

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

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

QUYẾT ĐỊNH GIAO ĐỀ TÀI

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

CỘNG HÒA XÃ HỘI CHỦ NGHĨA VIỆT NAM
Độc lập – Tự do – Hạnh phúc

Số: 935C/QĐ-ĐHSPKT

Tp. Hồ Chí Minh, ngày 30 tháng 5 năm 2016

QUYẾT ĐỊNH

Về việc đổi tên luận án và người hướng dẫn nghiên cứu sinh khóa 2014
HIỆU TRƯỞNG TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT TP. HỒ CHÍ MINH

Căn cứ Quyết định số 118/2000/QĐ-TTg ngày 10 tháng 10 năm 2000 của Thủ tướng Chính phủ về việc thay đổi tổ chức của Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh, tách Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP. Hồ Chí Minh trực thuộc Bộ Giáo dục và Đào tạo;

Căn cứ Quyết định số 70/2014/QĐ-TTg ngày 10/12/2014 của Thủ tướng Chính phủ về ban hành Điều lệ trường Đại học;

Căn cứ Thông tư số 10/2009/TT-BGDĐT ngày 07/5/2009 của Bộ Giáo dục và Đào tạo về việc Ban hành Quy chế đào tạo trình độ tiến sĩ;

Căn cứ Thông tư số 05/2012/TT-BGDĐT ngày 15/02/2012 của Bộ Giáo dục và Đào tạo về việc sửa đổi, bổ sung một số điều của Quy chế đào tạo trình độ tiến sĩ ban hành kèm theo Thông tư số 10/2009/TT-BGDĐT ngày 07/5/2009 của Bộ trưởng Bộ Giáo dục và Đào tạo;

Xét nhu cầu công tác và khả năng cán bộ;

Xét đề nghị của Trưởng phòng Đào tạo,

QUYẾT ĐỊNH

Điều 1: Đổi tên đề tài luận án tiến sĩ và người hướng dẫn cho:

Nghiên cứu sinh : *Phan Thế Nhân*

Ngành : Kỹ thuật cơ khí

Khoá: 2014 – 2017

Tên luận án mới : *Nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ khuôn đến độ giãn dầy của vật liệu composite trong qui trình phun ép*

Người HD thứ nhất (HD chính): *PGS.TS Đỗ Thành Trung*

Người HD thứ hai : *TS. Phạm Sơn Minh*

Thời gian thực hiện : *06/10/2014 đến 06/10/2017*

Điều 2: Giao cho Phòng Đào tạo quản lý, thực hiện theo đúng Quy chế đào tạo trình độ tiến sĩ của Bộ Giáo dục & Đào tạo đã ban hành.

Điều 3: Trưởng các đơn vị: phòng Đào tạo, khoa quản ngành, phòng KHTC và các Ông (Bà) có tên ở Điều 1 chịu trách nhiệm thi hành quyết định này.

Quyết định có hiệu lực kể từ ngày ký. ✓

Nơi nhận:

- BGH (để chỉ đạo);
- Như điều 3;
- Lưu: VT, SDH (4b).



QUYẾT ĐỊNH

Về việc gia hạn thời gian bảo vệ luận án tiến sĩ cấp Trường

HIỆU TRƯỞNG TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT TP. HCM

Căn cứ Luật Giáo dục đại học ngày 18/6/2012 và Luật sửa đổi, bổ sung một số điều của Luật Giáo dục đại học ngày 19/11/2018;

Căn cứ Nghị định 99/2019/NĐ-CP ngày 30/12/2019 của Chính phủ Quy định chi tiết và hướng dẫn thi hành một số điều của Luật sửa đổi, bổ sung một số điều của Luật giáo dục đại học;

Căn cứ Quyết định số 937/QĐ-TTg ngày 30/6/2017 của Thủ tướng Chính phủ về việc phê duyệt đề án thi điểm đổi mới cơ chế hoạt động của Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP. Hồ Chí Minh;

Căn cứ Nghị quyết số 11/NQ-HĐT ngày 08/01/2021 của Hội đồng trường ban hành Quy chế tổ chức và hoạt động của Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP. HCM;

Căn cứ Nghị quyết số 25/NQ-HĐT ngày 29/4/2021 của Hội đồng trường về công tác cán bộ lãnh đạo của Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP. HCM;

Căn cứ Thông tư số 10/2009/TT-BGDĐT ngày 07/5/2009 của Bộ Giáo dục và Đào tạo về việc Ban hành Quy chế đào tạo trình độ tiến sĩ;

Căn cứ Thông tư số 05/2012/TT-BGDĐT ngày 15/02/2012 của Bộ Giáo dục và Đào tạo về việc sửa đổi, bổ sung một số điều của Quy chế đào tạo trình độ tiến sĩ ban hành kèm theo Thông tư số 10/2009/TT-BGDĐT ngày 07/5/2009 của Bộ trưởng Bộ Giáo dục và Đào tạo;

Theo Đơn xin cứu xét của NCS;

Theo đề nghị của Trưởng khoa Cơ khí chế tạo máy và Trường phòng Đào tạo.

QUYẾT ĐỊNH:

Điều 1. Đồng ý cho nghiên cứu sinh Phan Thế Nhân thuộc chuyên ngành Kỹ thuật cơ khí khóa 2014-2017, được gia hạn thời gian bảo vệ luận án tiến sĩ (LATS) cấp Trường nếu đề tài luận án và các kết quả nghiên cứu vẫn đảm bảo tính thời sự, giá trị khoa học.

Thời gian gia hạn: từ ngày 06/10/2021 đến ngày 06/4/2022.

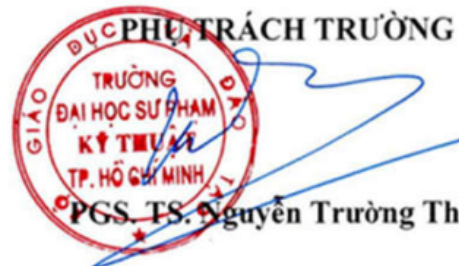
Lý do : ảnh hưởng của dịch bệnh Covid-19, và NCS phải điều trị bệnh (phẫu thuật) theo chuẩn đoán của Bác sĩ bệnh viện Bình dân.

Điều 2. Nghiên cứu sinh (NCS) phải bảo vệ thành công luận án tiến sĩ cấp Trường trước ngày 06/4/2022. Sau thời gian này NCS chưa bảo vệ thành công, sẽ không được bảo vệ luận án và các kết quả học tập thuộc chương trình đào tạo trình độ tiến sĩ không được bảo lưu.

Điều 3. Trưởng các đơn vị có liên quan và NCS có tên tại Điều 1 chịu trách nhiệm thi hành quyết định này.

Nơi nhận:

- Như Điều 3;
- Lưu: VT, ĐT (5b).



PGS. TS. Nguyễn Trường Thịnh

LÝ LỊCH CÁ NHÂN

1. Họ và tên: PHAN THẾ NHÂN			
2. Năm sinh: 15/4/1979		3. Nam/Nữ: Nam	
4. Học hàm: Học vị: Thạc sỹ		Năm được phong học hàm: Năm đạt học vị: 2009	
5. Chức danh nghiên cứu: Giảng viên, nghiên cứu sinh Chức vụ: Trưởng khoa Cơ khí, trường Cao đẳng Hàng hải II			
6. Điện thoại:		Mobile: 0909872367	
7. Fax:		E-mail: phanthenhan150479@gmail.com	
8. Quá trình đào tạo			
<i>Bậc đào tạo</i>	<i>Nơi đào tạo</i>	<i>Chuyên môn</i>	<i>Năm tốt nghiệp</i>
Đại học	Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp. HCM	Cơ khí chế tạo máy	2004
Thạc sỹ	Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp. HCM	Kỹ thuật cơ khí	2009
Tiên sỹ	Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp. HCM	Kỹ thuật Cơ khí	Chưa tốt nghiệp (Khóa 2014)
9. Quá trình công tác			
<i>Thời gian (Từ năm đến năm)</i>	<i>Vị trí công tác</i>	<i>Tổ chức công tác</i>	<i>Địa chỉ Tổ chức</i>
10/2004 đến 2/2017	Trưởng khoa Cơ khí	Trường Cao Đẳng Nghề Kỹ Thuật Công Nghệ Tp. HCM	502 - Đỗ Xuân Hợp - Phường Phước Bình - Tp. Thủ Đức, Tp. HCM
3/2017 đến 7/2017	Phó giám đốc	Công ty TNHH TM DV KT Miền Nam	33/15 Tân Lập 2 - Hiệp Phú - Tp. Thủ Đức, Tp. HCM
8/2017 đến nay	Trưởng khoa Cơ khí	Trường Cao đẳng Hàng Hải II	232 - Nguyễn Văn Hưởng - Phường Thảo Điền - Tp. Thủ Đức, Tp. HCM

10. Tham gia đề tài nghiên cứu				
TT	Tên đề tài/đề án, dự án, nhiệm vụ khác đã tham gia	Thời gian (bắt đầu - kết thúc)	Cấp đề tài	Tình trạng đề tài
1	Nghiên cứu thiết kế và chế tạo tay máy gia nhiệt cho khuôn ép nhựa trong quy trình chế tạo thiết bị y sinh “Lab on Chip - LoC”	Từ 06/2015 đến 12/2016	Đề tài cấp Sở KH&CN Tp.HCM	Đã nghiệm thu
2	Nghiên cứu công nghệ và chế tạo thiết bị hàn ống vi sinh phục vụ công nghiệp thực phẩm	Từ 09/2019 đến 03/2021	Đề tài cấp Sở KH&CN Tp.HCM	Đã nghiệm thu
3	Nghiên cứu công nghệ và chế tạo thiết bị gia công chi tiết kim loại dạng thành mỏng trong khuôn bằng công nghệ biến dạng cục bộ	Từ 07/2020 đến 01/2022	Đề tài cấp Sở KH&CN Tp.HCM	Đang thực hiện
4	Nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ khuôn ép phun đến chất lượng sản phẩm nhựa composite	Từ 06/2016 đến 06/2018	Đề tài cấp Bộ GD&ĐT	Đã nghiệm thu
5	Nghiên cứu công nghệ và chế tạo thiết bị giải nhiệt gián đoạn cho khuôn phun ép nhựa	Từ 01/2018 đến 12/2019	Đề tài cấp Bộ GD&ĐT	Đã nghiệm thu

6	Nghiên cứu công nghệ và thiết bị gia nhiệt bề mặt vi khuôn	Từ 01/2019 đến 12/2020	Đề tài cấp Bộ GD&ĐT	Đã nghiệm thu
7	Nghiên cứu công nghệ và chế tạo hệ thống điều khiển nhiệt độ bằng khí nóng tích hợp trong khuôn phun ép với sản phẩm composite nhựa nhiệt dẻo	Từ 01/2020 đến 12/2021	Đề tài cấp Bộ GD&ĐT	Đang thực hiện

11. Thành tích đạt được

TT	Hình thức và nội dung giải thưởng	Năm tặng thưởng
1	Danh hiệu chiến sĩ thi đua cấp Bộ đã có thành tích xuất sắc tiêu biểu trong công tác của Bộ trưởng Bộ Lao động Thương binh Xã hội (số: 197/QĐ-LĐTBXH ngày 19/02/2014)	2014
2	Bằng khen đạt giải Nhất tại Hội giảng Nhà giáo Giáo dục Nghề nghiệp toàn quốc của Bộ trưởng BLĐTB-XH (số 1274/QĐ-LĐTBXH ngày 21/9/2018)	2018
3	Bằng khen đã có thành tích xuất sắc tại Hội giảng Nhà giáo Giáo dục Nghề nghiệp toàn quốc của Chủ tịch Ủy ban Nhân dân Thành phố Hồ Chí Minh (số 5088/QĐ-UBND ngày 14/11/2018)	2018

Tp.HCM, ngày tháng năm 2022

Phan Thế Nhân

LỜI CAM ĐOAN

Tôi xin cam đoan đây là công trình nghiên cứu khoa học của tôi dưới sự hướng dẫn của tập thể các nhà khoa học. Các kết quả nghiên cứu được trình bày trong luận án là trung thực, khách quan và chưa từng được ai công bố trên bất cứ một công trình nào khác. Các nội dung tham khảo cho việc thực hiện luận án đã được trích dẫn rõ ràng và đầy đủ.

Tp.HCM, ngày tháng năm 2022

Tác giả luận án

Phan Thế Nhân

LỜI CẢM ƠN

Đầu tiên, Tôi gửi lời cảm ơn đến Ban Giám hiệu Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh, đặc biệt là thầy PGS.TS. Đỗ Văn Dũng và thầy PGS.TS. Lê Hiếu Giang đã tạo điều kiện thuận lợi cho Tôi để thực hiện và hoàn thành luận án này.

Tôi xin gửi lời cảm ơn sâu sắc nhất đến quý Thầy/Cô ở Khoa Cơ khí Chế tạo máy, đặc biệt là thầy PGS.TS. Nguyễn Trường Thịnh và quý Thầy/Cô ở các Phòng, Khoa, Ban khác của Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh đã hỗ trợ và tạo điều kiện cho Tôi trong thời gian vừa qua. Đồng thời, Tôi cũng xin gửi lời cảm ơn đến cô PGS.TS. Thái Thị Thu Hà thuộc Trường Đại học Bách khoa Thành phố Hồ Chí Minh; thầy PGS.TS. Nguyễn Huy Bích thuộc Trường Đại học Nông Lâm Thành phố Hồ Chí Minh đã dành nhiều thời gian quý báu của mình để dạy và hướng dẫn cho Tôi những kiến thức chuyên môn, cũng như nhiều lời khuyên rất hữu ích trong thời gian học tập và nghiên cứu.

Tôi xin gửi lời cảm ơn chân thành nhất đến quý Thầy/Cô là thành viên hội đồng bảo vệ Tổng quan, Chuyên đề 1, Chuyên đề 2, Cơ sở, đặc biệt là thầy hướng dẫn PGS.TS. Đỗ Thành Trung và PGS.TS. Phạm Sơn Minh đã dành cho Tôi không chỉ là sự chỉ dẫn, góp ý vô cùng quý báu về chuyên ngành, từng bước xây dựng thực hiện thực nghiệm và viết bài báo khoa học mà còn rất nhiều sự quan tâm, động viên và khích lệ của quý thầy trong thời gian dài để Tôi thực hiện thực nghiệm, viết báo và viết thuyết minh luận án Tiến sĩ.

Cuối cùng và không thể thiếu đó là gia đình, là sự hỗ trợ không giới hạn của vợ và các con Tôi đã dành cho Tôi, giúp Tôi có thêm động lực vượt qua nhiều khó khăn để thực hiện công việc nghiên cứu của mình.

Tôi xin chân thành cảm ơn!

TÓM TẮT

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, nhiều loại vật liệu có thể được sử dụng trong công nghệ phun ép. Trong đó, vật liệu composite nhựa nhiệt dẻo ngày càng được sử dụng để chế tạo ra nhiều loại sản phẩm phun ép với hình dạng và kích thước rất đa dạng. Hiện tại, phun ép vẫn còn đang đối mặt với nhiều thách thức trong nghiên cứu xử lý vật liệu, cải tiến quy trình chế tạo và thiết bị hiện có nhằm hạn chế các khuyết tật trong quá trình phun ép. Các khuyết tật phổ biến có thể kể đến như: đường hàn, rỗ khí, cong vênh,... Nhìn chung, các khuyết tật này đều liên quan đến quá trình điền đầy lòng khuôn. Vì vậy, để tăng khả năng điền đầy khuôn trong quy trình phun ép với vật liệu composite, cũng như nâng cao tuổi thọ của máy, năng suất và chất lượng sản phẩm, điều khiển nhiệt độ khuôn là một trong những giải pháp được nghiên cứu, qua đó hạn chế hiện tượng đông đặc nhanh của vật liệu composite trong lòng khuôn, tăng liên kết và định hướng sợi trong điền đầy, cũng như tăng khả năng chảy của dòng vật liệu composite trong lòng khuôn.

Trong luận án này, khả năng chảy của dòng vật liệu composite thông qua mức độ điền đầy trong lòng khuôn ứng với chiều dày sản phẩm khác nhau và nhiệt độ khuôn khác nhau được nghiên cứu bằng mô phỏng và thực nghiệm với 2 nhóm chính như sau:

- 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 bề mặt khuôn bằng khí nóng (nhiệt độ cao nhất đến 140 °C).

Kết quả nghiên cứu cho thấy:

- Với mô hình cơ bản nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ khuôn và tỉ lệ sợi đến độ điền đầy vật liệu composite trong khuôn phun ép: mô hình nghiên cứu dòng chảy

xoắn ốc 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 đặt trong khuôn. Kết quả đánh giá 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 với trường hợp vật liệu PA6 + 30 %GF, nhiệt độ khuôn tăng từ 30 °C đến 110 °C và lòng khuôn có chiều dày 1 mm thì chiều dài thực nghiệm dòng chảy tăng từ 79,9 mm lên 100,3 mm, nghĩa là tăng khoảng 25,5 %. Đồng thời, kết quả mô phỏng trên phần mềm Moldex3D cũng cho thấy tương đồng với kết quả thực nghiệm. Ngoài ra, chiều dài dòng chảy cũng bị phụ thuộc vào tỉ lệ sợi, chẳng hạn như với cùng mức nhiệt độ khuôn 110 °C, khi tỉ lệ sợi tăng từ 0 % lên 30 % thì chiều dài thực nghiệm dòng chảy giảm từ 145,8 mm xuống 100,3 mm, tức là giảm khoảng 45,4 %. Qua đó cho thấy chiều dài dòng chảy không chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ khuôn mà còn phụ thuộc vào tỉ lệ sợi gia cường và điều khiển nhiệt độ khuôn như một giải pháp nâng cao khả năng chảy của vật liệu composite trong lòng khuôn.

- 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 (Ex-GMTC) đã được sử dụng để nâng nhiệt độ khuôn lên đến 140 °C. Trong đó:
 - + 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 khi tăng thời gian gia nhiệt. Cụ thể, với vật liệu PA6 và chiều dày dòng chảy 0,6 mm, chiều dài dòng chảy được tăng thêm 90,6 % (tăng từ 38,9 mm lên 74,3 mm) khi gia nhiệt 20 s. Với vật liệu 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 58,9 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 20 s.

+ 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 mm lên 4,2 mm. Khi Ex-GMTC được sử dụng, nhiệt độ khuôn thay đổi từ 112 °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 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, từ đó hạn chế hiện tượng cản trở dòng chảy vật liệu vào khu vực có gân mỏng trong khuôn.

ABSTRACT

Injection molding is an in-mold forming technology with the aid of an external heating system that melts the material and then injects the melt flow into a mold through a crew to form the corresponding product when the mold cools. Currently, many types of materials can be used to mold products by the injection molding process. Especially, the thermoplastic composites are increasingly used for manufacturing many types of injection molding products with more complex in the shape and structure. At present, the injection molding is still facing many challenges in the process of new materials, the improvement of the existing manufacturing processes and the equipment techniques to limit defects. The common defects in these products can be the weld line, air trap, warpage, etc. In general, these defects were related to the filling step of the composite materials in the injection molding process. Therefore, in order to increase the mold filling capacity in the injection molding process with composite materials, as well as improve the life time of molding machine, productivity and product quality, the molding temperature control is one of the solutions that studied in this research, thereby reducing the fast cooling phenomenon of composite materials in the filling step of the injection molding process, increasing the bonding and orientation of the fibers in the filling as well as increasing the flowability of the composite material flow in the mold cavity.

