.8	104.3	1.5
		110	109.1	110.1	1.0
5	20	30	85.7	87.6	1.9
		50	88.5	91.1	2.6
		70	97.1	97.5	0.4
		90	101.3	100.2	1.1
		110	105.8	106.4	0.6
6	25	30	82.1	83.2	1.1
		50	85.1	87.2	2.1
		70	96.1	95.2	0.9
		90	100.1	98.1	2.0

7	30	110	101.1	102.3	1.2
		30	80.6	79.9	0.7
		50	82.1	84.6	2.5
		70	93.1	93.6	0.5
		90	97.1	96.1	1.0
		110	99.9	100.3	0.4

Bảng 4.2 Kết quả chiều dài dòng chảy nhựa (L) bằng mô phỏng và thực nghiệm với sản phẩm có chiều dày 0.75 mm

TT	GF (%)	T (°C)	Kết quả mô phỏng (mm)	Kết quả thực nghiệm (mm)	Sai lệch (mm)
1	0	30	89.5	87.1	2.4
		50	91.3	89.1	2.2
		70	97.3	95.1	2.2
		90	101.7	99.3	2.4
		110	107.8	105.1	2.7
2	5	30	78.6	79.1	0.5
		50	80.7	81.3	0.6
		70	86.3	83.8	2.5
		90	90.1	87.4	2.7
		110	93.7	93.1	0.6
3	10	30	75.1	74.5	0.6
		50	76.9	76.5	0.4
		70	80.7	77.8	2.9
		90	87.1	81.8	4.3
		110	91.7	88.3	2.4
4	15	30	72.1	71.1	1.0
		50	74.3	73.1	1.2
		70	77.1	75.4	1.7
		90	81.5	79.0	2.5
		110	85.7	85.1	0.6
5	20	30	69.1	68.4	0.7
		50	71.7	70.6	1.1
		70	74.8	73.3	1.5
		90	77.5	75.4	2.1
		110	81.7	79.1	2.6
6	25	30	68.1	67.1	1.0
		50	70.3	69.8	0.5
		70	72.1	72.2	0.1
		90	75.1	74.4	0.7
		110	80.7	78.5	2.2
7	30	30	64.3	64.3	0.0
		50	65.6	66.2	0.6
		70	71.8	70.4	1.4
		90	73.3	72.6	0.7
		110	75.7	76.4	0.7

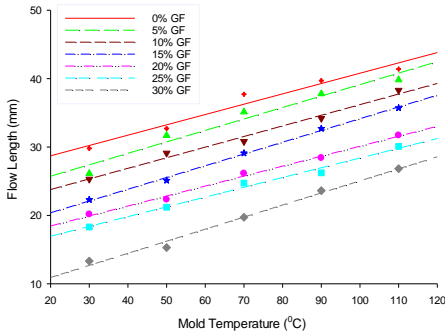
Bảng 4.3 Kết quả chiều dài dòng chảy nhựa (L) bằng mô phỏng và thực nghiệm với sản phẩm có chiều dày 0.5 mm

TT	GF (%)	T (°C)	Kết quả mô phỏng (mm)	Kết quả thực nghiệm (mm)	Sai lệch (mm)
1	0	30	28.3	29.8	1.5
		50	33.5	32.7	0.8
		70	36.3	37.7	1.4
		90	40.1	39.7	0.4
		110	43.1	41.4	1.7
2	5	30	26.1	26.1	0.0
		50	33.4	31.7	1.7
		70	35.7	35.1	0.6
		90	39.5	37.8	1.7
		110	44.4	39.8	4.6
3	10	30	24.1	25.3	1.2
		50	31.4	29.1	2.3
		70	34.7	30.8	3.9
		90	36.8	34.2	2.6
		110	42.1	38.3	3.8
4	15	30	20.8	22.3	1.5
		50	24.7	25.1	0.4
		70	30.5	29.1	1.4
		90	34.8	32.7	2.1
		110	39.8	35.7	4.1
5	20	30	19.7	20.1	0.4
		50	20.8	22.3	1.5
		70	26.1	26.1	0.0
		90	30.3	28.4	1.9
		110	34.7	31.7	3.0
6	25	30	15.7	18.3	2.6
		50	22.7	21.2	1.5
		70	26.4	24.7	1.7
		90	27.4	26.2	1.2
		110	30.7	30.1	0.6
7	30	30	14.7	13.3	1.4
		50	15.3	15.3	0.0
		70	18.8	19.7	0.9
		90	19.7	23.6	3.9
		110	21.5	26.8	4.3

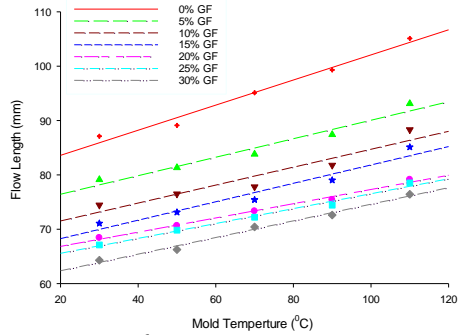
4.1.2. Ảnh hưởng của nhiệt độ khuôn đến độ điền đầy vật liệu

4.1.2.1. Ảnh hưởng của nhiệt độ khuôn đến chiều dài dòng chảy

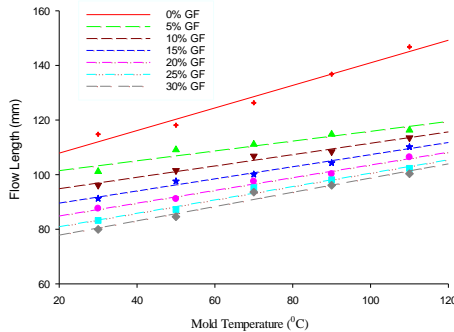
Theo kết quả mô phỏng và thực nghiệm về chiều dài dòng chảy đối với mô hình khuôn cơ bản của quá trình phun ép nhựa composite vào lòng khuôn lần lượt với các kích thước chiều dày sản phẩm thay đổi từ 0.5mm, 0.75mm và 1 mm ta tìm được mối liên hệ giữa nhiệt độ và chiều dài dòng chảy như Hình 4.1, 4.2 và 4.3.



Hình 4.1 Ảnh hưởng của nhiệt độ khuôn đến chiều dài dòng chảy đối với sản phẩm chiều dày 0.5 mm



Hình 4.2 Ảnh hưởng của nhiệt độ khuôn đến chiều dài dòng chảy đối với sản phẩm chiều dày 0.75 mm



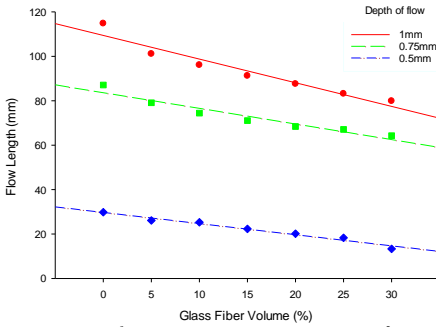
Hình 4.3 Ảnh hưởng của nhiệt độ khuôn đến chiều dài dòng chảy đối với sản phẩm chiều dày 1 mm

- Khi vật liệu chảy vào lòng khuôn, nhiệt độ dòng chảy tại vị trí tiếp xúc với thành khuôn sẽ giảm do quá trình trao đổi nhiệt với tấm khuôn, do đó lớp nhựa lỏng tại vị trí này không còn đủ nhiệt để duy trì trạng thái lỏng như ban đầu (độ nhớt sẽ tăng lên) và hình thành nên lớp nguội (lớp đông đặc). Khi dòng nhựa càng đi xa đầu phun của máy ép thì lớp nguội này sẽ càng dày hơn, dẫn đến hạn chế khả năng chảy của dòng nhựa. Kết quả thực nghiệm trong đề tài này 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 (Hình 4.1, Hình 4.2 và Hình 4.3). Điều đó có nghĩa là chiều dài dòng chảy sẽ tăng khi chiều dày lòng khuôn tăng. Ngoài ra, chiều dày lớp đông đặc sẽ giảm khi nhiệt độ khuôn được nâng cao do quá trình truyền nhiệt từ nhựa nóng sang thành khuôn sẽ được hạn chế. Do đó, dòng nhựa nóng ít bị mất nhiệt hơn, nên nhựa dễ chảy và di chuyển được khoảng cách xa hơn.

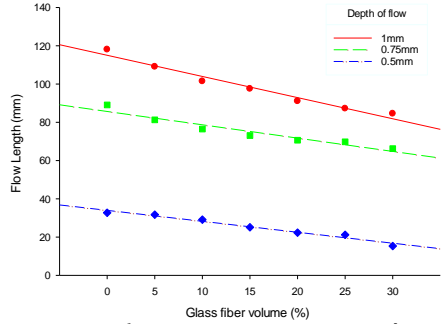
- Việc lựa chọn và điều chỉnh nhiệt độ khuôn đóng vai trò quan trọng nhằm cân bằng dòng chảy của nhựa vào lòng khuôn. Đây là cơ sở quan trọng cho việc đạt được chất lượng đồng đều cho loạt sản phẩm lớn trong quá trình sản xuất theo phương pháp phun ép, đặc biệt với loại khuôn có nhiều lòng khuôn với kích thước

khác nhau và vật liệu là composite. Vì vậy, cần phải đánh giá ảnh hưởng của nhiệt độ khuôn đến chiều dài sản phẩm để lựa chọn nhiệt độ khuôn cho phù hợp, sao cho đảm bảo độ điền đầy và độ bền sản phẩm.

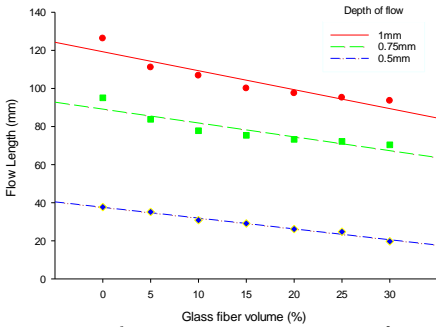
4.1.2.2. Ảnh hưởng của tỉ lệ sợi đến chiều dài dòng chảy



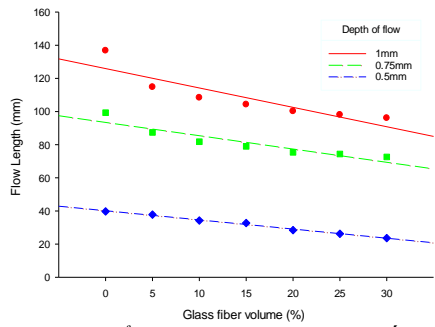
Hình 4.4 Ảnh hưởng của tỉ lệ sợi đến chiều dài dòng chảy tại nhiệt độ khuôn 30°C



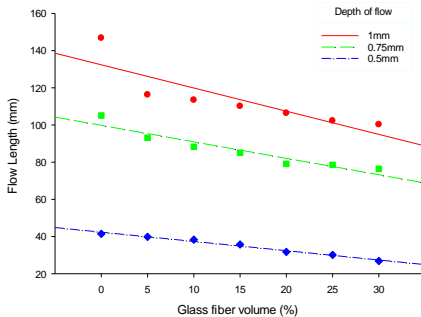
Hình 4.5 Ảnh hưởng của tỉ lệ sợi đến chiều dài dòng chảy tại nhiệt độ khuôn 50°C



Hình 4.6 Ảnh hưởng của tỉ lệ sợi đến chiều dài dòng chảy tại nhiệt độ khuôn 70°C



Hình 4.7 Ảnh hưởng của tỉ lệ sợi đến chiều dài dòng chảy tại nhiệt độ khuôn 90°C



Hình 4.8 Ảnh hưởng của tỉ lệ sợi đến chiều dài dòng chảy tại nhiệt độ khuôn 110°C

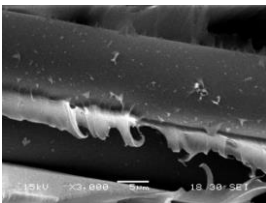
Chiều dài dòng chảy không chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ khuôn (Hình 4.1, 4.2 và 4.3), mà còn phụ thuộc vào tỉ lệ sợi gia cường như kết quả thể hiện ở Hình 4.4, 4.5, 4.6, 4.7 và 4.8. Đây là các kết quả mô tả ảnh hưởng của tỉ lệ sợi đến chiều dài dòng chảy vật liệu composite ứng với các nhiệt độ khuôn khác nhau.

- Khi tỉ lệ sợi (V_f) tăng lên trong khoảng khảo sát từ 0% đến 30% thì chiều dài dòng chảy giảm đáng kể. Chẳng hạn như: tại nhiệt độ khuôn 90°C và chiều dày sản phẩm 1 mm thì chiều dài dòng chảy là 114,8 mm và 96,1 mm tương ứng với $V_f = 5\%$ và $V_f = 30\%$. Khi tăng tỉ lệ sợi lên 25% thì chiều dài dòng chảy cũng giảm khoảng 23 - 27 %. Đồng thời, chiều dài dòng chảy có xu hướng giảm khi chiều dày dòng chảy giảm.

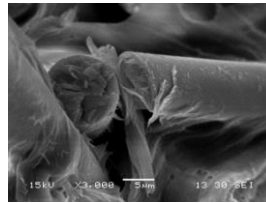
- Nhiệt độ khuôn có ảnh hưởng lớn đến định hướng sợi trong dòng chảy và chất lượng bề mặt. Nếu nhiệt độ khuôn thấp và chênh lệch lớn với nhiệt độ chảy của vật liệu thì bề mặt của sản phẩm sẽ rất thô và các sợi lộ trên bề mặt. Khi nhiệt độ khuôn tăng dần, chất lượng bề mặt của sản phẩm được tăng lên và các sợi phân bố tốt hơn và được định hướng theo dòng chảy vật liệu. 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.