In this dissertation, the flowability of composite materials through the filling percent of mold cavity were studied with different product thicknesses and different mold temperatures by both simulation and experiment for two main groups as the following:

- The common temperature range, which was recommended by the material supplier for each material (from 30 °C to 110 °C).
- The high temperature range, which could reach to 140 °C and achieved by Ex-GMTC.

The results showed that:

- With the basic model of flow length for studying the effects of mold temperature and fiber volume fraction on the filling percent in the mold: the experimental model were designed and manufactured for controlling the mold temperature with the range of 30 °C to 110 °C by the channel system placed in the mold. The results showed that when increasing the mold temperature, the flow length was improved for all cases of the product thickness of 0.5 mm, 0.75 mm and 1.0 mm. However, the improvement was different with each thickness, such as in the case of PA6 + 30 %GF with the flow thickness of 1.0 mm, when the mold temperature increased from 30 °C to 110 °C, the experimental flow length increased from 79.9 mm to 100.3 mm, that is, an increase of 25.5 %. Additionally, in this temperature range, the simulation results by Moldex3D were a good agreement with the experimental results. Moreover, the folw length was also depending on the fiber volume fraction. For the case of the same mold temperature of 110 °C, when the fiber volume fraction increased from 0 % to 30 %, the experimental flow length decreased from 145.8 mm to 100.3 mm, which was about 45.4 % reduction. It was cleared that the flow length depended not only on the mold temperature but also on the fiber volume fraction. Also, the mold temperature control was one of the solutions for improving the flowability of composite materials in the injection molding process.
- With the thin wall, thin rib models and high mold temperature: the Ex-GMTC was applied for heating the mold surface up to 140 °C. The results showed that:
 - + With the model of thin wall flow length: For the materials of PA6 and PA6 + 30 %GF, the improvement of the flow length was significantly improved when increasing the heating time. Specifically, with the material of PA6 and the flow thickness of 0.6 mm, the flow length was increased about 90.6 % (raising from 38.96 mm to 74.25 mm) with the heating time of 20 s. Similarly, the results showed that the flow length was improved from 28.5 mm to 58.95 mm, responding to 108.6 % for the material of PA6 + 30 %GF with the flow thickness of 0.6 mm and

the heating time of 20 s. These results also shown that the melt flow of materials of PA6 and PA6 + 30 %GF were more sensitive to the mold temperature than the materials of PP and ABS, which were increased about 80 % in melt flow length with the same heating time of 20 s.

+ With the model of thin rib: When the mold temperature increased from 45 °C to 75 °C, the rib height was increased from 2.8 mm to 4.2 mm. When the Ex-GMTC was applied with the mold temperature varied from 112.0 °C to 140.8 °C, the thin rib was full fill with the height of 7 mm. Since the Ex-GMTC was not influenced by the mold structure, this heating method supported a better mold temperature distribution than the hot water heating method. Also, the result was the better balance of the melt flow. On the other hand, these results also proved that the heating position did not need to be at the thin wall location. The heating zone could be selected for reducing the frozen layer, thereby reducing the obstruction of melt flow into the thin wall area of the mold in injection molding process.

MỤC LỤC

QUYẾT ĐỊNH GIAO ĐỀ TÀI.....	i
QUYẾT ĐỊNH GIA HẠN THỜI GIAN BẢO VỆ LUẬN ÁN CẤP TRƯỜNG ..	ii
LÝ LỊCH CÁ NHÂN	iii
LỜI CAM ĐOAN	vi
LỜI CẢM ƠN	vii
TÓM TẮT	viii
MỤC LỤC.....	xiv
DANH MỤC CÁC CHỮ VIẾT TẮT.....	xviii
DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU.....	xx
DANH MỤC BẢNG.....	xxii
DANH MỤC HÌNH	xxiii
Mở đầu	1
1. Lý do chọn đề tài	1
2. Mục đích nghiên cứu	2
3. Nội dung nghiên cứu	2
4. Phạm vi nghiên cứu và giới hạn đề tài	3
5. Phương pháp nghiên cứu	3
6. Ý nghĩa khoa học	4
7. Giá trị thực tiễn.....	4
8. Cấu trúc của luận án	5
Chương 1: Tổng quan.....	6
1.1. Giới thiệu công nghệ phun ép	6
1.2. Tình hình nghiên cứu ngoài nước	8
1.3. Tình hình nghiên cứu trong nước.....	17
1.4. Nhu cầu thực tiễn sản phẩm nhựa và composite nhựa nhiệt dẻo	20
1.5. Vấn đề cần tiếp tục nghiên cứu	21
Chương 2: Cơ sở lý thuyết.....	23
2.1. Vật liệu composite nhựa nhiệt dẻo.....	23

2.2. Tỷ lệ sợi của vật liệu composite.....	24
2.3. Định hướng sợi trong quá trình phun ép	26
2.4. Mối quan hệ giữa độ nhớt và nhiệt độ	27
2.5. Dòng chảy nhựa trong chi tiết dạng tấm/hộp	29
2.6. Đặc điểm của dòng chảy “Fountain flow”	30
2.7. Mô hình phương pháp phần tử hữu hạn trong mô phỏng gia nhiệt khuôn	31
2.7.1. Lý thuyết về phần tử hữu hạn khi chia lưới sản phẩm.....	31
2.7.2. Mô hình số trong mô phỏng.....	32
2.8. Nhiệt lượng trao đổi nhiệt với môi trường xung quanh phần tử dòng chảy	33
2.9. Phương trình cân bằng dòng chảy vật liệu trong lòng khuôn phun ép	34
2.9.1. Nguyên lý bảo toàn khối lượng trong hệ tọa độ Đề các	35
2.9.2. Phương trình bảo toàn động lượng trong hệ tọa độ Đề các	36
2.9.3. Phương trình bảo toàn năng lượng trong hệ tọa độ Đề các	39
2.9.4. Hệ phương trình cơ bản chuyển động của dòng chảy	39
2.10. Phương trình mô phỏng gia nhiệt lòng khuôn	41
Chương 3: Nghiên cứu xây dựng mô hình mô phỏng và thực nghiệm	44
3.1. Mô hình cơ bản dòng chảy xoắn ốc	44
3.1.1. Mô hình mô phỏng.....	44
3.1.1.1. Thiết lập mô hình dòng chảy.....	44
3.1.1.2. Điều kiện mô phỏng dòng chảy	46
3.1.1.3. Quá trình mô phỏng dòng chảy.....	47
3.1.2. Mô hình thực nghiệm.....	49
3.1.2.1. Chế tạo lòng khuôn dòng chảy xoắn ốc	49
3.1.2.2. Điều kiện thực nghiệm dòng chảy	50
3.1.2.3. Quá trình thực nghiệm dòng chảy.....	55
3.2. Mô hình sản phẩm thành mỏng	56
3.2.1. Mô hình mô phỏng.....	56
3.2.1.1. Thiết lập mô hình sản phẩm thành mỏng.....	56
3.2.1.2. Điều kiện mô phỏng phân bố nhiệt độ	58

3.2.1.3. Quá trình mô phỏng phân bố nhiệt độ.....	60
3.2.1.4. Tiêu chí chọn kết quả mô phỏng phân bố nhiệt độ khuôn	60
3.2.2. Mô hình thực nghiệm.....	61
3.2.2.1. Chế tạo lòng khuôn thành mỏng	61
3.2.2.2. Điều kiện thực nghiệm phân bố nhiệt độ	61
3.2.2.3. Quá trình thực nghiệm phân bố nhiệt độ và chiều dài dòng chảy.....	63
3.3 Mô hình sản phẩm gân mỏng	64
3.3.1. Mô hình mô phỏng.....	64
3.3.1.1. Thiết lập mô hình gân mỏng	64
3.3.1.2. Điều kiện mô phỏng gia nhiệt khuôn	65
3.3.1.3. Quá trình mô phỏng gia nhiệt khuôn.....	66
3.3.2. Mô hình thực nghiệm.....	66
3.3.2.1. Chế tạo lòng khuôn gân mỏng	66
3.3.2.2. Điều kiện thực nghiệm gia nhiệt khuôn	66
3.3.2.3. Quá trình thực nghiệm điền đầy sản phẩm gân mỏng.....	67
Chương 4: Kết quả và thảo luận ảnh hưởng của nhiệt độ khuôn đến chiều dài dòng chảy	68
4.1. Kết quả mô phỏng chiều dài dòng chảy với mô hình xoắn ốc.....	68
4.2. Kết quả thực nghiệm chiều dài dòng chảy với mô hình xoắn ốc.....	71
4.3. Kết quả so sánh giữa thực nghiệm và mô phỏng	73
4.4. Ảnh hưởng của nhiệt độ đến chiều dài dòng chảy vật liệu	75
4.5. Ảnh hưởng của tỉ lệ sợi đến chiều dài dòng chảy	78
4.6. Ảnh hưởng của nhiệt độ khuôn đến liên kết sợi thủy tinh	83
4.7. Ảnh hưởng của tỉ lệ sợi đến phân bố sợi thủy tinh	84
4.8. Xây dựng phương trình hồi quy xác định chiều dài dòng chảy vật liệu composite trong quy trình phun ép	85
4.9. Mối quan hệ giữa tỉ lệ chiều dài dòng chảy và chiều dày sản phẩm đối với vật liệu composite.....	87

Chương 5: Ứng dụng phương pháp điều khiển nhiệt độ khuôn nâng cao độ điền đầy sản phẩm thành mỏng, gân mỏng	89
5.1 Mô hình dòng chảy lòng khuôn sản phẩm thành mỏng	89
5.1.1. Kết quả mô phỏng gia nhiệt lòng khuôn sản phẩm thành mỏng	89
5.1.2. Kết quả thực nghiệm phân bố nhiệt độ và chiều dài dòng chảy	93
5.1.2.1. Kết quả phân bố nhiệt độ khuôn	93
5.1.2.2. Kết quả xác định chiều dài dòng chảy	94
5.2. Mô hình dòng chảy lòng khuôn gân mỏng	96
5.2.1. Kết quả mô phỏng gia nhiệt khuôn sản phẩm gân mỏng.....	96
5.2.2. Kết quả thực nghiệm gia nhiệt và độ điền đầy	98
5.2.2.1. Kết quả quá trình gia nhiệt	98
5.2.2.2. Kết quả độ điền đầy chiều cao gân mỏng	101
Kết luận và Kiến nghị	104
- Kết luận của luận án.....	104
- Tính mới của luận án.....	107
- Kiến nghị.....	107
TÀI LIỆU THAM KHẢO	108
Phụ lục 1: Kết quả thực nghiệm và mô phỏng chiều dài dòng chảy ứng với vật liệu, chiều dày sản phẩm và nhiệt độ khuôn khác	120
Phụ lục 2: Xây dựng phương trình hồi quy mối quan hệ chiều dài dòng chảy với nhiệt độ và chiều dày sản phẩm sử dụng phần mềm Minitab	142
Phụ lục 3: Bản quyền phần mềm MOLDEX3D	146
Phụ lục 4: Các công trình đã công bố	148

DANH MỤC CÁC CHỮ VIẾT TẮT

Ký hiệu	Ý nghĩa
CAD:	Computer Aided Design (Thiết kế với sự trợ giúp của máy tính)
CAM:	Computer Aided Manufacturing (Chế tạo với sự trợ giúp của máy tính)
CAE:	Computer Aided Engineering (Kỹ thuật với sự trợ giúp của máy tính)
Ex-GMTC:	External - Gas Mold Temperature Control (Điều khiển nhiệt độ khuôn bằng gia nhiệt khí nóng bên ngoài khuôn)
FEM:	Finite Element Method (Phương pháp phần tử hữu hạn)
FRC:	Fiber reinforced composite (Vật liệu composite gia cường sợi)
GF:	Glass Fiber (Sợi thủy tinh)
ABS:	Acrylonitrile Butadiene Styrene
HDPE:	High Density Poli Etilen
LDPE:	Low Density Poli Etilen
MFI:	Melt Flow Indexer
MDPE:	Medium Density Poli Etilen
PA6:	PolyAmide 6 (Nylon 6)
PA 66:	PolyAmide (Nylon 66)
PA6 + 30 % GF:	Polyamid 6 + 30% Glass Fiber (Vật liệu composite nền nhựa nylon 6 gia cường 30 % sợi thủy tinh)
POM:	Polyoxymethylene
PMMA:	Polymethyl Methacrylate
PBT:	Polybutylene Terephthalates
PP:	Polypropylene
PC:	Polycarbonate
PTFE:	Polytetraflouroethylene
PE:	Polyethylene
PVC:	Polyvinylclorua

PF:	Phenol-Formaldehyt
PPO:	Polyphenylene Oxide
PET:	Poly Ethylene Terephthalate
PSU:	Polysulfone
RTM:	Resin Transfer Molding
SEM:	Scanning Electron Microscopy (Kính hiển vi điện tử quét)
TEM:	Transmission Electron Microscopy (Kính hiển vi điện tử truyền qua)
R-sq (ajd):	The adjusted R-squared (R bình phương hiệu chỉnh - phản ánh mức độ phù hợp của mô hình)

DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU

Ký hiệu	Đơn vị	Ý nghĩa
q	(J)	Nhiệt lượng
λ	(W/(m độ))	Hệ số dẫn nhiệt
E	(MPa)	Mô đun đàn hồi
v_c	(cm ³)	Thể tích composite
v_f	(cm ³)	Thể tích sợi
v_m	(cm ³)	Thể tích nhựa
v_v	(cm ³)	Thể tích khoảng trống
V_f	(%)	Tỉ lệ thành phần sợi
V_m	(%)	Tỉ lệ thành phần nhựa
V_v	(%)	Tỉ lệ khoảng trống
m_c	(g)	Khối lượng composite
m_f	(g)	Khối lượng thành phần sợi
m_m	(g)	Khối lượng thành phần nhựa
ρ_c	(g/cm ³)	Tỉ trọng composite
ρ_m	(g/cm ³)	Tỉ trọng thành phần nhựa
ρ_f	(g/cm ³)	Tỉ trọng thành phần sợi
θ	(độ)	Góc cực
ϕ	(độ)	Góc phương vị
ΔH	(J)	Năng lượng kích hoạt
T	(°C)	Nhiệt độ
μ	(Pa. s)	Độ nhớt vật liệu
R	(J/kmol.độ)	Hằng số khí lý tưởng
q	(J)	Véc tơ nhiệt lượng
h_c	(W/m ² độ)	Hệ số truyền nhiệt
Φ		Đại lượng biến đổi đặc tính phần tử dòng chảy (hàm tọa độ theo t)
P	(Pa)	Áp suất

u	(m/s)	Véc tơ vận tốc
t	(s)	Thời gian
h	(mm)	Chiều dày lòng khuôn
L	(mm)	Chiều dài dòng chảy
i	(J)	Nội năng
T_p	(°C)	Nhiệt độ quanh tọa độ y_p gần thành khuôn
T_w	(°C)	Nhiệt độ tại thành khuôn
Q_w	(J)	Nhiệt lượng riêng tại thành khuôn
C_p	(J/kgđộ)	Nhiệt dung riêng đẳng áp
n		Véc tơ đơn vị
f		Véc tơ thành phần theo hướng véc tơ đơn vị
E_{ij}		Gradient vận tốc trung bình
δ_{ij}		Hệ số Kronecker delta
Γ_t		Hệ số tiêu tán
k		Động năng rối
ε		Tiêu tán động năng rối
$\sigma_{T,t}$		Số rối của Prandtl
$\sigma_{T,l}$		Số Prandtl
Γ_T		Nhiệt dẫn xuất
τ_{ij}		Ứng suất nhớt
S_M		Biểu thức nguồn phát sinh
P		Hàm hiệu chỉnh phụ thuộc tỉ lệ số Prandtl
Re		Số Reynolds

DANH MỤC BẢNG

Bảng 3.1: Thông số mô phỏng chiều dài dòng chảy xoắn ốc.....	46
Bảng 3.2: Nhiệt độ khuôn và nhiệt độ tại bồn chứa nước	53
Bảng 3.3: Thông số kỹ thuật máy phun ép nhựa Shinewell -120B.....	54
Bảng 3.4: Thông số mô phỏng gia nhiệt bằng khí nóng.....	59
Bảng 3.5: Thông số vật liệu trong mô phỏng gia nhiệt bằng khí nóng	59
Bảng 3.6: Thông số thực nghiệm phun ép sản phẩm thành mỏng	63
Bảng 4.1: Kết quả mô phỏng chiều dài dòng chảy sản phẩm chiều dày 0,5 mm.....	69
Bảng 4.2: Kết quả mô phỏng chiều dài dòng chảy sản phẩm chiều dày 0,75 mm...	70
Bảng 4.3: Kết quả mô phỏng chiều dài dòng chảy sản phẩm chiều dày 1 mm.....	70
Bảng 4.4: Kết quả thực nghiệm chiều dài dòng chảy sản phẩm dày 0,5 mm	72
Bảng 4.5: Kết quả thực nghiệm chiều dài dòng chảy sản phẩm dày 0,75 mm	72
Bảng 4.6: Kết quả thực nghiệm chiều dài dòng chảy sản phẩm dày 1 mm	72
Bảng 4.7: Chênh lệch giữa chiều dài dòng chảy thực nghiệm và mô phỏng đối với sản phẩm có chiều dày 0,5 mm.....	73
Bảng 4.8: Chênh lệch giữa chiều dài dòng chảy thực nghiệm và mô phỏng đối với sản phẩm có chiều dày 0,75 mm.....	74
Bảng 4.9: Chênh lệch giữa chiều dài dòng chảy thực nghiệm và mô phỏng đối với sản phẩm có chiều dày 1 mm.....	74
Bảng 4.10: So sánh kết quả giữa thực nghiệm và mô phỏng với vật liệu PA6 + 30 %GF và nhiệt độ khuôn 110 °C	75
Bảng 4.11: Phương trình hồi quy xác định chiều dài dòng chảy vật liệu composite	86
Bảng 4.12: Mối quan hệ giữa tỉ lệ chiều dài dòng chảy và chiều dày sản phẩm đối với vật liệu composite.....	87
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	92
Bảng 5.2: Kết quả thực nghiệm nhiệt độ lòng khuôn chi tiết gân thành mỏng với thời gian gia nhiệt khác nhau.....	99