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

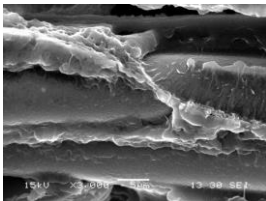
Ảnh hưởng của nhiệt độ khuôn đến liên kết sợi thủy tinh được thể hiện qua ảnh SEM (Scanning Electron Microscopy) như Hình 4.9, 4.10, 4.11, 4.12, 4.13 với các điều kiện cụ thể: Vật liệu PA6+30%GF, chiều dày mẫu 1 mm, nhiệt độ khuôn thay đổi từ 30 đến 110°C, thiết bị chụp SEM JSM-6480LV (Viện công nghệ Nano - ĐHQG TP.HCM).



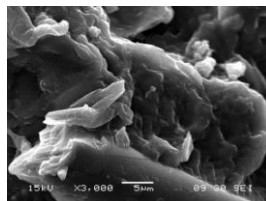
Hình 4.9 Liên kết sợi khi nhiệt độ khuôn 30°C



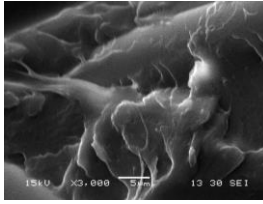
Hình 4.10 Liên kết sợi khi nhiệt độ khuôn 50°C



Hình 4.11 Liên kết sợi khi nhiệt độ khuôn 70°C



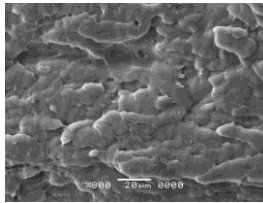
Hình 4.12 Liên kết sợi khi nhiệt độ khuôn 90°C



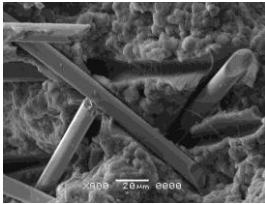
Hình 4.13 Liên kết sợi khi nhiệt độ khuôn 110°C

Liên kết giữa các vật liệu thành phần của composite không chỉ phụ thuộc vào tỉ lệ pha trộn mà còn phụ thuộc vào nhiệt độ khuôn phun ép. 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 và hình thành nhiều khoảng trống bên trong (Hình 4.9, 4.10). Điều này ảnh hưởng lớn đến chất lượng điền đầy trong quá trình phun ép. Khi nhiệt độ khuôn đủ lớn ($> 70^{\circ}\text{C}$), 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 4.11, 4.12, 4.13).

4.1.2.4. Ảnh hưởng của tỉ lệ sợi đến liên kết sợi thủy tinh



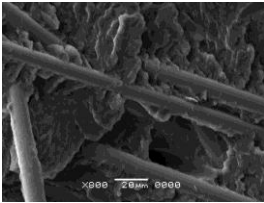
Hình 4.14 Liên kết sợi khi $V_f = 0\%$



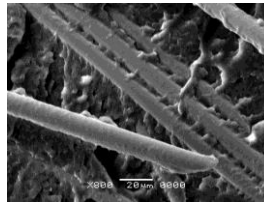
Hình 4.15 Liên kết sợi khi $V_f = 5\%$



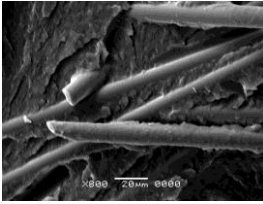
Hình 4.16 Liên kết sợi khi $V_f = 10\%$



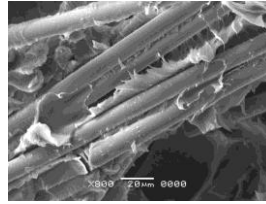
Hình 4.17 Liên kết sợi khi $V_f = 15\%$



Hình 4.18 Liên kết sợi khi $V_f = 20\%$



Hình 4.19 Liên kết sợi khi $V_f = 25\%$



Hình 4.20 Liên kết sợi khi $V_f = 30\%$

Trương tự để nghiên cứu ảnh hưởng của tỉ lệ sợi đến liên kết sợi thủy tinh, tác giả dùng phương pháp chụp SEM với các điều kiện cụ thể: Vật liệu: PA6, PA6+5%GF, PA6+10%GF, PA6+15%GF, PA6+20%GF, PA6+25%GF, PA6+30%GF ($V_f = 0 - 30\%$), chiều dày mẫu: 1 mm, nhiệt độ khuôn: 70°C. Kết quả chụp SEM được thể hiện như Hình 4.14, 4.15, 4.16, 4.17, 4.18, 4.19 và 4.20. Kết quả cho thấy tỉ lệ sợi ảnh hưởng đáng kể đến phân bố và liên kết giữa các thành phần vật liệu nền (PA6) và vật liệu cốt (GF). Khi không có sợi gia cường, nhựa PA6 được phân bố đồng đều và có cấu trúc như sợi sóng (Hình 4.14). Khi được gia cường sợi với $V_f = 5 - 30\%$ thì phân bố sợi khi phun ép có sự thay đổi đáng kể. Trong đó, với tỉ lệ sợi $V_f = 30\%$ thì độ nhớt của vật liệu giảm đáng kể, dẫn đến sợi ngắn thủy tinh có xu hướng dồn lại với nhau. Điều này ảnh hưởng đáng kể đến độ điền đầy của vật liệu composite trong lòng khuôn.

❖ Để đánh giá ảnh hưởng của nhiệt độ khuôn đến độ điền đầy của vật liệu composite nhựa nhiệt dẻo với tỉ lệ sợi thay đổi từ 0% đến 30% trong quy trình phun ép, phương trình hồi quy về mối quan hệ giữa độ điền đầy (chiều dài) với nhiệt độ khuôn và chiều dày sản phẩm được xác định bằng phần mềm **Minitab** thông qua kết quả thực nghiệm (Bảng 4.1, 4.2 và 4.3) với kết quả như Bảng 4.4.

Nhìn chung, phương trình hồi quy tổng quát về mối quan hệ giữa độ điền đầy (chiều dài) với nhiệt độ khuôn và chiều dày sản phẩm như sau:

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

Trong đó,

L: Độ điền đầy (chiều dài) sản phẩm (mm)

T: Nhiệt độ khuôn (°C)

h: Chiều dày sản phẩm (mm)

a, b và c: Các hệ số phụ thuộc vào nhiều yếu tố như nhiệt độ khuôn, tỉ lệ sợi và chiều dày sản phẩm.