DANH MỤC HÌNH

Hình 1.1: Cấu tạo máy phun ép.....	6
Hình 1.2: Các hướng nghiên cứu trong lĩnh vực phun ép vật liệu composite	9
Hình 1.3: Ảnh hưởng của chất phụ gia đến quá trình phun ép	10
Hình 1.4: Một số phương pháp gia nhiệt khuôn phun ép.....	15
Hình 1.5: Cơ cấu sản phẩm ngành nhựa quý 1 - 2021	20
Hình 2.1: Biểu đồ trạng thái định hướng sợi theo các phương	26
Hình 2.2: Mô tả định hướng sợi	27
Hình 2.3: Cấu trúc phân tử và độ nhớt của nhựa	28
Hình 2.4: Đường đặc tính của nhựa nhiệt dẻo	28
Hình 2.5: Mối quan hệ giữa độ nhớt và nhiệt độ	29
Hình 2.6: Dòng chảy nhựa trong quá trình điền đầy sản phẩm.....	30
Hình 2.7: Dòng chảy nhựa khi chiều dày sản phẩm thay đổi	30
Hình 2.8: Dòng chảy của nhựa trong khuôn	31
Hình 2.9: Các thành phần của dòng nhiệt lượng qua phần tử dòng chảy	33
Hình 2.10: Mô tả dòng chảy nhựa trong lòng khuôn phun ép	34
Hình 2.11: Khối lượng dòng chảy đi vào và ra phần tử dòng chảy	35
Hình 3.1: Sơ đồ thiết lập mô hình nghiên cứu	44
Hình 3.2: Kích thước mô hình cơ bản dòng chảy xoắn ốc.....	45
Hình 3.3: Mô hình mô phỏng chiều dài dòng chảy bốn kênh gia nhiệt nước	46
Hình 3.4: Quá trình mô phỏng ứng dụng phần mềm Moldex3D.....	47
Hình 3.5: Mặt cắt thể hiện vùng được chia lưới bên trong mô hình.....	48
Hình 3.6: Một số kết quả mô phỏng chiều dài dòng chảy lòng khuôn xoắn ốc.....	49
Hình 3.7: Lòng khuôn thực nghiệm dòng chảy xoắn ốc	49
Hình 3.8: Sơ đồ hệ thống thí nghiệm đánh giá độ điền đầy của vật liệu	50
Hình 3.9: Hệ thống điều khiển nhiệt độ khuôn với kênh dẫn nước	51
Hình 3.10: Lưu đồ nguyên lý điều khiển nhiệt độ khuôn bằng kênh dẫn nước.....	52
Hình 3.11: Kết nối hệ thống điều khiển gia nhiệt khuôn	53
Hình 3.12: Bộ khuôn phun ép	54

Hình 3.13: Camera hồng ngoại Flute TiS20	54
Hình 3.14: Máy quét mẫu ATOS 2M.....	55
Hình 3.15: Một số kết quả thực nghiệm chiều dài dòng chảy lòng khuôn xoắn ốc.	55
Hình 3.16: Trình tự xác định chiều dài dòng chảy sản phẩm phun ép.....	56
Hình 3.17: Kích thước sản phẩm thành mỏng	57
Hình 3.18: Kích thước tấm gia nhiệt lòng khuôn thành mỏng.....	57
Hình 3.19: Kích thước khối insert.....	57
Hình 3.20: Mô hình mô phỏng gia nhiệt lòng khuôn bằng khí nóng.....	58
Hình 3.21: Trình tự mô phỏng gia nhiệt khuôn bằng khí nóng.....	60
Hình 3.22: Lòng khuôn thực nghiệm sản phẩm thành mỏng.....	61
Hình 3.23: Quá trình gia nhiệt bề mặt khuôn bằng khí nóng.....	62
Hình 3.24: Sơ đồ hệ thống gia nhiệt khuôn bằng khí nóng.....	62
Hình 3.25: Kích thước sản phẩm gân mỏng.....	64
Hình 3.26: Mô hình mô phỏng gia nhiệt khuôn sản phẩm gân mỏng.....	65
Hình 3.27: Lòng khuôn thực nghiệm sản phẩm gân mỏng.....	66
Hình 4.1: Ảnh hưởng nhiệt độ khuôn đến chiều dài dòng chảy đối với sản phẩm chiều dày 0,5 mm.....	76
Hình 4.2: Ảnh hưởng của nhiệt độ khuôn đến chiều dài dòng chảy đối với sản phẩm chiều dày 0,75 mm.....	76
Hình 4.3: Ảnh hưởng của nhiệt độ khuôn đến chiều dài dòng chảy đối với sản phẩm chiều dày 1 mm.....	77
Hình 4.4: Ảnh hưởng tỉ lệ sợi đến chiều dài dòng chảy nhiệt độ khuôn 30 °C.....	79
Hình 4.5: Ảnh hưởng tỉ lệ sợi đến chiều dài dòng chảy nhiệt độ khuôn 50 °C.....	79
Hình 4.6: Ảnh hưởng tỉ lệ sợi đến chiều dài dòng chảy nhiệt độ khuôn 70 °C.....	80
Hình 4.7: Ảnh hưởng tỉ lệ sợi đến chiều dài dòng chảy nhiệt độ khuôn 90 °C.....	80
Hình 4.8: Ảnh hưởng tỉ lệ sợi đến chiều dài dòng chảy nhiệt độ khuôn 110 °C.....	81
Hình 4.9: Cấu trúc hướng sợi vật liệu composite trong lòng khuôn.....	82
Hình 4.10: Liên kết sợi khi nhiệt độ khuôn thay đổi.....	83
Hình 4.11: Sự phân bố sợi thủy tinh khi tỉ lệ sợi thay đổi	84

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	90
Hình 5.2: Kết quả mô phỏng phân bố nhiệt độ bề mặt lòng khuôn sau 30 s tại mặt cắt A - A với nhiệt độ khí nóng 400 °C	91
Hình 5.3: Kết quả thực nghiệm phân bố nhiệt độ tại bề mặt lòng khuôn với các thời gian gia nhiệt khác nhau	94
Hình 5.4: Kết quả thực nghiệm chiều dài dòng chảy vật liệu nhựa PA6.....	95
Hình 5.5: Kết quả thực nghiệm chiều dài dòng chảy vật liệu composite PA6 + 30%GF.....	95
Hình 5.6: Sự cải thiện chiều dài dòng chảy với vật liệu PA6 và PA6 + 30 %GF....	96
Hình 5.7: kết quả mô phỏng phân bố nhiệt độ bề mặt khuôn gia nhiệt khí nóng 400 °C tại mặt cắt B-B sản phẩm gân mỏng.....	97
Hình 5.8: Phân bố nhiệt độ kết thúc bước gia nhiệt cho khuôn gân thành mỏng với thời gian gia nhiệt khác nhau.....	98
Hình 5.9: So sánh giá trị nhiệt độ bề mặt khuôn gân mỏng tại ba vị trí đo	100
Hình 5.10: Sự thay đổi chiều cao gân micro ứng với nhiệt độ khuôn khác nhau ..	101
Hình 5.11: So sánh chiều cao gân mỏng với các nhiệt độ khuôn khác nhau của vật liệu PA6 và PA6 + 30 %GF.....	102

MỞ ĐẦU

Trong phần này, NCS trình bày cơ sở cho việc lựa chọn hướng nghiên cứu, từ đó xác định mục đích, phương pháp và nội dung nghiên cứu của luận án. Trên cơ sở đó, NCS thông qua đóng góp có ý nghĩa về mặt khoa học và giá trị thực tiễn khi luận án nghiên cứu thành công. Qua đó, kết quả nghiên cứu sẽ được ứng dụng một cách hiệu quả trong lĩnh vực phun ép hiện nay.

1. Lý do chọn đề tài

Các sản phẩm composite nhựa nhiệt dẻo được chế tạo bằng công nghệ phun ép ngày càng được ứng dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực với kết cấu và hình dạng ngày càng phức tạp. Song song với sự phát triển này, các khuyết tật của sản phẩm phun ép bằng vật liệu composite cũng xuất hiện ngày càng nhiều, phổ biến có thể kể đến là: đường hàn (weld line), rỗ khí (air trap), cong vênh (warpage),... Nhìn chung, các khuyết tật này liên quan đến quá trình điền đầy lòng khuôn. Trong đó, hai nguyên nhân chính gây cản trở quá trình điền đầy 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.

Vì vậy, quá trình chảy của vật liệu vào lòng khuôn sẽ gặp nhiều khó khăn, đặc biệt khi nhiệt độ khuôn thấp, dẫn đến khuôn phun ép thường có số lòng khuôn ít, năng suất phun ép sẽ giảm đáng kể khi vật liệu composite được sử dụng. Để khắc phục nhược điểm này, quy 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 trong quá trình phun ép với vật liệu composite, cũng như nâng cao tuổi thọ của máy, năng suất và chất lượng sản phẩm, 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 nói chung trong ngành Cơ khí, đặc biệt là trong lĩnh vực phun ép. Ngoài ra, kết quả nghiên cứu còn hướng đến chuyển giao công nghệ cho các đơn vị 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,... Từ đó, đề xuất các vấn đề cần nghiên cứu cụ thể, các giải pháp công nghệ phù hợp và hiệu quả trong chế tạo sản phẩm composite thành mỏng bằng công nghệ phun ép.
- 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 nhằm đánh giá ảnh hưởng của nhiệt độ khuôn đến độ điền đầy nhựa nhiệt dẻo composite sản phẩm thành mỏng.
- 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 thông qua khả năng điền đầy vào lòng khuôn ứng với các chiều dày sản phẩm khác nhau.
 - + Mô hình cơ bản dòng chảy xoắn ốc với 3 kích thước chiều dày: 0,5 mm, 0,75 mm, 1 mm.
 - + Mô hình sản phẩm thành mỏng với kích thước: 0,2 mm, 0,4 mm, 0,6 mm.
 - + Mô hình sản phẩm gân mỏng với 2 gân có chiều cao 7 mm.
- 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 bề mặt bằng khí nóng bên ngoài khuôn (nhiệt độ cao nhất đến 140 °C).
- Vật liệu nhựa được sử dụng gồm 2 nhóm chính:
 - + Vật liệu nhựa thông dụng PA6.
 - + Vật liệu composite có nền là PA6 trộn với sợi ngắn thủy tinh theo tỉ lệ thay đổi từ 0 % đến 30 %.

5. Phương pháp nghiên cứu

Trong quá trình thực hiện, tác giả sử dụng các phương pháp nghiên cứu sau:

- 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 ứng với nhiệt độ khuôn, tỉ lệ sợi thủy tinh và chiều dày sản phẩm khác nhau.

Trong luận án này, các phương pháp nghiên cứu được thực hiện trên cơ sở các trang thiết bị hiện có tại trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh như: máy phun ép nhựa, thiết bị đo nhiệt (camera hồng ngoại, cảm biến nhiệt,...) và các loại khuôn phun ép thông dụng tại Việt Nam. Bên cạnh đó, với sự hỗ trợ của Viện công nghệ Nano - ĐH Quốc gia Tp. HCM, thiết bị chụp SEM cũng được sử dụng nhằm xác định sự phân bố và liên kết sợi trong các mẫu thực nghiệm phun ép. Tuy nhiên, so với các nghiên cứu về lĩnh vực khuôn mẫu được tiến hành tại các nước phát triển, một trong những giới hạn của phương pháp nghiên cứu trong luận án này là chưa thể sử dụng các thiết bị kiểm tra hiện đại trên thế giới như phương pháp chụp TEM, siêu âm thể tích khuôn,...

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 các 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 cho thấy là một trong những giải pháp nhằm nâng cao khả năng chảy của dòng vật liệu composite trong lòng khuôn. Đồng thời, phương pháp điều khiển nhiệt độ bề mặt khuôn bằng khí nóng có thể ứng dụng cho các trường hợp phun ép sản phẩm có thành mỏng, gân mỏng nhằm tăng khả năng điền đầy vật liệu.
- Việc tăng nhiệt độ khuôn có thể tiến hành tại toàn bộ lòng khuôn, hoặc tại 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:

- Từ kết quả nghiên cứu, 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. So với các công nghệ hiện có, thay vì phải phun ép với áp suất và nhiệt độ vật liệu cao để chế tạo các sản phẩm có thành mỏng, điểm mới trong nghiên cứu này là điều khiển nhiệt độ khuôn để nâng cao khả năng điền đầy vật liệu. Về mặt tạo hình sản phẩm đối với nhựa thông thường sẽ dễ dàng nhưng độ bền không cao. Khi thay thế bằng vật liệu composite độ bền sản phẩm được cải thiện rõ rệt, đáp ứng yêu cầu ứng dụng trong thực tiễn.

- Thông qua kết quả nghiên cứu, bằng phương pháp phun ép với nhiệt độ khuôn cao, giúp các công ty nâng cao khả năng công nghệ nhưng không tốn quá nhiều chi phí đầu tư các thiết bị ngoại nhập, vẫn có thể đáp ứng được các yêu cầu với sản phẩm thành mỏng và vật liệu độ nhớt thấp như các dạng vật liệu composite.
- Với kết quả đó, việc nâng cao khả năng chế tạo, cũng như giải pháp công nghệ mới nhằm nâng cao độ bền và tăng sản lượng sản phẩm nhựa đang là một trong những yêu cầu cấp thiết cho ngành nhựa tại Việt Nam. Do đó, luận án này góp phần mở rộng khả năng sản xuất các sản phẩm có thành mỏng, đặc biệt với nhóm sản phẩm từ vật liệu composite được sản xuất bằng công nghệ phun ép.

8. Cấu trúc của luận án:

Mở đầu

Chương 1: Tổng quan

Chương 2: Cơ sở lý thuyết

Chương 3: Thiết lập mô hình nghiên cứu

Chương 4: Kết quả và thảo luận ảnh hưởng nhiệt độ khuôn đến chiều dài dòng chảy

Chương 5: Ứng dụng phương pháp điều khiển nhiệt độ khuôn nâng cao độ điền đầy sản phẩm thành mỏng, gân mỏng

Kết luận và kiến nghị

Phụ lục

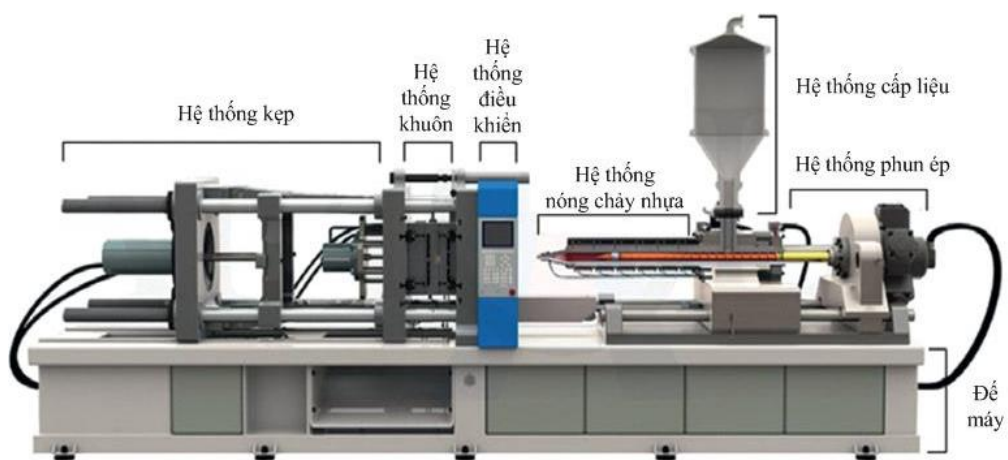
Chương 1

TỔNG QUAN

Giới thiệu sơ lược về công nghệ phun ép sản phẩm nhựa trong thực tiễn, đặc biệt ứng dụng với vật liệu composite nhựa nhiệt dẻo. Tìm hiểu các vấn đề đã nghiên cứu trong và ngoài nước liên quan đến sản phẩm phun ép vật liệu composite trong thời gian qua. Trên cơ sở đó phân tích, đánh giá các ưu điểm đã đạt được và những tồn tại cần khắc phục. Qua đó, đề xuất các vấn đề cần nghiên cứu, các giải pháp công nghệ phù hợp và hiệu quả đáp ứng nhu cầu thực tiễn đối với sản phẩm nhựa composite được chế tạo bằng công nghệ phun ép.

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. Đồng thời, sản phẩm trong công nghệ phun ép cũng rất đa dạng, từ đơn giản đến phức tạp, từ kích thước lớn đến kích thước nhỏ. Song song với sự thay đổi đó, các yêu cầu mới của sản phẩm luôn được đặt ra, một trong những yêu cầu cấp thiết nhất là chế tạo các sản phẩm composite bằng công nghệ phun ép với kích thước mỏng được ứng dụng phổ biến trong nhiều lĩnh vực.



Hình 1.1: Cấu tạo máy phun ép [1]

Máy phun ép cho vật liệu nhựa nói chung và composite nói riêng cơ bản gồm các bộ phận chính như hình 1.1 với các chức năng như sau: Hệ thống kẹp có chức năng đóng khuôn hoặc mở khuôn, tạo lực kẹp giữ khuôn trong quá trình làm nguội và đẩy sản phẩm ra khỏi khuôn khi kết thúc một chu kỳ phun ép. Hệ thống khuôn có chức năng tạo hình sản phẩm phun ép. Hệ thống này có thể cải tiến, tích hợp hệ thống điều khiển nhiệt độ khuôn nhằm nâng cao hiệu quả điền đầy trong quy trình phun ép. Hệ thống điều khiển có chức năng điều chỉnh các thông số gia công như: nhiệt độ, áp suất, tốc độ phun, vận tốc và vị trí của các bộ phận trong hệ thống thủy lực. Hệ thống nóng chảy vật liệu chức năng làm nóng chảy vật liệu trước khi phun ép vào khuôn. Hệ thống cấp liệu có chức năng chứa vật liệu thô dạng hạt để đưa vào hệ thống phun ép. Hệ thống phun ép có chức năng đưa vật liệu vào khuôn theo trình tự cấp nhựa, nén, khử khí, nóng chảy, phun ép nhựa lỏng và định hình sản phẩm.