Bảng 4.4 Phương trình hồi quy nhựa với tỉ lệ phần trăm sợi thủy tinh thay đổi

$V_f(\%)$	Phương trình hồi quy	Độ tin cậy (R-Sq (adj))
0	$L = 0.265T + 185h - 70.4$	96.4%
5	$L = 0.179T + 152h - 49.9$	95.9%
10	$L = 0.176T + 147h - 50.0$	96.4%
15	$L = 0.171T + 143h - 48.8$	98.4%
20	$L = 0.170T + 142h - 53.0$	95.4%
25	$L = 0.175T + 138h - 52.7$	94.0%
30	$L = 0.187T + 143h - 60.0$	93.5%

4.2. Ảnh hưởng của nhiệt độ khuôn đến độ điền đầy với mô hình sản phẩm có thành mỏng và nhiệt độ khuôn cao

4.2.1. Mô hình dòng chảy vào lòng khuôn hình chữ nhật

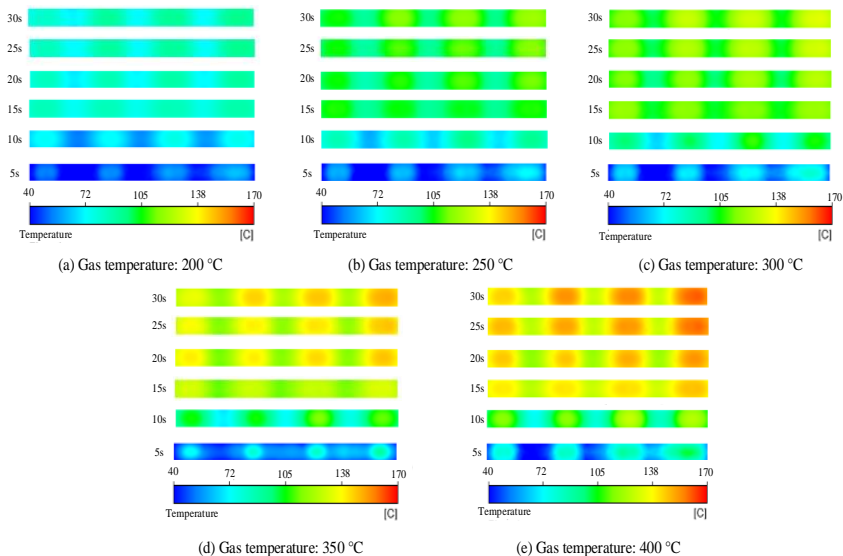
Trong phun ép, nhiệt độ bề mặt lòng khuôn có ảnh hưởng rất lớn đến chiều dài dòng chảy do giảm lớp đông đặc. Đặc tính này là một vấn đề lưu ý quan trọng của quá trình phun ép, đặc biệt là với các sản phẩm siêu nhỏ hoặc các sản phẩm có thành mỏng. Trong nghiên cứu này, để tăng nhiệt độ lòng khuôn, Ex-GMTC đã được áp dụng cho khuôn có chiều dài dòng chảy. Để quan sát ảnh hưởng của Ex-GMTC đến chiều dài dòng chảy, tiến hành gia nhiệt bằng khí nóng đạt nhiệt độ 400°C và thời gian gia nhiệt thay đổi từ 5 đến 20s. Sau quá trình gia nhiệt, hệ thống gia nhiệt được di chuyển ra ngoài khu vực phun ép và tấm khuôn hai nửa được đóng lại để quá trình điền đầy bắt đầu. Trong giai đoạn này, nhiệt độ khuôn sẽ thay đổi và vào cuối hành trình sẽ ảnh hưởng đến chiều dài dòng chảy. Đối với thực nghiệm phun ép, Polypropylen (PP) và Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) đã được sử dụng với các tính chất vật liệu như trong Bảng 4.5.

Bảng 4.5 Thông số khuôn cho thực nghiệm chiều dài dòng chảy

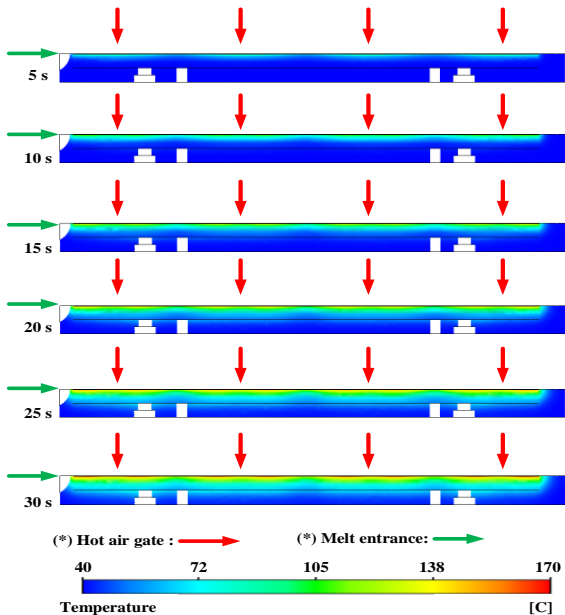
TT	Thông số khuôn	Giá trị			
		PP	ABS	PA6	PA6+30%GF
1	Nhiệt độ nhựa	210°C	230°C	215°C	270°C
2	Áp suất phun	60 kg/cm ²			
3	Thời gian giải nhiệt	20s			
4	Tốc độ phun	50 mm/s			
5	Thời gian phun	0.5s			
6	Thời gian đóng khuôn	2.5s			
7	Thời gian gia nhiệt	5s, 10s, 15s, 20s			
8	Nhiệt độ khuôn ban đầu	30°C			
9	Độ nóng chảy	160°C	190°C	215°C	255°C

4.2.2. Kết quả quá trình gia nhiệt cho lòng khuôn dạng hình chữ nhật

Quá trình gia nhiệt được thực hiện ở nhiệt độ khí 200°C, 250°C, 300°C, 350°C và 400°C, thời gian gia nhiệt trong 30s và nhiệt độ bề mặt lòng khuôn ban đầu là 30°C. Kết quả mô phỏng cho thấy sự phân bố nhiệt độ của lòng khuôn như Hình 4.21 và Hình 4.22, nhiệt độ tại bốn điểm đo được trong Bảng 4.6. Theo kết quả mô phỏng về sự phân bố nhiệt độ lòng khuôn, ta thấy sự khác biệt về nhiệt độ rõ ràng vào đầu giai đoạn gia nhiệt vì tốc độ gia nhiệt tại các cửa rất mạnh trong giai đoạn này. Ngược lại, khi tăng nhiệt độ gia nhiệt, sự khác biệt về nhiệt độ cũng thể hiện rõ vào cuối giai đoạn gia nhiệt. Đây là sự mất cân bằng năng lượng giữa năng lượng nhiệt nhận gần cổng gia nhiệt và khu vực năng lượng nhiệt cách xa cổng gia nhiệt. Do đó, ở khu vực cách xa cổng gia nhiệt, nhiệt độ thấp hơn nhiều so với khu vực gần cổng gia nhiệt. Kết quả này được thấy rõ hơn ở nhiệt độ gia nhiệt 400°C và thời gian gia nhiệt là 30s.



Hình 4.21 Kết quả mô phỏng sự phân bố nhiệt độ bề mặt lòng khuôn với chiều dài dòng chảy sau 30s gia nhiệt với các khoảng nhiệt độ khác nhau

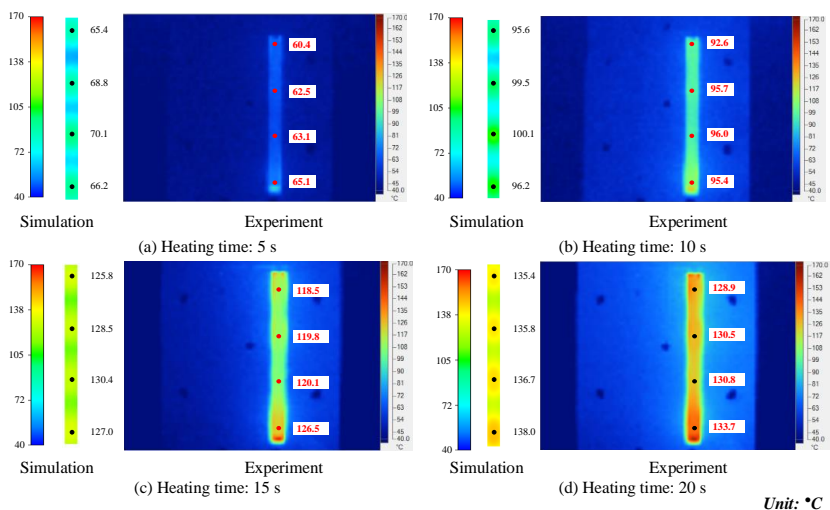


Hình 4.22 Phân bố nhiệt độ tại mặt cắt A - A với nhiệt độ gia nhiệt là 400°C

Bảng 4.6 Kết quả mô phỏng nhiệt độ tại lòng khuôn với thời gian gia nhiệt bằng khí nóng từ 5s đến 30s

Thời gian gia nhiệt (s)	Vị trí	Nhiệt độ gia nhiệt (°C)				
		200	250	300	350	400
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

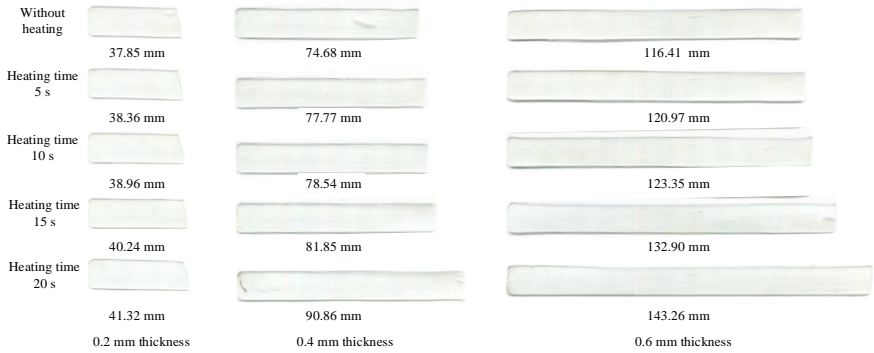
Để kiểm tra tính chính xác của kết quả mô phỏng, tiến hành thực nghiệm với các điều kiện biên như được sử dụng trong mô phỏng. Thực nghiệm được tiến hành 10 lần cho mỗi trường hợp và giá trị trung bình được thể hiện. Nhiệt độ tại bốn điểm như Hình 4.23 được ghi nhận bằng camera nhiệt và so với kết quả mô phỏng (Hình 4.21). Dựa vào giá trị so sánh này, sự khác nhau về nhiệt độ giữa mô phỏng và thực nghiệm thấp hơn 12°C. Sự khác biệt này là do độ trễ của camera đo nhiệt, đặc biệt là khi nhiệt có thể truyền nhanh từ vùng nhiệt độ cao sang vùng nhiệt độ thấp hơn. Tuy nhiên, nhìn chung, kết quả mô phỏng và thực nghiệm này cho thấy có sự phù hợp và chính xác cao.



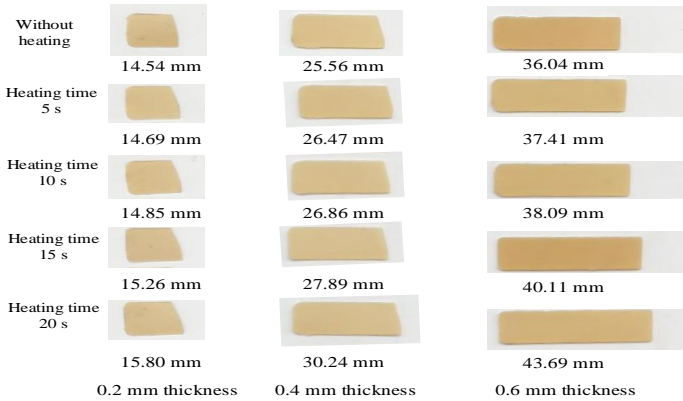
Hình 4.23 Kết quả thực nghiệm phân bố nhiệt độ tại bề mặt lòng khuôn với các thời gian gia nhiệt khác nhau

Thực nghiệm quá trình phun ép vật liệu PP và ABS với phương pháp gia nhiệt bằng khí nóng (Ex-GMTC) và thời gian gia nhiệt khác nhau. Các thông số phun ép như trong Bảng 4.5 và chiều dài dòng chảy lần lượt là 0,2, 0,4 và 0,6 mm. Kết quả cho thấy chiều dài dòng chảy được cải thiện khi nhiệt độ khuôn được nâng lên cao với thời gian gia nhiệt trong khoảng từ 5s đến 20s (Hình 4.24 và 4.25). Chiều dài dòng chảy nhựa được cải thiện rõ rệt với trường hợp thời gian gia nhiệt 15s và 20s. Phần trăm sự cải thiện về chiều dài dòng chảy được tính toán và được thể hiện trong Hình 4.26 (hình a, b). Kết quả cho thấy khi phương pháp gia nhiệt bằng khí nóng được sử dụng cho dòng chảy có độ dày 0,6 mm, chiều dài dòng chảy có thể được cải thiện 23,5% với vật liệu PP và 22,3% với vật liệu nhựa ABS. Với độ dày dòng chảy 0,2 mm, chiều dài dòng chảy tăng từ 37,85 lên 41,32 mm với vật liệu PP và từ 14,54 đến 15,8 mm với vật liệu ABS.