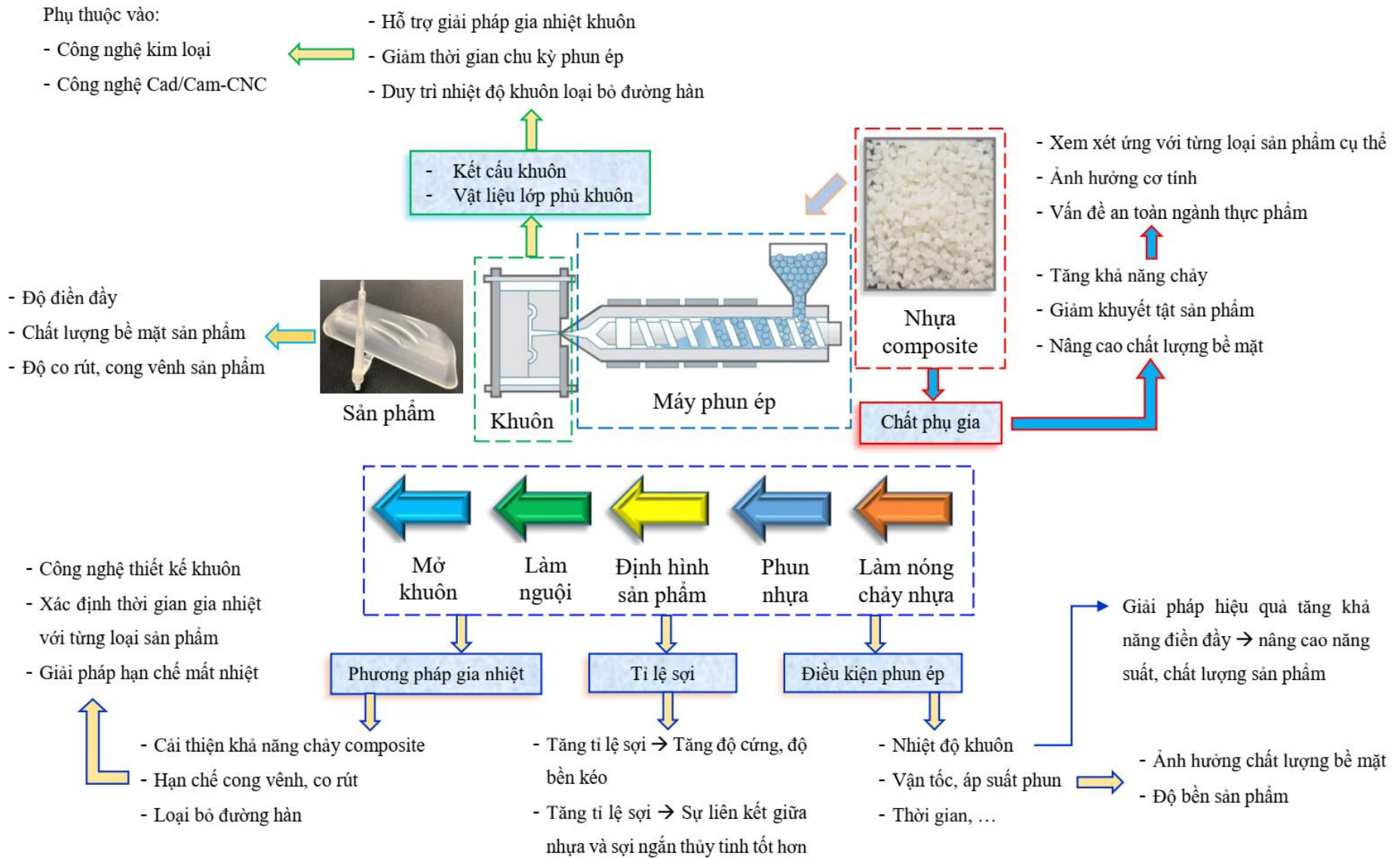
Quy trình phun ép sản phẩm composite cũng tương tự như quy trình phun ép sản phẩm nhựa thông thường. Tuy nhiên, điều kiện phun ép như áp suất, nhiệt độ, tốc độ phun có thể khác nhau vì liên quan đến tỉ trọng, độ nhớt, nhiệt độ nóng chảy, nhiệt độ đóng rắn,... Nhìn chung, quy trình gồm các bước chính như: nóng chảy vật liệu, điền đầy, định hình và mở khuôn. Trong đó, vật liệu thô dạng hạt đã được sấy khô ở một nhiệt độ nhất định trong khoảng 2 giờ đến 3 giờ và chứa trong phễu cấp liệu, sau đó được đưa dần vào xi lanh. Trong xi lanh, với chuyển động xoay và tịnh tiến của vít me, kết hợp với các điện trở gia nhiệt bên ngoài xi lanh, vật liệu composite từ dạng hạt sẽ được gia nhiệt đến trạng thái dẻo và nóng chảy thành dạng lỏng ở nhiệt độ khoảng 230 °C đến 320 °C tùy vào từng nhóm vật liệu. Thông qua hệ thống phun ép, vật liệu nóng chảy trong xi lanh được vít me chuyển động tịnh tiến và ép vào hệ thống khuôn thông qua miệng phun. Tại vị trí miệng phun, vật liệu 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 tại vị trí miệng 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 để kết thúc một chu kỳ phun ép.

Công nghệ phun ép không chỉ được sử dụng để chế tạo các sản phẩm bằng vật liệu nhựa nhiệt dẻo (nhựa PA, PP, ABS,...) mà còn sử dụng cho quá trình chế tạo các sản phẩm bằng vật liệu composite nhựa nhiệt dẻo với sợi gia cường là carbon, thủy tinh,... 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. Tuy nhiên, trong thực tế chế tạo sản phẩm bằng vật liệu composite theo công nghệ phun ép, thường xuất hiện các vấn đề như: sản phẩm không được điền đầy hoàn toàn do bị giảm nhiệt độ khi phun vào lòng khuôn, hoặc xuất hiện đường hàn làm ảnh hưởng đến độ bền sản phẩm. Đặc biệt, so với quá trình phun ép vật liệu nhựa thông thường, năng suất bị giảm nhiều khi phun ép với vật liệu composite do khả năng chảy của vật liệu composite kém hơn so với các loại nhựa thông thường. Đây là các thách thức không nhỏ còn tồn tại trong lĩnh vực phun ép vật liệu composite và đòi hỏi các nhà khoa học luôn nghiên cứu tìm kiếm các giải pháp liên quan đến xử lý vật liệu, thay đổi quy trình công nghệ, cải tiến thiết bị, tối ưu điều kiện phun ép và điều khiển nhiệt độ khuôn nhằm nâng cao khả năng điền đầy và năng suất trong quá trình phun ép.

1.2. Tình hình nghiên cứu ngoài nước

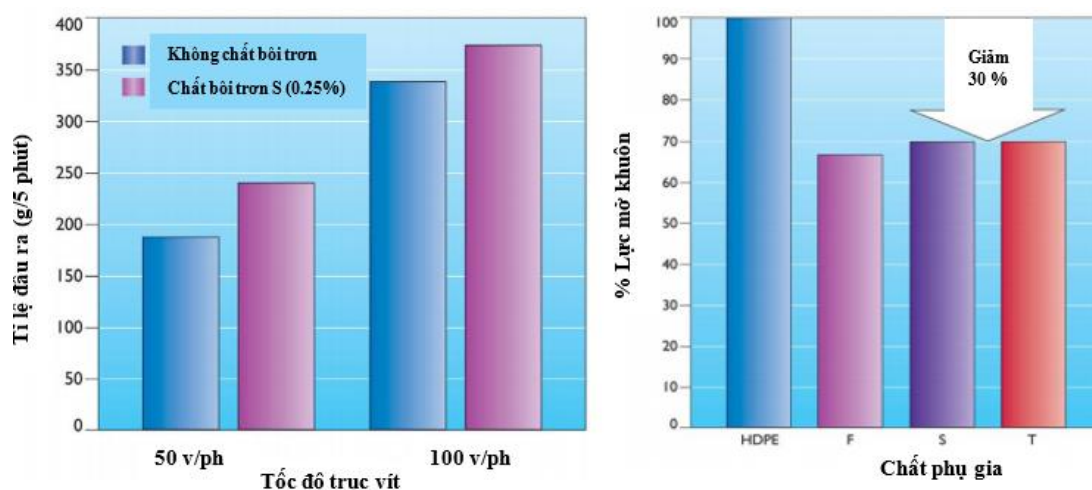
Hiện nay, công nghệ phun ép đã được sử dụng khá phổ biến và ứng dụng trong nhiều lĩnh vực với hình dạng và kích thước khác nhau. Công nghệ này có nhiều ưu điểm như dễ tạo hình, tăng độ đồng đều về hình dạng và độ bền sản phẩm. Tuy nhiên, trong thực tế phun ép vật liệu composite còn xuất hiện một số vấn 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, trong những năm gần đây, nhiều nghiên cứu liên quan đến lĩnh vực phun ép sản phẩm nhựa composite đã được thực hiện với các hướng nghiên cứu được tổng hợp như hình 1.2.



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

- **Ảnh hưởng chất phụ gia đến khả năng phun ép và độ bền sản phẩm composite.**

Trong nghiên cứu của A. Maltby [2], bề mặt khuôn được bôi trơn bằng một loại hỗn hợp đặc biệt nhằm tăng khả năng chảy của vật liệu, nâng cao năng suất trong quá trình phun ép. Với nghiên cứu này, tác giả sử dụng một số chất phụ gia đã được nghiên cứu, phát triển và ứng dụng trong quy trình phun ép với tên gọi IncroMold F, S và T để pha trộn với vật liệu nhựa HDPE hoặc bôi trơn trực tiếp lên bề mặt khuôn nhằm hạn chế tối đa ma sát giữa dòng chảy và bề mặt lòng khuôn, giảm sự mất nhiệt do truyền từ nhựa qua lòng khuôn trong quá trình điền đầy. Kết quả nghiên cứu cho thấy khi tăng cường chất phụ gia, các khuyết tật của sản phẩm giảm đáng kể nhờ vào tăng khả năng chảy vật liệu và giảm lực mở khuôn (hình 1.3).



Hình 1.3: Ảnh hưởng của chất phụ gia đến quá trình phun ép [2]

Tuy nhiên, nghiên cứu này đòi hỏi việc lựa chọn các chất phụ gia cũng như chất bôi trơn cần được cân nhắc trước khi ứng dụng với từng sản phẩm nhựa cụ thể, đặc biệt liên quan vấn đề an toàn khi sử dụng sản phẩm nhựa trong ngành thực phẩm, phải tính toán và xác định chu kỳ bôi trơn tương ứng với từng loại chất phụ gia, cũng như trình tự tiến hành bôi trơn.

Tác giả J. Hou và các cộng sự [3] nghiên cứu về công nghệ phun ép vật liệu composite với thành phần nhựa là PP (Polypropylene) và chất phụ gia tạo bột là bột tan (talc) nhằm cải thiện chất lượng bề mặt cũng như giảm khối lượng sản phẩm. Kết quả nghiên cứu cho thấy khi hàm lượng chất phụ gia là 10 % thì khối lượng sản

phẩm giảm 62,1 %. Tuy nhiên, độ nhớt dòng chảy không thay đổi nếu hàm lượng chất phụ gia nhỏ hơn 10 %. Nhìn chung, chất phụ gia tạo bọt thúc đẩy đáng kể quá trình kết tinh của vật liệu PP và cho phép quá trình định hình sản phẩm được nén với áp suất cao, qua đó chất lượng bề mặt cũng được cải thiện đáng kể.

Bên cạnh đó, tác giả J. E. Martin-Alfonso và các cộng sự [4] nghiên cứu chế tạo thành công vật liệu composite sinh học bằng công nghệ phun ép. Nghiên cứu cho thấy chất phụ gia CH (Chitosan) ảnh hưởng đến điều chỉnh hóa lý trong sản phẩm composite có nền EA (Albumen), cũng như ảnh hưởng đến quá trình phun ép và cơ tính của sản phẩm. Mặc dù nghiên cứu này cho thấy tiềm năng của công nghệ phun ép sản phẩm composite sinh học như màng lọc nước, băng phẫu thuật, ... Tuy nhiên, sản phẩm composite tạo ra ít cứng và ít đàn hồi hơn. Đây là thách thức cho các nhà khoa học tìm kiếm các giải pháp để có thể nâng cao độ bền sản phẩm composite sinh học trong công nghệ phun ép.

Theo Xiaojian Wang và các cộng sự [5] đã nghiên cứu ảnh hưởng của chất phụ gia, khả năng dẫn nhiệt bề mặt khuôn đến mức độ điền đầy vật liệu composite. Kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng ảnh hưởng của nhiệt độ bề mặt có liên quan trực tiếp đến cấu trúc, hình dáng hình học của chất phụ gia. Vật liệu composite với chất phụ gia hình chữ I có khả năng dẫn nhiệt hiệu quả nhất, chất phụ gia hình cầu là ít nhất.

Ngoài ra, trong quá trình phun ép bằng vật liệu composite nhựa nhiệt dẻo, hiện tượng ma sát giữa dòng chảy vật liệu và thành khuôn cũng đáng quan tâm và đã được J. L. Laursen và các cộng sự nghiên cứu [6]. Trong đó, PDMS (Polydimethylsiloxane) và PTFE (Polytetrafluoroethylene) là hai phụ gia được thêm vào vật liệu POM (Polyoxymethylene) tương ứng với tỉ lệ 2 % và 5 %. Kết quả thực nghiệm cho thấy quá trình ma sát giữa dòng chảy và thành khuôn được cải thiện, qua đó cải thiện khả năng điền đầy. Ngoài ra, khả năng chống mài mòn và chống va đập cũng được cải thiện.

Nhìn chung, 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 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 sau khi kết thúc quá trình phun ép.

- ***Kết cấu khuôn phun ép tăng khả năng chảy của vật liệu composite trong lòng khuôn.*** Với nhu cầu ngày càng cao của sản phẩm phun ép vật liệu composite, các quy trình phun ép mới cũng đã và đang được nghiên cứu trên toàn thế giới. Song song với các quy trình mới này, kết cấu khuôn cũng cần được thay đổi nhằm thích hợp và đáp ứng với các yêu cầu của quy trình hiện đại dùng cho vật liệu composite gia cường sợi ngắn thủy tinh. Trong nghiên cứu của G. Wang, G. Zhao, H. Li và Y. Guan [7], kết cấu khuôn đã được điều chỉnh để thích nghi với yêu cầu gia nhiệt bằng hơi nước và điện trở nhằm giảm chu kỳ phun ép.

Trong nghiên cứu của H. L. Lin và các cộng sự [8], 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. Tác giả Chen và các cộng sự [9] 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 hồng ngoại, nhiệt từ trường 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. 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 của sản phẩm.

- ***Điều kiện phun ép tăng năng suất và độ bền sản phẩm vật liệu composite nhựa nhiệt dẻo.*** Theo các nghiên cứu của A. Kumar [10], H. L. Chen [11], A. C. Liou [12] cùng các cộng sự, điều kiện phun ép bao gồm các thông số: 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. Đặc biệt, 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 [13,14]. Tác giả Young [15], M. Kurt [16] 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 sau khi được lấy ra khỏi khuôn. Kết quả nghiên cứu cho thấy nhiệt

độ khuôn, tốc độ phun, áp suất phun và nhiệt độ nóng chảy vật liệu là yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến độ co rút, độ nhám bề mặt của sản phẩm.

Rohit George Sebastian và cộng sự [17] đã nghiên cứu về sự truyền năng lượng dòng chảy nhiều pha nhằm tối ưu hóa quy trình phun ép vật liệu composite. Kết quả nghiên cứu đã xây dựng được phương trình cân bằng năng lượng để mô hình hóa các tương tác năng lượng trong một quy trình điển hình thực hiện trong phun ép vật liệu composite.

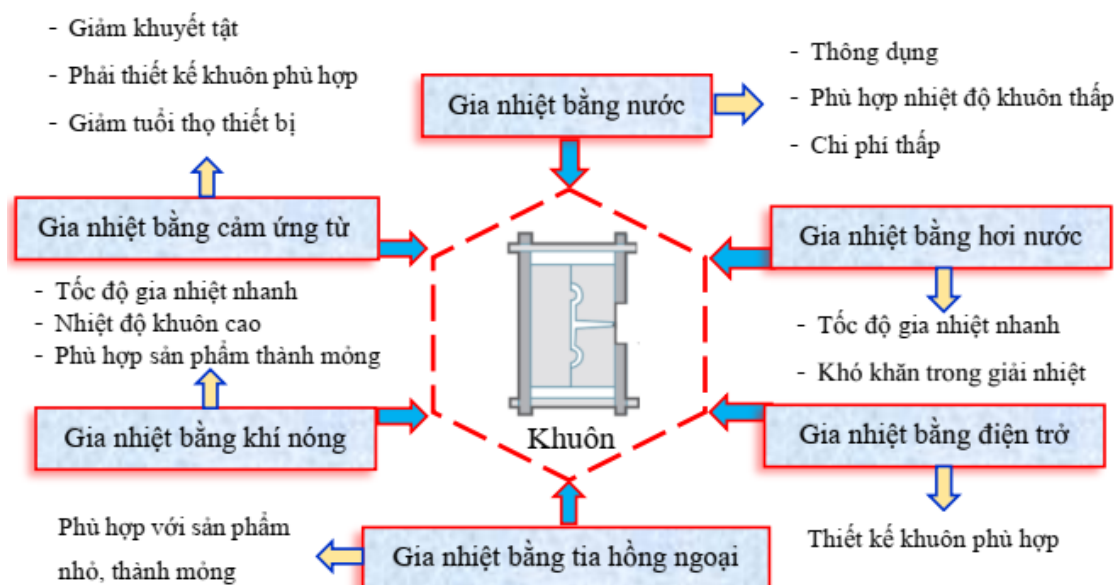
Ngoài ra, ảnh hưởng của nhiệt độ khuôn đến hướng sợi ngắn thủy tinh trong quá trình phun ép đã được thực hiện bởi tác giả X. P. Li cùng các cộng sự [18]. Kết quả nghiên cứu cho thấy, nhiệt độ khuôn thay đổi thì sợi thay đổi theo hướng của dòng chảy và bề dày của lớp tiếp xúc với lòng khuôn càng nhỏ, độ nhám bề mặt sản phẩm đạt được cao, chất lượng bề mặt của mẫu tốt. Nghiên cứu của W. N. Ota và các cộng sự [19] về ảnh hưởng của nhiệt độ phun và thành phần của sợi đến tính chất của composite sợi thủy tinh. Mối quan hệ giữa tính chất vật lý và cơ học của PP (polypropylene) và composite sợi thủy tinh ở nhiệt độ khác nhau, phần trăm sợi khác nhau (20 %GF và 30 %GF). Kết quả cho thấy độ bền kéo và mô đun đàn hồi của vật liệu tổng hợp composite nền PP tăng tuyến tính với số lượng các thành phần sợi, độ bền va đập các vật liệu tổng hợp tăng lên với thành phần sợi thủy tinh. Nhóm nghiên cứu gồm P. Shokri và N. Bhatnagar [20] tìm hiểu về ảnh hưởng của áp suất và nhiệt độ khuôn đến định hướng sợi trong phun ép nhựa composite. Quá trình nghiên cứu nhóm tác giả tập trung vào các vấn đề về đặc tính cơ học, độ cứng, độ bền, độ chống va đập cao của sản phẩm. Kết quả nghiên cứu cho thấy hướng của sợi có thể khác nhau tùy vào độ dày của sản phẩm và ảnh hưởng tới đặc tính cơ học của sản phẩm sau khi kết thúc quá trình phun ép.

- ***Ảnh hưởng của tỉ lệ sợi thủy tinh đến độ bền sản phẩm vật liệu composite trong phun ép.*** Tác giả Ankuloriya và R. Rajvaidya [21] đã thực hiện nghiên cứu đặc điểm vật liệu composite nền nhựa ABS và gia cường sợi ngắn thủy tinh trong công nghệ phun ép. Kết quả: độ cứng vật liệu tăng dần khi sợi thủy tinh tăng qua

các tỉ lệ khối lượng 5 %, 10 %, 20 % và 30 %. Độ bền kéo đạt giá trị cao nhất ở mức tỉ lệ khối lượng sợi thủy tinh là 5 %. Khi tăng tỉ lệ sợi thủy tinh lên mức 10 % và 20 % thì độ bền kéo giảm xuống. Nhưng khi tăng tỉ lệ khối lượng sợi thủy tinh lên 30 % thì độ bền kéo được cải thiện và xu hướng tăng lên. Việc tăng tỉ lệ sợi thủy tinh cũng đã cho thấy sự liên kết tốt hơn giữa ABS và sợi thủy tinh ngắn.