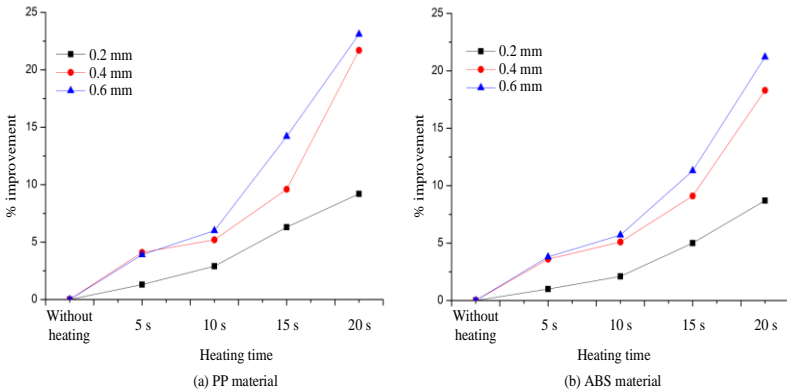
Do nhu cầu thực tế sử dụng với các sản phẩm nhựa thành mỏng hiện nay, vật liệu được sử dụng thông dụng là PA6 và PA6+30%GF. Với vật liệu này tỉ lệ cải thiện khả năng chảy của dòng vật liệu càng được cải thiện rõ rệt hơn (Hình 4.27 và 4.28). Cụ thể, với vật liệu PA6 và chiều dày dòng chảy 0,6 mm, chiều dài dòng chảy được tăng thêm khoảng 90,6% (tăng từ 38,96 mm lên 74,25 mm) khi gia nhiệt 20s. Với vật liệu composite PA6+30%GF, kết quả thực nghiệm cho thấy với chiều dày dòng chảy là 0,6 mm, khi gia nhiệt 20 s, chiều dài được cải thiện từ 28,5 mm đến 58,95 mm, tương đương 108,6% (Hình 4.29). Các kết quả này cũng cho thấy dòng chảy của vật liệu nền PA6 có độ nhạy với nhiệt độ khuôn hơn vật liệu PP và ABS, với khả năng cải thiện chiều dài dòng chảy trên 80% với thời gian gia nhiệt là 20s. Các kết quả về chiều dài dòng chảy giữa các vật liệu này có thể giải thích dựa vào khả năng hạn chế quá trình hình thành lớp frozen layer trong quá trình vật liệu chảy trong lòng khuôn.



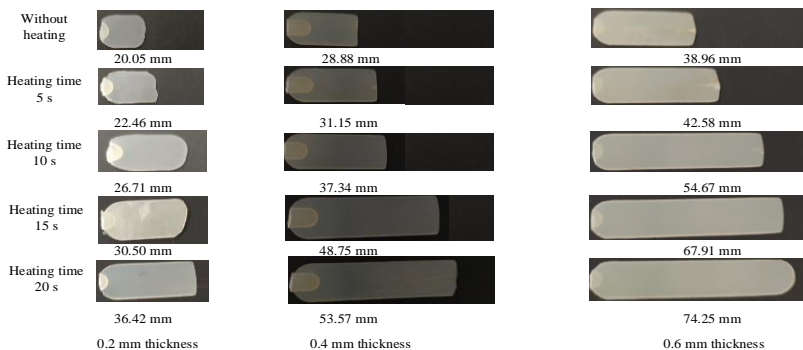
Hình 4.24 Kết quả thực nghiệm chiều dài dòng chảy vật liệu nhựa PP với thời gian gia nhiệt khác nhau



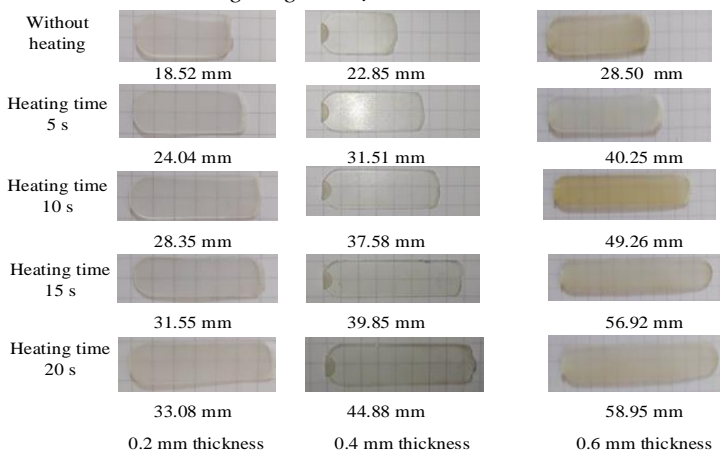
Hình 4.25 Kết quả thực nghiệm chiều dài dòng chảy vật liệu nhựa ABS với thời gian gia nhiệt khác nhau



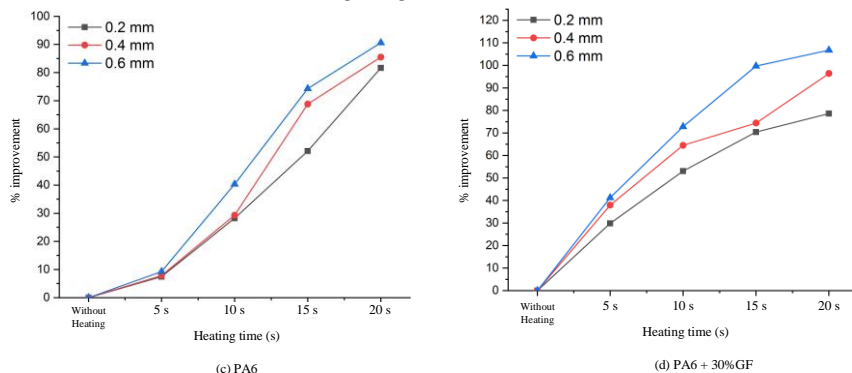
Hình 4.26 Cải thiện chiều dài dòng chảy với vật liệu PP và ABS



Hình 4.27 Kết quả thực nghiệm chiều dài dòng chảy vật liệu nhựa PA6 với thời gian gia nhiệt khác nhau



Hình 4.28 Kết quả thực nghiệm chiều dài dòng chảy vật liệu nhựa PA6+30%GF với thời gian gia nhiệt khác nhau



Hình 4.29 Cải thiện chiều dài dòng chảy với vật liệu PA6 và PA6+30%GF

4.2.3. Mô hình dòng chảy vào lòng khuôn dạng gân micro

Để đánh giá hiệu quả của việc hạn chế lớp frozen layer nhằm tăng khả năng chảy của vật liệu nhựa, phương pháp nâng nhiệt độ khuôn được tiến hành sử dụng bộ khuôn cho sản phẩm gân mỏng đã được sử dụng. Kích thước của sản phẩm này được hiển thị trong Hình 3.8, với độ dày gân thay đổi từ 0.3 đến 0.5 mm và chiều cao gân là 7.0 mm. Các vật liệu dùng trong thực nghiệm là ABS, PP, PA6, PA6+30%GF. Đối với quy trình phun ép thông thường, nhiệt độ khuôn phải được cài đặt trong khoảng 20°C đến 80°C. Tuy nhiên, với sản phẩm thành mỏng, nhiệt độ khuôn phải được cài đặt càng cao càng tốt để cho việc điền đầy hoàn toàn lòng khuôn. Điều này thuận lợi cho dòng chảy điền đầy vì giảm lớp đông đặc của dòng chảy (frozen layer).