Tác giả A. Manjunath và D. V. Girish đã nghiên cứu ảnh hưởng của sợi ngắn thủy tinh đến đặc tính của vật liệu composite nhựa nhiệt dẻo bằng thực nghiệm [22]. Từ kết quả nghiên cứu, tác giả đã đưa ra kết luận khi tăng tỉ lệ sợi thủy tinh gia cường đã làm tăng các tính chất cơ - lý của vật liệu composite polycarbonate, đó là độ cứng, độ bền kéo và biến dạng gãy. Cụ thể, độ cứng bề mặt đã tăng lên 24,3 %; 28,6 % và 30 % tương ứng với các tỉ lệ sợi thủy tinh là 10 %, 20 % và 30 %. Cũng vậy, tương ứng với tỉ lệ sợi thủy tinh 10 %, 20 % và 30 % mức tăng của độ bền kéo lần lượt là 29,15 %, 58,25 % và 73,38 %. Về tính chất hóa học, sau khi tiếp xúc với 10 chất phản ứng hóa học khác nhau trong khoảng 7 ngày, các mẫu vật liệu composite đã được kiểm tra những thay đổi trong tính chất vật lý, chẳng hạn như sự đổi màu, giảm độ bóng, những thay đổi về khối lượng và độ dày. Kiểm tra các mẫu vật cho thấy độ bóng và màu sắc đều không thay đổi. Tuy nhiên, có một sự thay đổi nhẹ về trọng lượng và độ dày của mẫu thử composite polycarbonate gia cường sợi thủy tinh.

- ***Ảnh hưởng của phương pháp gia nhiệt đến nhiệt độ khuôn và chất lượng sản phẩm composite trong phun ép.*** Bên cạnh phương pháp gia nhiệt truyền thống bằng nước thì các phương pháp gia nhiệt mới bao gồm gia nhiệt bằng hơi nước [7,13], gia nhiệt bằng điện trở [23], gia nhiệt bằng tia hồng ngoại [8] và gia nhiệt bằng khí nóng [24] cũng đã được nghiên cứu trong thời gian vừa qua như hình 1.4. Với các phương pháp gia nhiệt đã được nghiên cứu phần nào cải thiện khả năng chảy của vật liệu composite trong quá trình điền đầy lòng khuôn. Tuy nhiên, với từng phương pháp vẫn còn một số hạn chế cần tiếp tục nghiên cứu và cải thiện như phải xác định được thời gian gia nhiệt và giải nhiệt với yêu cầu cụ thể của từng loại sản phẩm, giải pháp hạn chế sự mất nhiệt khi nhựa composite chảy trong lòng khuôn.



Hình 1.4: Một số phương pháp gia nhiệt khuôn phun ép

Với phương pháp gia nhiệt bằng nước được sử dụng rất hiệu quả và phổ biến trong thời gian qua tại các doanh nghiệp trong lĩnh vực phun ép nhựa, đây là phương pháp có thể nâng nhiệt độ khuôn lên đến gần nhiệt độ sôi của nước (khoảng 90 °C), là khoảng nhiệt độ phù hợp để duy trì khả năng chảy đối với các sản phẩm nhựa thông thường, qua đó chi phí thực hiện là rất thấp. Với những trường hợp nhiệt độ khuôn được yêu cầu cao hơn, nước cần được nén với áp suất cao để ngăn hiện tượng bay hơi hoặc lưu chất là dầu nóng sẽ được sử dụng. Trường hợp dùng lưu chất là dầu, khả năng truyền nhiệt giữa lưu chất và khuôn sẽ giảm đáng kể do hệ số truyền nhiệt của dầu thấp rất thấp. Đặc biệt, đối với các trường hợp yêu cầu nhiệt độ khuôn cao (cao hơn nhiệt độ khuôn thông thường: 90 °C) thì phương pháp gia nhiệt bằng nước không thể đáp ứng được. Trường hợp này 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.

Với các bề mặt phức tạp, yêu cầu nhiệt độ khuôn cao, phương pháp thổi khí nóng vào lòng khuôn (gas heating) đã được nghiên cứu và đánh giá thực nghiệm [24]. Với phương pháp này, nhiệt độ bề mặt khuôn có thể tăng từ 60 °C đến 120 °C trong thời gian 2 s. Quá trình gia nhiệt sẽ đạt tới trạng thái bão hòa khi thời gian gia nhiệt kéo dài hơn 4 s. Ưu điểm của phương pháp gia nhiệt khí nóng là: tốc độ gia

nhiệt rất cao và thời gian chu kỳ của sản phẩm sẽ được rút ngắn. Đặc biệt rất phù hợp để ứng dụng trong quá trình gia nhiệt tạo hình sản phẩm đối với các loại vật liệu mới, khả năng chảy khó và các chi tiết có dạng thành mỏng.

Tương tự với các phương pháp gia nhiệt bề mặt, phương pháp gia nhiệt bằng cảm ứng từ đã được ứng dụng nhằm hạn chế các khuyết tật khác của sản phẩm nhựa. Trong các nghiên cứu mới đây [14,25], phương pháp gia nhiệt bằng cảm ứng từ kết hợp với lưu chất giải nhiệt nhằm điều khiển nhiệt độ khuôn cũng cải tiến được phần nào hiệu quả của phương pháp như: Tốc độ gia nhiệt cao, thời gian gia nhiệt. Tuy nhiên vẫn còn một số tồn tại cần khắc phục như: dễ dẫn đến hiện tượng nhiễm từ của các bộ phận trong thiết bị, đặc biệt với các bộ phận thực hiện chức năng điều khiển dễ bị ảnh hưởng và giảm tuổi thọ khi sử dụng. Đồng thời phải xem xét thiết kế lại kết cấu lòng khuôn một cách hợp lý.

Ngoài ra, phương pháp gia nhiệt cho bề mặt tấm khuôn bằng hệ thống phát hồng ngoại được nghiên cứu và ứng dụng cho khuôn phun ép [12,26]. Hệ thống này được ứng dụng cho khuôn phun ép sản phẩm nhỏ, thành mỏng. Sau quá trình phun ép, sản phẩm được quét 3D nhằm kiểm tra khả năng điền đầy khuôn. Nghiên cứu này cho thấy với nhiệt độ khuôn 80 °C, và 10 s gia nhiệt, toàn bộ các kết cấu được điền đầy nhựa.

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 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, khả năng chảy vật liệu composite cao. 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 của khuôn phun ép sẽ tăng và chu kỳ phun ép sẽ kéo dài, do đó, 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.

1.3. Tình hình nghiên cứu trong nước

Ngày nay vật liệu composite đã được ứng dụng rộng rãi trên nhiều lĩnh vực. Trong đó, tính riêng nhựa dùng để sản xuất vật liệu composite được tiêu thụ ở Việt Nam là hơn 5.000 tấn hàng năm. Nhiều công trình nghiên cứu liên quan đến vật liệu composite cũng đang được thực hiện nhằm nâng cao hiệu quả sử dụng [27]. Theo các tác giả: Đào Lê Chung, Nguyễn Văn Phục, Bùi Đức Lộc và Ninh Quang Oanh báo cáo tại Hội nghị khoa học và công nghệ lần thứ 12, Đại học Bách khoa Tp. HCM về nghiên cứu ứng dụng vật liệu composite trên xe tải nhẹ KIA-THACO [28]. Báo cáo cho rằng xe tải nhẹ KIA-THACO là một trong những dòng xe chiến lược của Công ty Cổ phần ô tô Trường Hải chuẩn bị cho thị trường AFTA sau năm 2018. Để làm được điều này, một trong những nhiệm vụ quan trọng là nội địa hóa các linh kiện của xe nhằm đạt tỉ lệ nội địa hóa trên 40%, trong đó nhiều chi tiết trên xe cần nghiên cứu và phát triển bằng vật liệu composite vì các tính năng ưu việt hơn các loại vật liệu thông thường.

Mặt khác, trong quá trình sản xuất sản phẩm nhựa bằng công nghệ phun ép, bước xác định nhiệt độ khuôn thường chọn theo thông số hướng dẫn của nhà sản xuất với xu hướng chọn nhiệt độ nhựa thật cao, mục tiêu là điền đầy càng nhiều lòng khuôn càng tốt nhằm nâng cao sản lượng. Do đó, thực trạng của sản xuất sản phẩm nhựa tại Việt Nam chỉ dừng lại ở nhóm các sản phẩm đơn giản, chất lượng chưa cao, và chủ yếu tập trung vào lĩnh vực hàng gia dụng. Ngược lại, với các quy trình phun ép đang được ứng dụng tại nước ngoài, lựa chọn nhiệt độ nhựa tối ưu là một trong những cách hiệu quả nhất nâng cao chất lượng sản phẩm, giải nhiệt cho khuôn phun ép nhằm giải quyết bài toán về chi phí sản xuất trong ngành nhựa. Hiện nay một số đề tài trong lĩnh vực này tại Việt Nam đã được tiến hành như sau:

- Tác giả Trần Minh Hồ [29] 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”. Tác giả đã nghiên cứu ảnh hưởng của tỉ lệ vật liệu gia cường và sợi thủy tinh đến cơ tính của vật liệu composite được khảo sát trên mẫu thử với 5 mức tỉ lệ sau: 40 % sợi thủy tinh + 60 % nhựa epoxy, 38 % sợi thủy tinh + 60 % nhựa epoxy + 2 % TiO_2 , 35 % sợi thủy tinh + 60 % nhựa epoxy + 5 % TiO_2 , 30 % sợi thủy tinh + 60 % nhựa epoxy + 10 % TiO_2 , 25 % sợi thủy tinh + 60 % nhựa epoxy + 15 % TiO_2 . Kết quả kiểm tra cơ tính các mẫu thử 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 % bột TiO_2 .

- Tác giả Phan Thị Minh Ngọc cùng các cộng sự [30] đã thực hiện nghiên cứu “Nghiên cứu chế tạo vật liệu Polyme composite từ hệ nhựa Epoxy/DDS gia cường sợi thủy tinh có mặt vi sợi xenlulo”. Theo kết quả nghiên cứu, tỉ lệ về khối lượng của nhựa nền epoxy và vải thủy tinh có ảnh hưởng rất lớn đến cơ tính của vật liệu. Tác giả đã tiến hành khảo sát các tỉ lệ vải thủy tinh/nhựa epoxy khác nhau và kết quả cho thấy khi tỉ lệ khối lượng vải/nhựa là 70/30, vật liệu composite thu được có cơ tính như độ bền kéo, mô đun đàn hồi kéo, độ bền uốn, mô đun đàn hồi uốn là tốt nhất, cao hơn so với các tỉ lệ còn lại.

- Tác giả Bùi Thị Thu Phương cùng các cộng sự [31] đã thực hiện “Nghiên cứu tối ưu hóa yếu tố nhiệt độ trong chế tạo vật liệu cốt thủy tinh composite polymer”. Kết quả cho thấy nhiệt độ đóng rắn trong ống gia nhiệt được tối ưu cả ba giai đoạn: nhiệt độ đóng rắn bề mặt tại 88,26 °C, nhiệt độ đóng rắn thân lõi tại 113 °C, nhiệt độ ổn định kết cấu tại 124,7 °C. Mức nhiệt độ tối ưu này được áp dụng cho mẫu vật liệu cốt composite polymer đường kính $\varnothing 10$ cho sản phẩm đạt ứng suất kéo đạt 701,5 N/mm² cao gấp 2 lần thép CB240-T (CI) cùng đường kính.

- Tác giả Trần Minh Thế Uyên [32] 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. Thông qua đó tìm ra phương pháp hiệu quả là gia nhiệt bằng khí nóng cho lòng khuôn và ứng dụng cho quá trình tạo hình sản phẩm bằng công nghệ phun ép nhằm nâng cao độ bền đối với sản phẩm nhựa kỹ thuật. Với kết quả đạt được, nghiên cứu vẫn tồn tại một số hạn chế cần quan tâm như chỉ có một cổng phun khí nóng nên các thông số lưu chất của dòng khí chưa tối ưu, chu kỳ phun ép còn quá dài do ảnh hưởng thời gian gia nhiệt khuôn nên chưa phát huy tối đa năng suất, hiệu quả của quy trình phun ép, đặc biệt với sản phẩm nhựa thành mỏng.

- Đề tài nghiên cứu Khoa học và Công nghệ cấp Nhà nước (KC.03.22/11-15) do PGS. TS. Đặng Văn Nghìn 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” [33]. 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. Với hệ thống này, tác giả đã bước đầu thành công trong việc phun ép các sản phẩm có thành mỏng, đây là một trong những dạng sản phẩm khó phun ép. Qua kết quả nghiên cứu, phương pháp “Kênh dẫn nóng - Hot runner” là một trong những phương pháp điều khiển nhiệt độ khuôn với bước gia nhiệt thể tích - Volume heating. Do đó, để tiếp tục phát triển công nghệ điều khiển nhiệt độ khuôn, một số vấn đề cần tiếp tục nghiên cứu như:

* Tiêu hao năng lượng lớn do phải nâng nhiệt độ cả tấm kênh dẫn lên giá trị cao và giữ nhiệt độ trong suốt quá trình vận hành phun ép.

* Kết cấu khuôn cần thiết kế đặc biệt nhằm tích hợp hệ thống kênh dẫn nóng. Do đó, với khuôn thông thường, phương pháp này hầu như không thể áp dụng được.

- 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

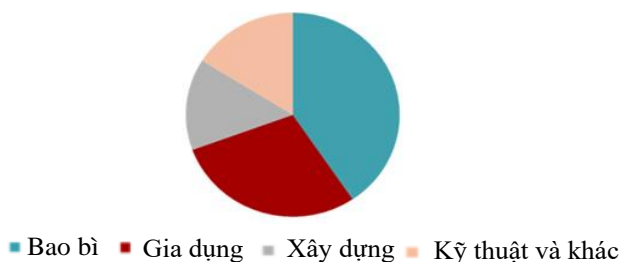
nhựa thành mỏng, Vũ Viết Chuyên - Nghiên cứu ảnh hưởng của thông số phun ép tới độ bền uốn của vật liệu nhựa PA6.

Qua các kết quả nghiên cứu, điều khiển nhiệt độ khuôn chỉ được hiểu và thực hiện theo hướng giải nhiệt cho khuôn hoặc hạn chế hiện tượng giảm áp suất của dòng nhựa trong quá trình chảy vào lòng khuôn, với mục tiêu là làm nguội khuôn trong thời gian ngắn nhất, khả năng hạn chế các khuyết tật cho sản phẩm vẫn chưa được xem xét và ứng dụng phổ biến. 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 [1,34,35]. 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, độ nhớt vật liệu tăng cao khi tiếp xúc với thành khuôn có nhiệt độ thấp. Ngoài ra, 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

Theo số liệu báo cáo ngành nhựa FPT Securities cung cấp năm 2019 [36], sản phẩm nhựa xuất khẩu nước ta đã khẳng định nhu cầu và hướng phát triển. Có thể nói đây là lĩnh vực nhiều tiềm năng. Theo thống kê từ VIRAC, GSO, VPA quý 1 năm 2021 cơ cấu sản xuất ngành nhựa nước ta như hình 1.5. Trong đó, nhựa kỹ thuật có giá trị gia tăng chiếm 16,1 % cơ cấu ngành, sản xuất bao bì nhựa nội địa tăng trưởng 4,13 % so cùng kỳ 2020 [37].



Hình 1.5: Cơ cấu sản phẩm ngành nhựa quý 1 - 2021 [37]

Trước xu thế đó, cùng với sự phát triển không ngừng của công nghệ phun ép, vật liệu composite nhựa nhiệt dẻo cũng được nghiên cứu và ứng dụng phổ biến ở nước ta trong giai đoạn hiện nay. Các sản phẩm được tạo hình bằng công nghệ này 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 [38].

1.5. Vấn đề cần tiếp tục nghiên cứu:

Trong thực tiễn sản xuất bằng công nghệ phun ép, một trong những giải pháp là duy trì nhiệt độ ổn định cho lòng khuôn, nâng cao khả năng điền đầy là vấn đề rất phức tạp đối với vật liệu composite nhựa nhiệt dẻo, đặc biệt với sản phẩm thành mỏng và gân mỏng. Kết quả đạt được từ các nghiên cứu trước đây cho thấy phương pháp gia nhiệt cơ bản cải thiện được quá trình điền đầy nhựa vào lòng khuôn. Tuy nhiên, vẫn còn tồn tại một số hạn chế:

- Kết cấu khuôn cần được thiết kế lại nhằm tích hợp hệ thống miệng phun và cổng thoát khí. Với yêu cầu này không khả thi cho các bộ khuôn hiện tại.
- Chưa xác định chính xác thời gian, nhiệt độ khuôn phù hợp với các dạng sản phẩm thành mỏng, dễ xảy ra hiện tượng mất nhiệt hoặc quá nhiệt ảnh hưởng đến độ bền sản phẩm.
- Chưa xác định ảnh hưởng của nhiệt độ khuôn đến khả năng điền đầy với vật liệu composite nhiệt dẻo tỉ lệ sợi gia cường khác nhau trong phun ép.
- Ứng dụng phương pháp gia nhiệt bề mặt khuôn bằng khí nóng cho vật liệu composite nhựa nhiệt dẻo, vật liệu mới còn hạn chế và đặc biệt đối với các sản phẩm dạng thành mỏng, kết cấu gân mỏng.

Vì vậy, thông qua luận án, các vấn đề trên được làm rõ với một số nội dung cụ thể như sau:

- 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 và thực nghiệm quá trình điền đầy vật liệu composite trong lòng khuôn.
- 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 và gân mỏng.

Chương 2

CƠ SỞ LÝ THUYẾT

Như đã trình bày trong phần mở đầu, nội dung nghiên cứu của luận án là tập trung làm rõ ảnh hưởng của nhiệt độ khuôn đến độ điền đầy vật liệu composite trong quy trình phun ép. Trong đó, quá trình thiết kế, mô phỏng và thực nghiệm, cũng như phân tích, đánh giá các kết quả của luận án được tiến hành trên cơ sở lý thuyết liên quan như sau:

- Vật liệu composite nhựa nhiệt dẻo
- Tỷ lệ sợi, định hướng sợi trong phun ép nhựa
- Mối quan hệ giữa độ nhớt và nhiệt độ
- Phương pháp mô phỏng dòng chảy
- Đặc điểm của dòng chảy “Fountain flow”
- Mô hình phương pháp phần tử hữu hạn trong mô phỏng gia nhiệt khuôn
- Nhiệt lượng trao đổi nhiệt với môi trường
- Hệ số truyền nhiệt trong khuôn
- Phương trình cân bằng dòng chảy nhựa và điều kiện biên
- Phương trình mô phỏng gia nhiệt và điều kiện biên

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 [39]. Trong đó:

- Vật liệu cốt (vật liệu gia cường) có vai trò đảm bảo cho composite có được các đặc tính cơ học cần thiết. Về cơ bản có hai kiểu vật liệu cốt: cốt sợi và cốt hạt.
- 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. Dưới tác dụng ngoại lực, vật liệu gia cường là thành phần chính chịu tải trọng vì nó thường có tính chất cơ lý cao hơn vật liệu nền. Ngược lại, vật liệu nền thường có độ bền, độ cứng thấp hơn và dẻo dai hơn vật liệu gia cường, đóng vai trò chính trong việc bảo vệ

composite khỏi sự tấn công của môi trường, hóa chất đồng thời đóng vai trò quyết định đến độ bền nhiệt, khả năng gia công của vật liệu composite.

- Vùng trung gian là vùng tiếp xúc giữa cốt và nền, thường là yếu tố có tính quyết định đến cơ tính và các thuộc tính khác của composite. Vùng trung gian chính là nơi chuyển tải trọng từ nền sang cốt nên tác động đầu tiên của nó chính là tác động đến độ bền. 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 như sợi ngắn thủy tinh và sợi ngắn carbon.

Trong nghiên cứu này vật liệu được chọn để nghiên cứu bằng công nghệ phun ép là vật liệu composite nhựa nhiệt dẻo với nền PA6 (Polyamide 6) gia cường sợi ngắn thủy tinh. Trong đó, vật liệu thành phần PA6 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 và được sử dụng nhiều trong công nghiệp, có tính chất cách điện và độ bền cao. Mặt khác, sợi thủy tinh và nền PA6 rất phổ biến trên thị trường, giá thành phù hợp, thuận tiện trong quá trình nghiên cứu và ứng dụng. Trong đó, vật liệu PA6 + 30 %GF là vật liệu composite có nền nhựa PA6 và gia cường 30 % sợi ngắn thủy tinh (30 %GF) được pha trộn thành dạng hạt. Tùy thuộc vào tỉ lệ sợi mà có thể là PA6 + 10 %GF (tỉ lệ sợi 10 %), PA6 + 20 %GF (tỉ lệ sợi 20 %), PA6 + 30 %GF (tỉ lệ sợi 30 %) với hệ số nhớt giảm dần theo tỉ lệ sợi [1,39,40]. Đồng thời, đặc tính của sản phẩm bằng vật liệu composite cũng chịu ảnh hưởng bởi nhiều yếu tố như: phân bố sợi, công nghệ và điều kiện chế tạo [41,42].

2.2. Tỉ lệ sợi của vật liệu composite

Tỉ lệ sợi của vật liệu composite là một trong những yếu tố quan trọng quyết định cơ tính của vật liệu composite. Tỉ lệ này có thể biểu diễn qua tỉ lệ thể tích hoặc tỉ lệ khối lượng. Trong nghiên cứu này, tỉ lệ sợi được xác định dựa vào tỉ trọng của các vật liệu thành phần với công thức được xác định như sau [41-43]:

Thể tích composite (v_c) là tổng thể tích sợi (v_f), nhựa (v_m) và khoảng trống (v_v)

$$V_c = V_f + V_m + V_v \quad (2.1)$$

Chia công thức (2.1) tất cả cho v_c ta được tỉ lệ thành phần của sợi, nhựa và khoảng trống lần lượt là V_f , V_m và V_v . Đồng thời, ta có:

$$V_f + V_m + V_v = 1 \quad (2.2)$$

Gọi m_c là khối lượng của composite, m_f là khối lượng của thành phần sợi, m_m là khối lượng của thành phần nhựa, thu được:

$$m_c = m_f + m_m \quad (2.3)$$

Tỉ trọng của composite ρ_c được xác định như sau:

$$\rho_c = \frac{m_c}{v_c} = \frac{m_f + m_m}{v_c} = \frac{\rho_f v_f + \rho_m v_m}{v_c} = \rho_f V_f + \rho_m V_m \quad (2.4)$$

$$\rho_c = \rho_f V_f + \rho_m (1 - V_f - V_v) = \rho_f V_f + \rho_m - \rho_m V_f - \rho_m V_v \quad (2.5)$$

$$\rho_c = V_f (\rho_f - \rho_m) + \rho_m - \rho_m V_v \quad (2.6)$$

$$\text{Hoặc: } V_f = \frac{\rho_c - \rho_m + \rho_m V_v}{\rho_f - \rho_m} \quad (2.7)$$

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, V_v là tỉ lệ của khoảng trống, $V_v = \frac{v_v}{v_c}$

Trong hầu hết các phương pháp chế tạo composite bao gồm cả phương pháp phun ép thì tỉ lệ khoảng trống (rỗ khí, rỗ hơi,...) trong composite rất nhỏ và có thể bỏ qua V_v trong công thức tính V_f . Cho nên, công thức (2.7) được viết lại như sau:

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

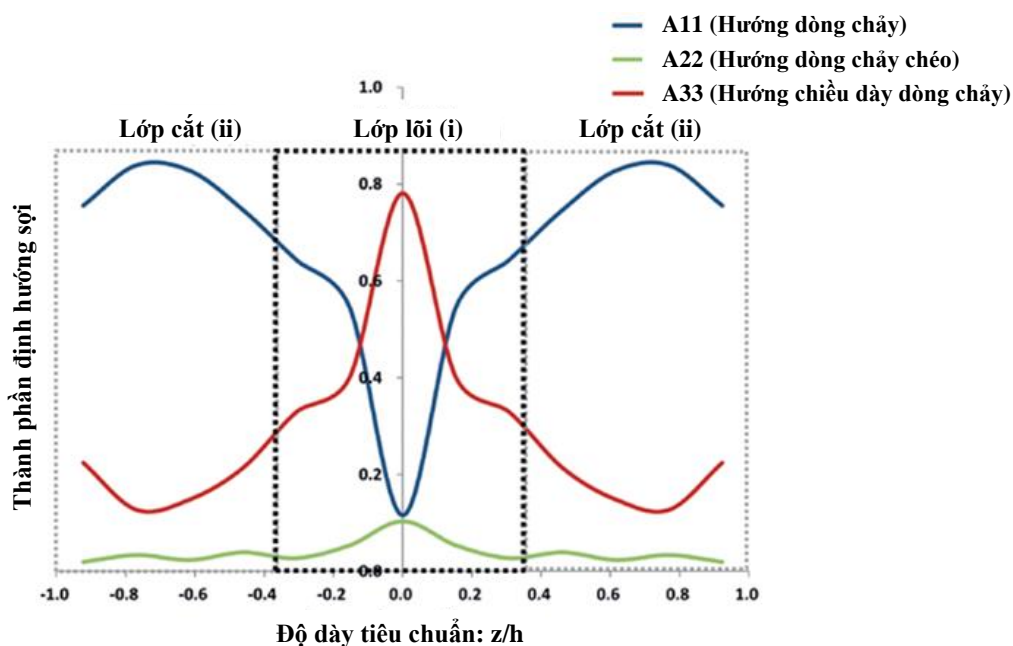
Trong nghiên cứu này, tác giả sử dụng vật liệu composite đã được nhà sản xuất pha trộn sẵn sợi thủy tinh với vật liệu nền PA6 theo các tỉ lệ: 5 %GF, 10 %GF, 15 %GF, 20 %GF, 25 %GF, 30 %GF bởi vì:

- Hiện nay trên thị trường cung cấp vật liệu composite đã pha trộn sẵn theo đúng các tỉ lệ sợi và vật liệu nền PA6 bằng các thiết bị định lượng chính xác và đã chứng nhận theo tiêu chuẩn. Trong đó tỉ lệ sợi 30 %GF là phổ biến.

- Kết quả các công trình nghiên cứu trước đây về ảnh hưởng tỉ lệ sợi thủy tinh đến độ bền sản phẩm đã thể hiện được khi tỉ lệ sợi tăng đến 30 % thì độ bền được cải thiện và có sự liên kết tốt hơn giữa thành phần vật liệu nền và cốt trong phun ép vật liệu composite [21,29].

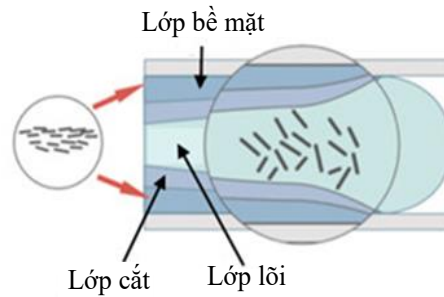
2.3. Định hướng sợi trong quá trình phun ép

Trong quá trình phun ép, định hướng sợi bị ảnh hưởng bởi các thông số liên quan, kết quả quá trình điền đầy dòng chảy định hướng của sợi thay đổi đáng kể.



Hình 2.1: Biểu đồ trạng thái định hướng sợi theo các phương [1]

Các thành phần định hướng theo hướng dòng chảy (trục x) A_{11} , thành phần định hướng theo hướng cắt ngang dòng chảy (trục y) A_{22} và thành phần định hướng độ dày (trục z) A_{33} ở phần trung tâm của mặt cắt. Cấu trúc dòng chảy gồm lớp bề mặt - lớp cắt - lớp lõi - lớp cắt - lớp bề mặt được hình thành khi phun ép vật liệu composite. Các sợi được sắp xếp phù hợp hơn với hướng dòng chảy, được đặc trưng định hướng đa số theo phương A_{11} và một số theo phương A_{22} , khi lõi dòng chảy lớn sự định hướng sợi khá thấp theo phương A_{11} nhưng tăng cao sự định hướng theo phương A_{22} . Trạng thái định hướng theo phương A_{33} rất thấp, gần như không đổi như hình 2.1. [1,44]



Hình 2.2: Mô tả định hướng sợi [1]

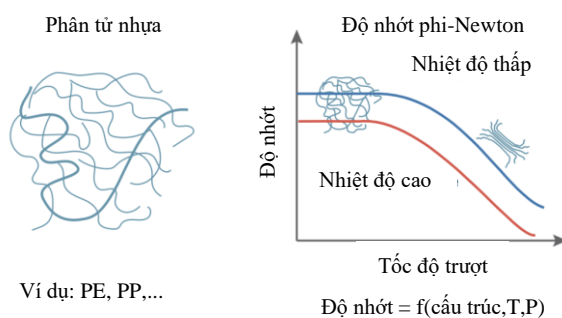
Trong quá trình điền đầy vật liệu vào lòng khuôn, nhựa nóng chảy ở nhiệt độ cao tiếp xúc với bề mặt lòng khuôn, hình thành lớp bề mặt (hình 2.2) và đông đặc nhanh vì hiện tượng mất nhiệt. Sợi gia cường trong lớp đông đặc này không được định hướng trong một thời gian ngắn, do đó sự sắp xếp theo hướng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

Do đó, về lý thuyết có thể xác định rằng: trong lớp đông đặc các sợi hướng lệch với dòng chảy do ảnh hưởng của nhiệt độ khuôn thấp. Trong lớp cát, các sợi được định hướng theo dòng chảy rất cao, các sợi trong lớp lõi có định hướng thấp trong hướng dòng chảy, nhưng chúng có thể dễ dàng kéo dài và có xu hướng căn chỉnh theo hướng kéo dài dòng chảy.

2.4. Mối quan hệ giữa độ nhớt và nhiệt độ

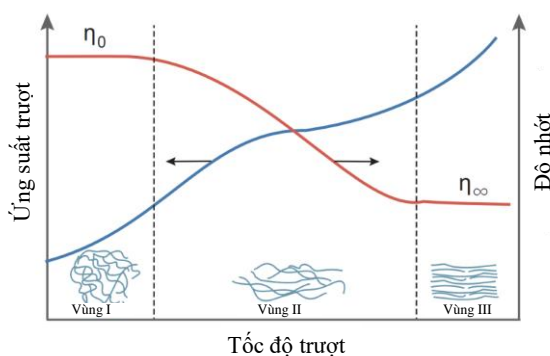
Độ nhớt là mối quan hệ giữa sự cản trở dòng chảy đến sự chảy của vật liệu. Độ nhớt của nước, dầu thường là một giá trị không đổi ở một nhiệt độ nhất định và tuân theo lý thuyết về lưu chất của Newton. Tuy nhiên, độ nhớt của các nhựa nhiệt dẻo thì rất phức tạp và phi Newton [1,45,46]. Độ nhớt của các nhựa nhiệt dẻo phụ thuộc vào cấu trúc hoá học, nhiệt độ và áp suất và được thể hiện như hình 2.3. Ứng

với một cấu trúc và công thức hoá học cho trước, độ nhớt của các nhựa nhiệt dẻo phụ thuộc chủ yếu vào nhiệt độ, tốc độ trượt và áp suất.



Hình 2.3: Cấu trúc phân tử và độ nhớt của nhựa [1]

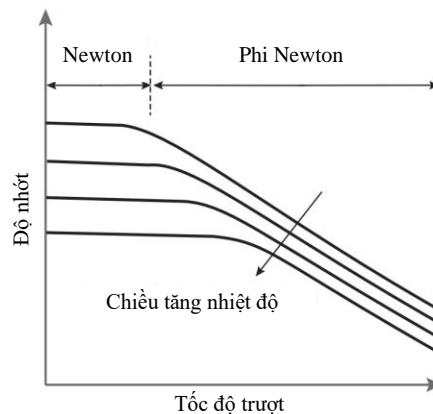
Để hiểu bản chất độ nhớt của nhựa nhiệt dẻo, cần định nghĩa rõ ứng suất trượt và tốc độ trượt như hình 2.4.



Hình 2.4: Đường đặc tính của nhựa nhiệt dẻo [1]

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 II). 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 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 2.5.



Hình 2.5: Mối quan hệ giữa độ nhớt và nhiệt độ [1]

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

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

μ_0 là độ nhớt tương ứng với nhiệt độ T và T_0 . Độ nhớt với các nhiệt độ và tốc độ trượt khác nhau được biểu thị bằng độ nhớt ở nhiệt độ tham chiếu [47,48]:

$$\mu(T, \dot{\gamma}) = a_T \mu(T_0, \dot{\gamma} \cdot a_T) \quad (2.13)$$

Có hai mô hình để mô tả mối quan hệ giữa a_T và nhiệt độ:

- Một là, phương trình Arrhenius-type

$$a_T = \exp\left(\frac{\Delta H}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)\right) \quad (2.14)$$

Trong đó, ΔH là năng lượng kích hoạt được định nghĩa tương tự trong hóa học, R là hằng số khí lý tưởng, phương trình này thường được áp dụng cho vật liệu trong phạm vi giữa nhiệt độ hóa rắn (T_g) và $T_g + 100$ °C.

- Hai là, phương trình Williams - Landel - Ferry

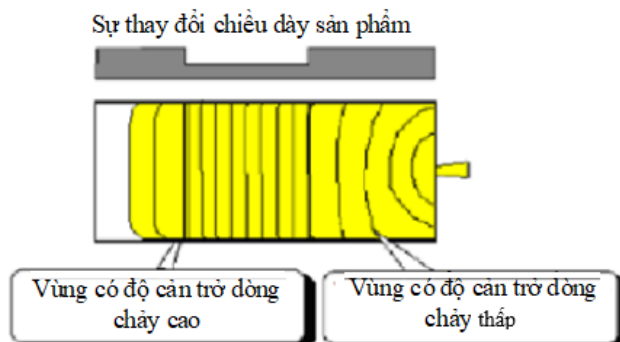
$$\log a_T = \frac{-C_1(T-T_0)}{C_2 + (T-T_0)} \quad (2.15)$$

Trong đó, C_1, C_2 là hằng số và có giá trị: $C_1 = 17,44$ và $C_2 = 51,6$ [1]

2.5. Dòng chảy nhựa trong chi tiết dạng tấm/hộp

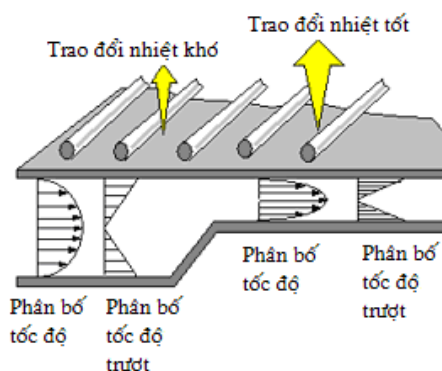
Trong quy trình phun ép, quá trình điền đầy nhựa vào lòng khuôn là bước rất quan trọng và được mô tả như hình 2.6 [47, 48]. Về cơ bản, đây là bài toán 3 chiều và xảy ra trong một thời gian ngắn đối với sự di chuyển của đường giới hạn điền

đầy nhựa lỏng. Bài toán về dòng chảy phi Newton và sự trao đổi nhiệt bao gồm các quá trình phức tạp. Thực tế, trong quá trình điền đầy sẽ xuất hiện một số khuyết tật nếu thiết kế không tốt hoặc vật liệu và các điều kiện phun ép không thích hợp.



Hình 2.6: Dòng chảy nhựa trong quá trình điền đầy sản phẩm [48]

Trong quá trình điền đầy, độ nhớt vật liệu là một tính chất quan trọng. Độ nhớt cao mức độ cản trở dòng chảy sẽ lớn. Thực tế đã chứng minh được độ nhớt có ảnh hưởng đến sự cản trở dòng chảy. Ngoài ra, còn nhiều yếu tố ảnh hưởng đến độ nhớt như: Nhiệt độ, tốc độ trao đổi nhiệt, tốc độ trượt, và chiều dày sản phẩm. Trong đó, chiều dày sản phẩm là một trong các yếu tố chính, được trình bày như hình 2.7. Vị trí sản phẩm có chiều dày lớn, tại thời điểm nhất định, hệ số dẫn nhiệt vật liệu nhựa rất thấp, do đó nhựa sẽ khó truyền nhiệt ra bên ngoài. Vì vậy, có thể dễ dàng bổ sung năng lượng nhằm giảm độ cản trở dòng chảy. Tại vị trí này, sản phẩm sẽ được điền đầy sớm hơn. Ngược lại, tại những vị trí chiều dày nhỏ sẽ có độ cản trở dòng chảy cao hơn, dòng chảy khó khăn hơn trong quá trình điền đầy.

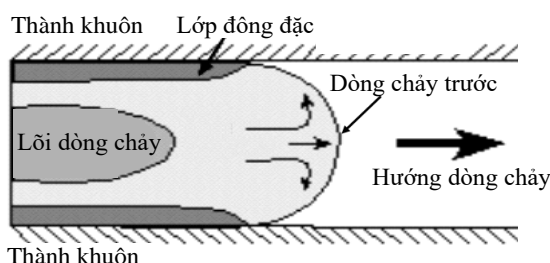


Hình 2.7: Dòng chảy nhựa khi chiều dày sản phẩm thay đổi [1]

2.6. Đặc điểm của dòng chảy “Fountain flow”

Trong quá trình nhựa điền đầy, do ảnh hưởng quá trình truyền nhiệt giữa nhựa nóng và thành khuôn, tại bề mặt tiếp xúc sẽ hình thành lớp bề mặt hay còn gọi là lớp đông đặc (frozen layer). Chính hiện tượng này, dòng chảy nhựa sẽ có những đặc điểm không giống như dòng chảy thông thường.