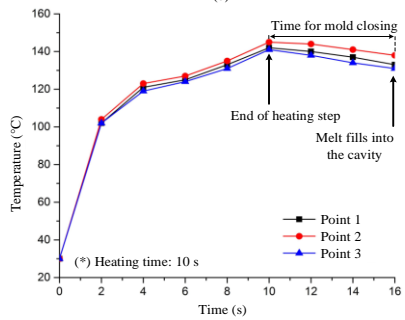
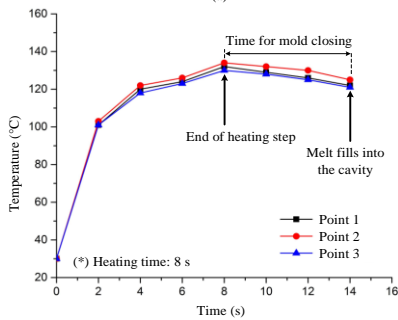
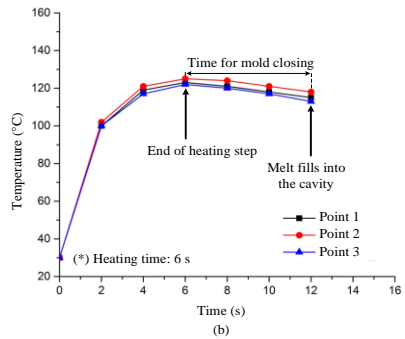
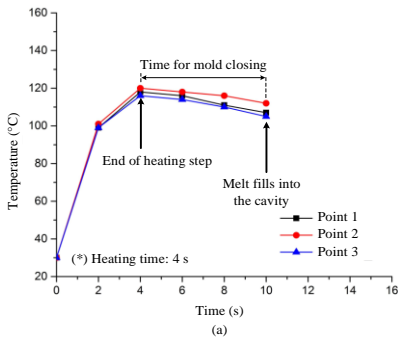
Với kết cấu trên, vị trí tại trung tâm lòng khuôn được thiết kế với một miếng thép để cải thiện hiệu quả gia nhiệt. Tấm insert có kích thước 40 × 25 × 1.0 mm. Một hệ thống gia nhiệt khí nóng có một cổng và nhiệt độ khí 400°C đã được sử dụng cho thực nghiệm này. Để quan sát ảnh hưởng của Ex-GMTC đến bước điền đầy gân mỏng, chu trình phun ép được thực hiện với nhiệt độ phun ép từ 45°C đến 75°C. Trong những trường hợp này, bộ điều khiển nhiệt độ khuôn được sử dụng biện pháp gia nhiệt bằng nước bên trong kênh làm mát. Sau đó, Ex-GMTC được áp dụng với thời gian gia nhiệt từ 4 đến 10s. Sau bước gia nhiệt, dòng chảy được điền đầy vào lòng khuôn sau 6s để đóng khuôn. Tất cả các thực nghiệm chi tiết gân thành mỏng đã sử dụng cùng một vật liệu ABS (Bảng 4.5).

Để nghiên cứu bước gia nhiệt cho khuôn gân mỏng, nhiệt độ của bề mặt lòng khuôn được đo tại ba điểm. Bằng thực nghiệm, nhiệt độ được ghi nhận trong Bảng 4.7 và Hình 4.30. Kết quả cho thấy ở cuối bước gia nhiệt, nhiệt độ khuôn đạt 112.0, 121.3, 132.5 và 140.8°C tại các thời điểm gia nhiệt lần lượt là 4, 6, 8 và 10s. Ngoài ra, sau 6s để đóng khuôn, nhiệt độ của bề mặt gia nhiệt giảm khoảng 10°C với khuôn gân mỏng.

Bảng 4.7 Kết quả thực nghiệm nhiệt độ lòng khuôn chi tiết gân thành mỏng với thời gian gia nhiệt khác nhau

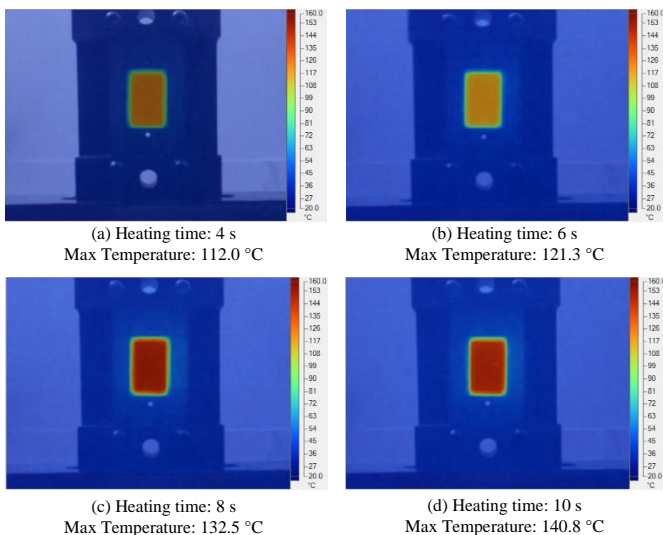
Vị trí đo	Thời gian tiến hành đo (s)	Thời gian gia nhiệt (s)			
		4	6	8	10
1	0	30	30	30	30
	2	99.2	100.2	101.2	102.2
	4	118.6	119.9	120.1	121.1
	6	116.4	123.4	124.2	125.6
	8	111.1	121.5	132.6	133.5
	10	107	118	129.5	142.3
	12		115.5	126.7	140.8
	14			122	137.2
2	16				133
	0	30	30	30	30
	2	101.2	102.1	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



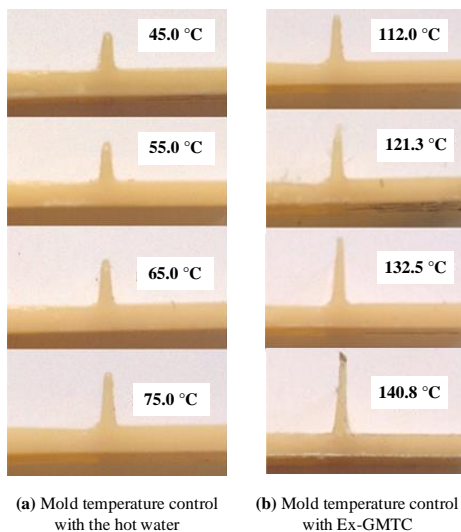
Hình 4.30 Giá trị nhiệt độ bề mặt khuôn thành mỏng tại ba vị trí đo

Camera nhiệt được sử dụng để xác định sự phân bố nhiệt độ trong khuôn gần mỏng ở cuối bước gia nhiệt. Các kết quả này được hiển thị trong Hình 4.31. Kết quả cho thấy sự phân bố đồng đều nhiệt độ là rất tốt và quá trình gia nhiệt chỉ ảnh hưởng đến vị trí gia nhiệt.

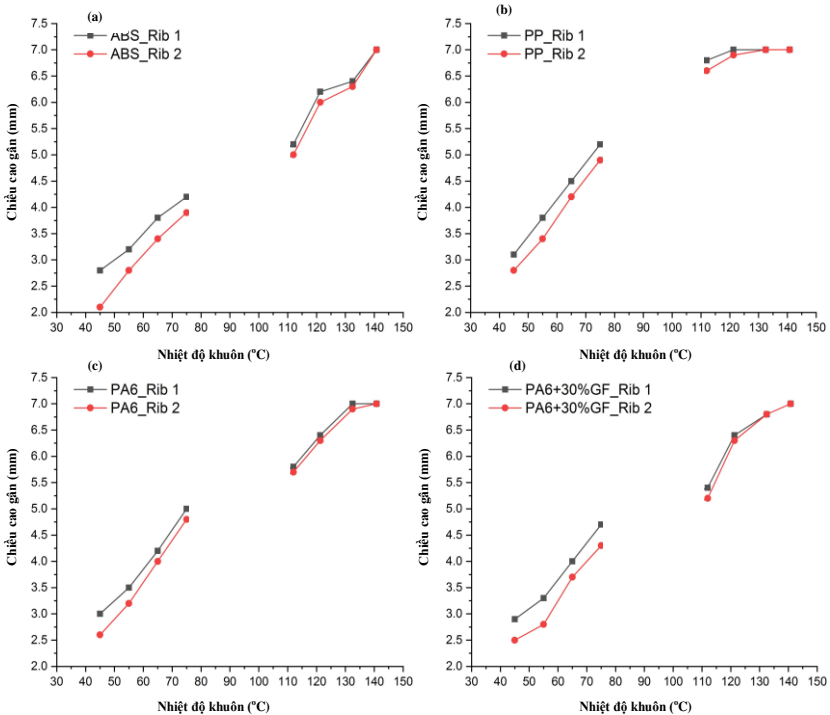


Hình 4.31 Phân bố nhiệt độ kết thúc bước gia nhiệt cho khuôn gân thành mỏng thời gian gia nhiệt khác nhau

Ở mỗi nhiệt độ khuôn, chu trình ép được thực hiện 20 lần để đạt được sự ổn định của hệ thống, trước khi 10 chu kỳ tiếp theo được sử dụng để so sánh chiều cao gân. Sau bước ép, các mẫu ép được thu thập và đo chiều cao gân. Kết quả được thể hiện trong Hình 4.32 và 4.33.



Hình 4.32 Sự thay đổi chiều cao của gân mỏng ứng với các nhiệt độ khuôn khác nhau



Hình 4.33 So sánh chiều cao gân mỏng với các nhiệt độ khuôn khác nhau ứng với nhựa ABS, PP, PA6, và PA6+30%GF

Theo các kết quả này, khi nhiệt độ khuôn tăng từ 45°C đến 75°C, chiều cao gân tăng từ 2.8 đến 4.2 mm. Tuy nhiên, khi Ex-GMTC được sử dụng với khí 400°C, nhiệt độ cao nhất được tập trung vào phần khuôn insert, sự cải thiện của gân mỏng đã được quan sát rõ ràng. Cụ thể, khi nhiệt độ khuôn thay đổi từ 112.0°C đến 140.8°C và chiều cao gân mỏng đạt tối đa 7.0 mm. Sự cải thiện này là do khả năng hạn chế chiều dày lớp đông đặc khi dòng chảy chảy qua tâm insert lòng khuôn, giúp tăng áp lực điền đầy tại vị trí gân mỏng.

Nhận xét chung:

Trong phần này, điều khiển nhiệt độ khuôn ngoài được hỗ trợ bằng khí (Ex-GMTC) đã được áp dụng cho chu trình phun ép để cải thiện khả năng điền đầy khuôn. Các mô phỏng và thực nghiệm đã được thực hiện với các khuôn có chiều dài dòng chảy và gân mỏng. Đối với khuôn có chiều dài dòng chảy, nhiệt độ được thay đổi từ 200°C đến 400°C và chu trình ép được thực hiện ở độ dày sản phẩm 0.2, 0.4 và 0.6 mm. Với khuôn gân mỏng, Ex-GMTC được thực hiện bằng cách sử dụng khí 400°C ở trung tâm của lòng khuôn. Việc điền đầy vào gân mỏng được quan sát khi sử dụng bộ điều khiển nhiệt độ khuôn với gia nhiệt bằng nước và Ex-GMTC. Dựa vào các phân tích trên, các nhận xét sau được đưa ra như sau:

- Bằng cách áp dụng Ex-GMTC cho độ dày dòng 0.6 mm, chiều dài dòng chảy có thể được cải thiện 23.5% với vật liệu PP và 22.3% với vật liệu ABS. Với độ dày dòng chảy 0.2 mm, chiều dài dòng chảy cũng tăng từ 37.85 lên 41.32 mm với vật liệu PP và từ 14.54 đến 15.8 mm với vật liệu ABS.
- Với khuôn gân mỏng, khi nhiệt độ khuôn tăng từ 45°C đến 75°C, chiều cao gân đã tăng từ 2.8 đến 4.2 mm. Khi Ex-GMTC được sử dụng, nhiệt độ khuôn thay đổi từ 112.0°C đến 140.8°C và chiều cao gân mỏng đạt 7.0 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.

Chương 5. KẾT LUẬN

Thông qua quá trình nghiên cứu chế tạo thiết bị và điều khiển dòng chảy composite trong qui trình phun ép đã đạt được các kết quả chính như sau:

- Chế tạo thành công các thiết bị phục vụ quá trình thực nghiệm nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ khuôn đến khả năng chảy của vật liệu trong lòng khuôn phun ép, gồm các mô hình nghiên cứu chính như sau:

+ 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 thành thay đổi với 3 giá trị : 0.5 mm, 0.75 mm và 1.0 mm.

+ Thiết kế và chế tạo Mô hình nghiên cứu dòng chảy composite với sản phẩm có thành mỏng và nhiệt độ khuôn cao với 2 mô hình:

- Mô hình dòng chảy thành mỏng với 3 giá trị: 0.2 mm, 0.4 mm và 0.6 mm.
- Mô hình ứng dụng cho sản phẩm có gân mỏng.

- Thực nghiệm đánh giá ảnh hưởng của nhiệt độ khuôn với 2 vùng nhiệt độ khác nhau.

+ 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 (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 (thời gian, chi phí năng lượng) trong quá trình sản xuất.

+ Với mô hình dòng chảy có thành 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 hơn 140°C. Các mô phỏng và thực nghiệm đã được thực hiện với các khuôn có chiều dài dòng chảy và gân mỏng. Đối với khuôn có chiều dài dòng chảy, nhiệt độ được thay đổi từ 200°C đến 400°C và chu trình ép được thực hiện ở độ dày sản phẩm 0.2, 0.4 và 0.6 mm. Với khuôn gân mỏng, Ex-GMTC được thực hiện bằng cách sử dụng khí 400°C ở trung tâm của lòng khuôn.

- Kết quả nghiên cứu trên 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.

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, pp 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, pp. 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, Volume 6 Issue 8, 2018, pp. 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, Vol. 2019, 2019, pp. 1-17. (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, pp 15-20. (SCOPUS Journal).