Trong lĩnh vực phun ép, 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 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) [49-51].



Hình 2.8: Dòng chảy của nhựa trong khuôn [49]

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 thành khuôn là một trong những thông số quan trọng đặc biệt với sản phẩm nhựa thành mỏng.

2.7. Mô hình phương pháp phần tử hữu hạn trong mô phỏng gia nhiệt khuôn

2.7.1. Lý thuyết về phần tử hữu hạn khi chia lưới sản phẩm

Phương pháp phần tử hữu hạn (Finite Element Method - FEM) là một phương pháp gần đúng để giải một số lớp bài toán biên. Theo phương pháp phần tử hữu hạn, trong cơ học, vật thể chia thành những phần tử nhỏ có kích thước hữu hạn, liên kết với nhau tại một số hữu hạn các điểm trên biên (gọi là các điểm nút). Các đại lượng cần tìm ở nút sẽ là ẩn số của bài toán (gọi là các ẩn số nút). Tải trọng trên các phần

từ cũng được đưa về các nút. Trong mỗi phần tử, đại lượng cần tìm được xấp xỉ bằng những biểu thức đơn giản và có thể biểu diễn hoàn toàn qua các ẩn số nút.

Dựa trên nguyên lý năng lượng, có thể thiết lập được các phương trình đại số diễn tả quan hệ giữa các ẩn số nút và tải trọng nút của một phần tử. Tập hợp các phần tử theo điều kiện liên tục sẽ nhận được hệ phương trình đại số đối với các ẩn số nút của toàn vật thể. Phương pháp phần tử hữu hạn có nội dung như sau:

- Để giải một bài toán biên trong miền W , bằng phép tam giác phân, ta chia thành một số hữu hạn các miền con W_j ($j = 1, \dots, n$) sao cho hai miền con bất kì không giao nhau và chỉ có thể chung nhau đỉnh hoặc các cạnh. Mỗi miền con W_j được gọi là một phần tử hữu hạn (phần tử hữu hạn).

- Tìm nghiệm xấp xỉ của bài toán biên ban đầu trong một không gian hữu hạn chiều các hàm số thoả mãn điều kiện khả vi nhất định trên toàn miền W và hạn chế của chúng trên từng phần tử hữu hạn W_j là các đa thức. Có thể chọn cơ sở của không gian này gồm các hàm số $\psi_1(x), \dots, \psi_n(x)$ có giá trị trong một số hữu hạn phần tử hữu hạn W_j ở gần nhau. Nghiệm xấp xỉ của bài toán ban đầu được tìm dưới dạng: $c_1 \psi_1(x) + \dots + c_n \psi_n(x)$. Trong đó các hệ số c_k ($k = 1 \div n$) là các hệ số cần tìm.

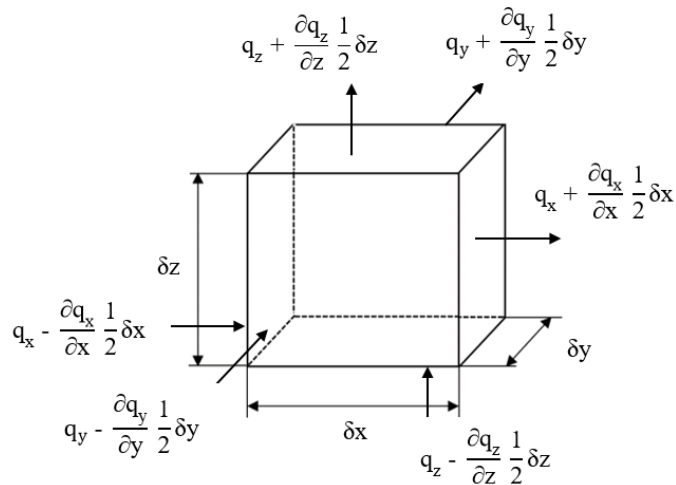
- Thông thường người ta đưa việc tìm các c_k về việc giải một phương trình đại số với ma trận thưa (chỉ có các phần tử trên đường chéo chính và trên một số đường song song sát với đường chéo chính là khác không) nên dễ giải. Có thể lấy cạnh của các phần tử hữu hạn là đường thẳng hoặc đường cong để xấp xỉ các miền có dạng hình học phức tạp. Phương pháp phần tử hữu hạn có thể dùng để giải gần đúng các bài toán biên tuyến tính và phi tuyến.

2.7.2. Mô hình số trong mô phỏng

Trong nghiên cứu này, các phương trình vi phân chính và điều kiện biên của quá trình gia nhiệt khuôn được giải bằng phần mềm ANSYS dựa trên phương pháp thể tích hữu hạn (FVM) cho dòng khí. Trong kỹ thuật này, vùng quan tâm được chia thành các vùng nhỏ, được gọi là thể tích kiểm soát. Các phương trình được rời rạc và giải quyết lặp đi lặp lại cho mỗi thể tích kiểm soát. Kết quả thu được là giá trị

gần đúng của từng biến số tại các điểm cụ thể trên toàn miền. Theo cách này, ta sẽ thu được một bức tranh đầy đủ về chuyển động của dòng chảy. Tấm insert khuôn được chia theo lưới hex dominant do cấu tạo đơn giản của tấm insert khuôn, khối khí được chia lưới tetrahedrons do cấu trúc phức tạp, cho phép tăng số lượng phần tử tại các vùng đòi hỏi độ chính xác mô phỏng cao. Dòng khí nghiên cứu có hệ số nhớt động lực khoảng $1.83e-5$ kg/ms nên có hệ số Re rất lớn và là dòng chảy rối. Do đó, mô hình sử dụng cho mô phỏng là mô hình k- ϵ tiêu chuẩn, là một trong những mô hình chảy rối phổ biến nhất.

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



Hình 2.9: Các thành phần của dòng nhiệt lượng qua phần tử dòng chảy [52]

Gọi \mathbf{q} là véc tơ nhiệt lượng của dòng chảy, nhiệt lượng \mathbf{q} chảy qua phần tử dòng chảy được chia thành ba thành phần q_x , q_y và q_z , được thể hiện như hình 2.9.

Nhiệt lượng mà phần tử dòng chảy nhận được theo phương x:

$$\left[\left(q_x - \frac{\partial q_x}{\partial x} \frac{1}{2} \delta x \right) - \left(q_x + \frac{\partial q_x}{\partial x} \frac{1}{2} \delta x \right) \right] \delta y \delta z = - \frac{\partial q_x}{\partial x} \delta x \delta y \delta z \quad (2.16a)$$

Tương tự, nhiệt lượng phần tử dòng chảy theo phương y và z được xác định:

$$- \frac{\partial q_y}{\partial y} \delta x \delta y \delta z \quad \text{và} \quad - \frac{\partial q_z}{\partial z} \delta x \delta y \delta z \quad (2.16b,c)$$

Tổng nhiệt lượng phần tử dòng chảy nhận được trong quá trình trao đổi nhiệt (trên một đơn vị thể tích) là tổng của (2.16a,b,c) chia cho thể tích ($\delta x \delta y \delta z$) thu được:

$$- \frac{\partial q_x}{\partial x} - \frac{\partial q_y}{\partial y} - \frac{\partial q_z}{\partial z} = - \text{div}(\mathbf{q}) \quad (2.17)$$

Đồng thời, theo Fourier, nhiệt lượng q và nhiệt độ T có mối liên hệ được thể hiện thông qua:

$$q_x = -k \frac{\partial T}{\partial x} \quad q_y = -k \frac{\partial T}{\partial y} \quad q_z = -k \frac{\partial T}{\partial z}$$

Hay viết dưới dạng véctơ

$$\mathbf{q} = -k \text{grad}(T) \quad (2.18)$$

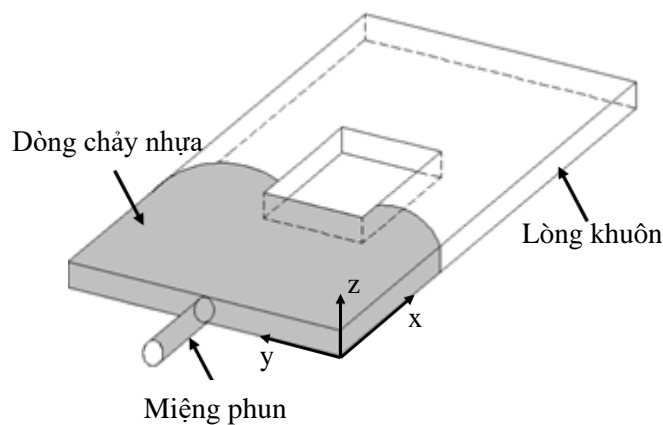
Tổng hợp (2.17) và (2.18) được dạng tổng quát của nhiệt lượng tiếp nhận bởi phần tử dòng chảy của vật liệu trong lòng khuôn trong quá trình trao đổi nhiệt với môi trường thông qua các bề mặt biên của phần tử dòng chảy.

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

Trong đó: k là hệ số dẫn nhiệt của dòng chảy vật liệu phụ thuộc vào cấu tạo vật liệu, nhiệt độ, áp suất, ..., ($k = 0,08 - 0,7 \text{ W/m}^\circ\text{C}$)

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

Để mô tả khả năng chảy của vật liệu composite trong lòng khuôn, mô hình dòng chảy với lòng khuôn được xem xét như hình 2.10. Khi nghiên cứu trạng thái cân bằng và chuyển động cơ học của dòng chảy vật liệu trong lòng khuôn, cấu trúc phần tử của dòng chảy sẽ được bỏ qua, các tính chất cơ lý của dòng chảy sẽ được xem xét như: vận tốc, áp suất, tỉ trọng, nhiệt độ và sự phân bố trong không gian. Các đại lượng này được biểu diễn bằng các hàm liên tục và được xem là giá trị trung bình đủ lớn của các phần tử. Phần tử nhỏ nhất của dòng chảy trong đó tính chất vĩ mô không bị ảnh hưởng bởi các cấu trúc phần tử được gọi là phần tử dòng chảy.



Hình 2.10: Mô tả dòng chảy nhựa trong lòng khuôn phun ép

Xét một phần tử dòng chảy có các cạnh là δx , δy , δz (hình 2.9) và song song với các trục tọa độ [50]. Có thể xem các phần tử dòng chảy của vật liệu trong lòng khuôn là đủ nhỏ để các đặc tính tại các tiết diện bề mặt của phần tử khối có thể biểu diễn với độ chính xác bằng hai số hạng đầu của dãy khai triển Taylor.

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

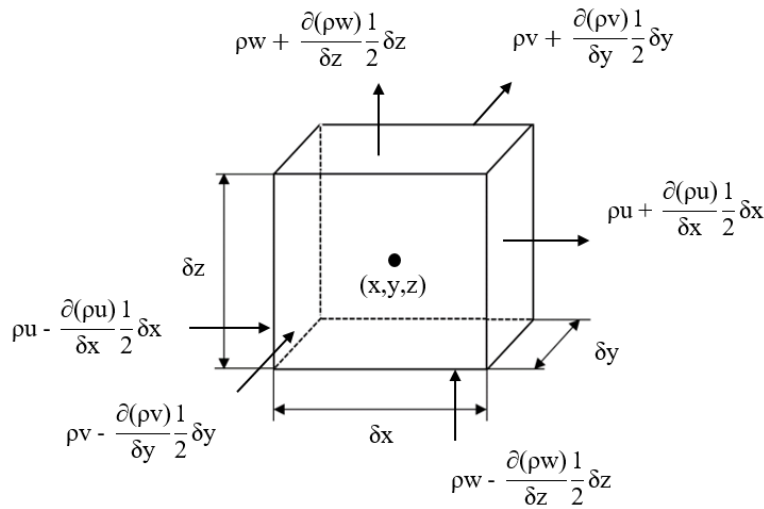
Theo nguyên lý bảo toàn khối lượng trong hệ tọa độ Đề các, trong phép vi phân phương trình bảo toàn khối lượng, ta có:

Lượng gia tăng khối lượng trong phần tử dòng chảy	=	Khối lượng thực tế được nhận vào phần tử dòng chảy
--	---	---

Lượng gia tăng khối lượng trong phần tử dòng chảy được biểu diễn:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \delta x \delta y \delta z) = \frac{\partial \rho}{\partial t} \delta x \delta y \delta z \quad (2.20)$$

Xét khối lượng dòng chảy đi ngang qua các mặt biên của phần tử (hình 2.11):



Hình 2.11: Khối lượng dòng chảy đi vào và ra phần tử dòng chảy

Tích của khối lượng riêng, diện tích và thành phần vận tốc thẳng góc với bề mặt biên. Khối lượng trong phần tử của dòng chảy bằng tổng khối lượng dòng chảy đi ngang qua các bề mặt giới hạn của phần tử đó. Trong đó, khối lượng thực tế phần tử là:

$$\left(\rho u - \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} \frac{1}{2} \delta x\right) \delta y \delta z - \left(\rho u + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} \frac{1}{2} \delta x\right) \delta y \delta z \quad (2.21)$$

$$\begin{aligned}
& + \rho v - \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} \frac{1}{2} \delta y) \delta x \delta z - (\rho v + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y}) \delta x \delta z \\
& + (\rho w - \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} \frac{1}{2} \delta z) \delta x \delta y - (\rho w + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z}) \delta x \delta y
\end{aligned}$$

Dòng chảy đi vào tăng khối lượng phần tử (+), đi ra khỏi phần tử (-).

Từ điều kiện cân bằng khối lượng, ta có lượng tăng khối lượng (2.20) bằng tổng khối lượng dòng chảy đi ngang qua bề mặt biên của phần tử dòng chảy (2.21). Cân bằng (2.20) và (2.21), chuyển vế và chia 2 vế cho $\delta x \delta y \delta z$ ta được:

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

$\text{div}(\rho \mathbf{u})$: Lượng thay đổi của khối lượng dòng chảy (thành phần đổi lưu)

Phương trình (2.22) là phương trình bảo toàn khối lượng hay phương trình liên tục dạng tổng quát của dòng chảy không ổn định trong hệ tọa độ ba chiều.

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

Gọi Φ là giá trị các đại lượng biến đổi các đặc tính của phần tử dòng chảy trên một đơn vị khối lượng, phần tử dòng chảy là hàm số của tọa độ (x, y, z) và thời gian t . Giá trị của các đại lượng này được xác định [50]:

$$\rho \frac{D\Phi}{Dt} = \frac{\partial(\rho\Phi)}{\partial t} + \text{div}(\rho\Phi \mathbf{u}) \quad (2.23)$$

Theo (2.23), để xây dựng ba thành phần của phương trình động lượng tương ứng theo phương x, y, z thông qua lượng biến đổi Φ trên một đơn vị thể tích, ta có:

Động lượng theo phương x :

$$\rho \frac{Du}{Dt} = \frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \text{div}(\rho u \mathbf{u}) \quad (2.24)$$

Động lượng theo phương y :

$$\rho \frac{Dv}{Dt} = \frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \text{div}(\rho v \mathbf{u}) \quad (2.25)$$

Động lượng theo phương z :

$$\rho \frac{Dw}{Dt} = \frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \text{div}(\rho w \mathbf{u}) \quad (2.26)$$

$$\text{Với: } \frac{dx}{dt} = u, \quad \frac{dy}{dt} = v, \quad \frac{dz}{dt} = w \quad (2.27)$$

Mặt khác, theo định luật hai Newton: Lượng biến đổi động lượng của phần tử dòng chảy theo thời gian bằng tổng các lực tác dụng lên phần tử dòng chảy đó, được xác định với các cạnh $\delta x, \delta y, \delta z$ là:

$$\rho \frac{Du}{Dt} \delta x, \delta y, \delta z, \quad \rho \frac{Dv}{Dt} \delta x, \delta y, \delta z, \quad \rho \frac{Dw}{Dt} \delta x, \delta y, \delta z \quad (2.28)$$

Lực tác dụng lên phần tử bao gồm: lực bề mặt (lực ma sát, áp lực, ...) và lực khối lượng (trọng lực, lực quán tính, ...).

Phương trình động lượng trên một đơn vị thể tích theo x, y, z [41].

$$\rho \frac{Du}{Dt} = \frac{\partial (-p + \tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} + S_{Mx} \quad (2.29)$$

$$\rho \frac{Dv}{Dt} = \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial (-p + \tau_{yy})}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} + S_{My} \quad (2.30)$$

$$\rho \frac{Dw}{Dt} = \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial (-p + \tau_{zz})}{\partial z} + S_{Mz} \quad (2.31)$$

S_{Mx}, S_{My}, S_{Mz} : biểu thức nguồn của lực khối lượng theo phương x, y, z .

p : Lực bề mặt áp suất.

τ_{ij} : Lực bề mặt ứng suất nhớt

Theo giả thiết của Newton, $\tau_{xx}, \tau_{yy}, \tau_{zz}$ là hàm của vận tốc biến dạng dài:

$$\tau_{xx} = 2\mu \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{2}{3}\mu \operatorname{div} \mathbf{u}, \quad \tau_{yy} = 2\mu \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{2}{3}\mu \operatorname{div} \mathbf{u}, \quad (2.32)$$

$$\tau_{zz} = 2\mu \frac{\partial w}{\partial z} - \frac{2}{3}\mu \operatorname{div} \mathbf{u}$$

Với vận tốc biến dạng góc bé, các ứng suất ma sát được tính:

$$\tau_{xy} = \tau_{yx} = \mu \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right), \quad \tau_{yz} = \tau_{zy} = \mu \left(\frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} \right) \quad (2.33)$$

$$\tau_{xz} = \tau_{zx} = \mu \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right)$$

Thay các biểu thức (2.32, 2.33) vào (2.29, 2.30, 2.31), thực hiện phép biến đổi ta được hệ phương trình Navie-Stokes về chuyển động của dòng chảy:

$$\rho \frac{Du}{Dt} = - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) + \frac{\mu}{3} \frac{\partial \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right)}{\partial x} + S_{Mx} \quad (2.34)$$

$$\rho \frac{Dv}{Dt} = - \frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) + \frac{\mu}{3} \frac{\partial \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right)}{\partial y} + S_{My} \quad (2.35)$$

$$\rho \frac{Dw}{Dt} = - \frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) + \frac{\mu}{3} \frac{\partial \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right)}{\partial z} + S_{Mz} \quad (2.36)$$

Để đơn giản hóa phương trình động lượng của dòng chảy, gọi s_M là biểu thức nguồn phát sinh gồm hai biểu thức ít ảnh hưởng đến phương trình, cụ thể:

$$\begin{aligned} s_{Mx} &= \frac{\mu}{3} \frac{\partial \left(\frac{du}{dx} + \frac{dv}{dy} + \frac{dw}{dz} \right)}{\partial x} + S_{Mx} \\ s_{My} &= \frac{\mu}{3} \frac{\partial \left(\frac{du}{dx} + \frac{dv}{dy} + \frac{dw}{dz} \right)}{\partial y} + S_{My} \\ s_{Mz} &= \frac{\mu}{3} \frac{\partial \left(\frac{du}{dx} + \frac{dv}{dy} + \frac{dw}{dz} \right)}{\partial z} + S_{Mz} \end{aligned} \quad (2.37)$$

Từ đó hệ phương trình Navie-Stoker có thể viết:

$$\rho \frac{Du}{Dt} = - \frac{\partial p}{\partial x} + \text{div} [\mu \text{grad} (\mathbf{u})] + s_{Mx} \quad (2.38)$$

$$\rho \frac{Dv}{Dt} = - \frac{\partial p}{\partial y} + \text{div} [\mu \text{grad} (\mathbf{v})] + s_{My} \quad (2.39)$$

$$\rho \frac{Dw}{Dt} = - \frac{\partial p}{\partial z} + \text{div} [\mu \text{grad} (\mathbf{w})] + s_{Mz} \quad (2.40)$$

Dùng các phép biến đổi ta được phương trình cân bằng nội năng như sau:

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

Trong đó, Φ là hàm phân tán, biểu diễn nguồn nội năng do công biến dạng của các phần tử dòng chảy, được xác định:

$$\Phi = \mu \left[2 \left[\left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial z} \right)^2 \right] + \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right)^2 - \frac{2}{3} \text{div} (\mathbf{u}) \right] \quad (2.42)$$

Trong đó, μ là độ nhớt của vật liệu trong dòng chảy.

Ảnh hưởng của nhiệt độ đến độ nhớt được xác định thông qua mối quan hệ

$$\mu_0(T) = a_T \mu_0(T_0) \quad (2.43)$$

μ_0 : độ nhớt ứng với tại thời điểm ban đầu nhiệt độ T_0 và tại thời điểm nhiệt độ T .

Độ nhớt với các nhiệt độ và tốc độ trượt ($\dot{\gamma}$) khác nhau được biểu thị bằng độ nhớt ở nhiệt độ tham chiếu thông qua hệ số a_T [52,53]:

$$a_T = \frac{\mu(T, \dot{\gamma})}{\mu(T_0, \dot{\gamma} \cdot a_T)} \quad (2.44)$$

Mặt khác, theo Cross-William-Landel-Ferry, hệ số a_T được xác định [2, 41]:

$$\log a_T = -\frac{C_1 (T - T_0)}{(T - T_0) + C_2} \quad \text{với hằng số } C_1, C_2 \text{ đã được xác định} \quad (2.45)$$

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

Theo nguyên lý bảo toàn năng lượng, ta có lượng biến đổi năng lượng của phần tử dòng chảy bằng tổng lượng nhiệt mà phần tử dòng chảy tiếp nhận trong quá trình trao đổi nhiệt. Công do các lực bề mặt sinh ra trong phần tử dòng chảy và biểu thức nguồn năng lượng S_E phát sinh trong phần tử dòng chảy. Phương trình năng lượng có dạng:

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

Trong thực tế, do $E = i + \frac{u^2 + v^2 + w^2}{2}$, do đó thường kết hợp với phương trình bảo toàn động năng để rút ra phương trình của nội năng (i) hay của nhiệt độ (T)

2.9.4. Hệ phương trình cơ bản chuyển động của dòng chảy

Từ các phương trình về bảo toàn khối lượng, động lượng, năng lượng và phương trình trạng thái, ta xác định được hệ phương trình cơ bản về chuyển động của dòng chảy composite nhựa nhiệt dẻo trong lòng khuôn phun ép dạng vi phân cụ thể:

Phương trình bảo toàn khối lượng:

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

Phương trình bảo toàn động lượng theo phương x:

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

Phương trình bảo toàn động lượng theo phương y:

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

Phương trình bảo toàn động lượng theo phương z:

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

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: t là thời gian, \mathbf{u} là véc tơ vận tốc, i là nội năng, ρ là khối lượng riêng, p là áp suất, T là nhiệt độ.

Từ hệ phương trình cơ bản. Gọi Φ là ký hiệu cho các đại lượng vô hướng. Các phương trình bảo toàn dòng chảy có dạng tổng quát như sau [52]:

$$\frac{\partial(\rho \Phi)}{\partial t} + \text{div}(\rho \Phi \mathbf{u}) = \text{div}[\Gamma \text{grad}(\Phi)] + S_\Phi \quad (2.53)$$

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

Phương trình (2.53) là phương trình biến đổi đặc tính Φ của dòng chảy, về trái là biểu thức thay đổi đặc tính Φ theo thời gian và thông lượng đối lưu, về phải là biểu thức khuếch tán và nguồn phát sinh.

Tích phân (2.53) trên thể tích kiểm tra trong hệ tọa độ Đề các, ta được [48]:

$$\int_v \frac{\partial(\rho \Phi)}{\partial t} dV + \int_v \text{div}(\rho \Phi \mathbf{u}) dV = \int_v \text{div}[\Gamma \text{grad}(\Phi)] + \int_v S_\Phi dV \quad (2.54)$$

Theo (2.54) thành phần đối lưu (về trái biểu thức thứ hai) và thành phần khuếch tán (về phải biểu thức thứ nhất), định lý về Divergent của Gaoxo-Ôstrogratxki dưới dạng tích phân trên diện tích bề mặt giới hạn kín của lòng khuôn phun ép.

$$\int_v \text{div} \mathbf{f} = \int_s \mathbf{n} \cdot \mathbf{f} dS \quad (2.55)$$

$\mathbf{n} \cdot \mathbf{f}$ là thành phần của véc tơ \mathbf{f} theo hướng của véc tơ đơn vị \mathbf{n} vuông góc với diện tích phân bố dS . Áp dụng định lý Gaoxo-Ôstrogratxki với (2.54) ta có:

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

Phương trình (2.56) là phương trình trạng thái cân bằng của các đặc tính dòng chảy trong lòng khuôn phun ép với vật liệu nhựa nhiệt dẻo composite.

Điều kiện biên các phương trình dòng chảy

Trong bài toán dòng chảy, các điều kiện biên đưa vào các phương trình tính toán được xây dựng trên cơ sở thực tế tự nhiên của dòng chảy, được thể hiện [47,52]:

- 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): Vận tốc của các phân tử nhựa tại bề mặt tấm insert lòng khuôn bằng với vận tốc tấm insert khuôn, trong trường hợp này, do tấm insert khuôn đứng yên trong quá trình nhựa điền đầy lòng khuôn nên $\mathbf{u} = 0$.
 - $T = T_w$ (nhiệt độ xác định) là nhiệt độ bề mặt lòng khuôn
 - + Tại biên vùng khảo sát: u, T được biết như hàm vị trí

2.10. Phương trình mô phỏng gia nhiệt lòng khuôn

Dòng chảy vật liệu trong nghiên cứu của luận án cho thấy tồn tại một giá trị Reynolds giới hạn (Re_{ghd} , với $Re = uh/v$, trong đó u, h và v là thành phần vận tốc, chiều dày dòng chảy, độ nhớt của vật liệu).

Trong luận án này, do dòng khí là chảy rối nên sử dụng mô phỏng là mô hình $k-\varepsilon$ tiêu chuẩn [47,52], là mô hình chảy rối phổ biến, tập trung vào cơ cấu gây ảnh hưởng tới động năng rối. Mô hình $k-\varepsilon$ chính tắc là mô hình hai phương trình, một phương trình cho động năng rối k và một phương trình cho độ tiêu tán rối ε [52].

Theo hệ phương trình Navie-Stokes tức thời, nhân mỗi phương trình với thành phần vận tốc dao động thích hợp, đồng thời thực hiện một số phép biến đổi nhận được phương trình động năng rối k [52]. Ta có:

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \text{div}(\rho k \mathbf{u}) = \text{div}(-\overline{p' \mathbf{u}'} + 2\overline{\mu \mathbf{u}' e'_{ij}} - \rho \frac{1}{2} \overline{u'_i u'_i u'_j}) - 2\overline{\mu e'_{ij} e'_{ij}} - \rho \overline{u'_i u'_j} E_{ij} \quad (2.57)$$

Trong đó: $-\rho \overline{u'_i u'_j}$ là ứng suất Reynolds, E_{ij} : gradient vận tốc trung bình, $-2\overline{\mu e'_{ij} e'_{ij}}$: số hạng tiêu tán động năng rối do lực nhớt.

Độ phân tán động năng rối trên một đơn vị khối lượng (m^2/s^3) được biểu thị:

$$\varepsilon = 2 \nu \overline{e'_{ij} e'_{ij}} \quad (2.58)$$

Biểu thức (2.58) là thành phần phá hủy chính. Thực tế, khi số Reynolds cao, biến đổi k do ứng suất nhớt (2.57) luôn nhỏ hơn nhiều so với số hạng tiêu tán rối.

Một số giả thiết trong xây dựng các phương trình trong mô hình k-ε:

- Ứng suất Reynolds xác định thông qua mối liên hệ Boussinesq mở rộng:

$$-\overline{\rho u_i u_j} = \mu_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij} \quad (2.59)$$

δ_{ij} hệ số Kronecker delta; $\delta_{ij} = 1$ khi $i = j$ và $\delta_{ij} = 0$ khi $i \neq j$

$(-\frac{2}{3}) \rho k \delta_{ij}$ Động năng rối của một thành phần ứng suất Reynolds pháp

- Hệ số nhớt rối xác định theo phương pháp tương tự mô hình chiều dài xáo trộn:

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (2.60)$$

- Trong biểu thức (2.57) số hạng biến đổi động năng rối do ứng suất nhớt ($2\overline{\mu u_i' e_{ij}'}$) là rất nhỏ so với số hạng tiêu tán rối nên có thể bỏ qua. Số hạng biến đổi động năng rối do áp suất ($-\overline{p'u}$) và số hạng biến đổi k do ứng suất Reynolds được đánh giá chung bởi biểu thức khuếch tán, bằng phép biến đổi ta có:

$$\rho \frac{1}{2} \overline{u_i' u_i' u_j'} = \Gamma_t \frac{\partial k}{\partial x_j} \quad (2.61)$$

Hệ số $\Gamma_t = \frac{\mu_t}{\sigma_k}$ với phương trình động năng rối, $\Gamma_t = \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon}$ với phương trình ε .

- Phương trình tiêu tán động năng rối ε có dạng tương tự như phương trình động năng rối k, trong đó các số hạng tích lũy và phân tán rối của phương trình ε tỉ lệ thuận với các biểu thức tương ứng của phương trình k. Tích ($C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k}$) và ($C_{2\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k}$) được đưa vào các biểu thức tích lũy và phân tán của phương trình ε , trong đó $C_{1\varepsilon}$ và $C_{2\varepsilon}$ là các hệ số điều chỉnh.

Từ phương trình (2.57) kết hợp với các giả thiết ta được hệ phương trình trao đổi k và ε của mô hình k- ε chính tắc như sau:

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

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

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

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

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

Trong mô hình k-ε các phương trình có dạng elíp do có sự hiện diện của biểu thức gradient khuếch tán, do đó các điều kiện biên của mô hình cụ thể [52]:

- Tại miệng vào: phân bố của k và ε phải được cho trước
- Gần thành khuôn: phụ thuộc vào số Reynolds

Trong tính toán thiết kế theo mô hình k-ε, các điều kiện biên của k và ε được sử dụng theo trình tự từ các nguồn: thực nghiệm phép đo, các tài liệu công bố, phép gần đúng thô đối với phân bố của k và ε ở tiết diện đầu vào thông qua cường độ rối T_i và chiều dài đặc trưng L của thiết bị, hoặc từ các biểu thức thực nghiệm đơn giản:

$$k = \frac{3}{2} (U_r T_i)^2; \quad \varepsilon = C_\mu^{\frac{3}{4}} \frac{k^{\frac{3}{2}}}{l}; \quad l = 0.07 L$$

Trong đó: U_r là vận tốc danh nghĩa của dòng khí

Trường hợp lớp biên gần thành khuôn, sử dụng biểu thức tổng quát về sự phân bố nhiệt độ với dòng khí có số Reynolds lớn sau:

$$T^+ = - \frac{(T_p - T_w) C_p \rho U_\tau}{q_w} = \sigma_{T,t} \left[U^+ + P \left(\frac{\sigma_{T,l}}{\sigma_{T,t}} \right) \right] \quad (2.64)$$

T_p : nhiệt độ quanh y_p gần thành khuôn, T_w : nhiệt độ thành khuôn, Q_w : nhiệt lượng riêng thành khuôn, C_p : nhiệt dung riêng đẳng áp, $\sigma_{T,t}$: số rối của Prandtl, $\sigma_{T,l}$: số Prandtl; $\sigma_{T,l} = \frac{\mu C_p}{\Gamma_T}$, Γ_T : nhiệt dẫn xuất, P: hàm hiệu chỉnh phụ thuộc tỉ lệ số Prandtl

Trường hợp lớp biên có số Reynolds nhỏ, các phương trình của k-ε được thay thế bởi các phương trình hiệu chỉnh như sau:

$$\mu_t = \rho C_\mu f_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (2.65)$$

$$\frac{\partial(\rho K)}{\partial t} + \text{div}(\rho k \mathbf{u}) = \text{div} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \text{grad } k \right] + 2\mu_t E_{ij} E_{ij} - \rho \varepsilon \quad (2.66)$$

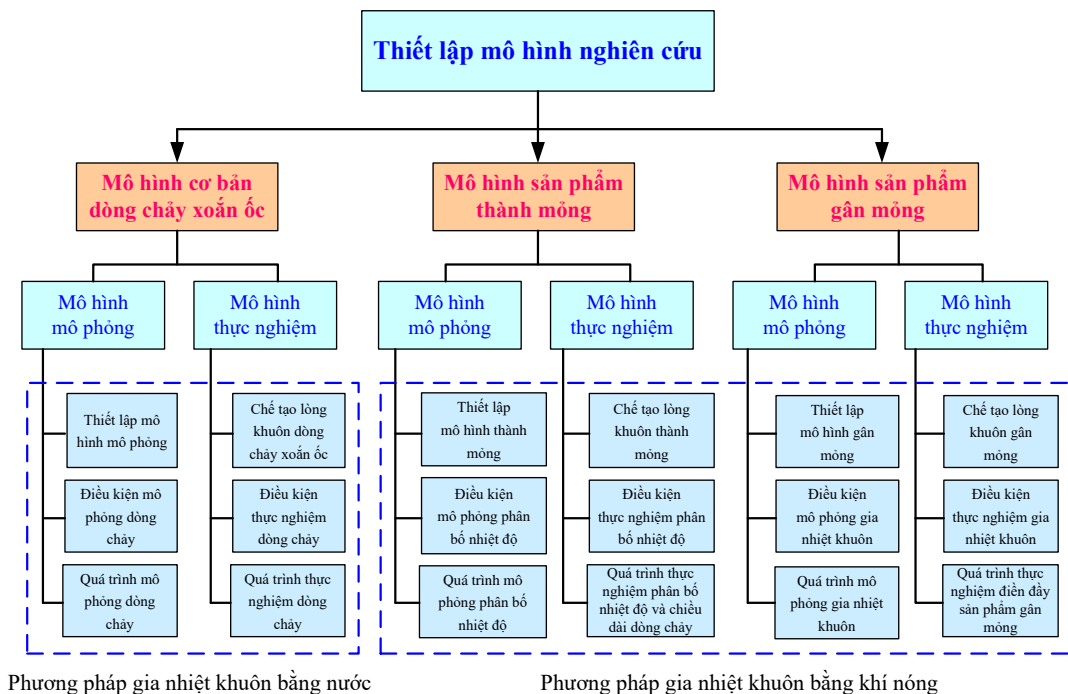
$$\frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + \text{div}(\rho \varepsilon \mathbf{u}) = \text{div} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \text{grad } \varepsilon \right] + C_{1\varepsilon} f_1 2\mu_t E_{ij} E_{ij} - C_{2\varepsilon} f_2 \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (2.67)$$

Các phương trình hiệu chỉnh trên có tính tổng quát bao gồm việc đưa thêm hệ số nhót vào số hạng tiêu tán rối. Các hằng số C_μ , $C_{1\varepsilon}$ và $C_{2\varepsilon}$ trong mô hình k-ε được nhân với các hàm số f_1 , f_2 là các hàm số của số Reynolds rối.

Chương 3

NGHIÊN CỨU XÂY DỰNG MÔ HÌNH MÔ PHÒNG VÀ THỰC NGHIỆM

Để xác định mức độ ảnh hưởng của nhiệt độ khuôn đến khả năng điền đầy composite nhựa nhiệt dẻo trong phun ép, mô hình mô phỏng và thực nghiệm đã được thiết lập như hình 3.1. Trong đó, quá trình nghiên cứu được tiến hành thông qua ứng dụng phần mềm ANSYS và Moldex3D để mô phỏng, đồng thời thực nghiệm với lòng khuôn và hệ thống gia nhiệt được chế tạo trong nghiên cứu này.



Hình 3.1: Sơ đồ thiết lập mô hình nghiên cứu

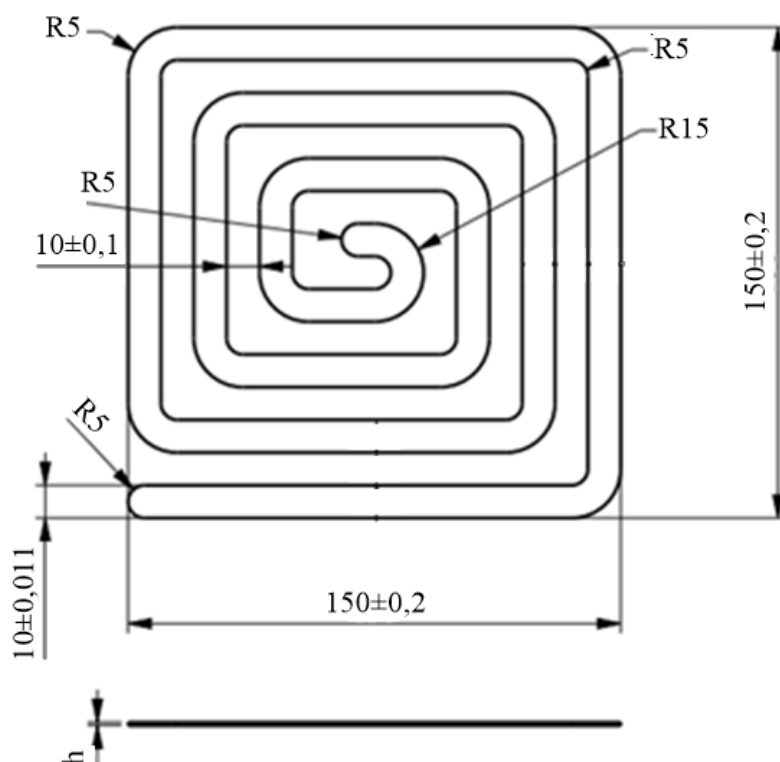
3.1. Mô hình cơ bản dòng chảy xoắn ốc

3.1.1. Mô hình mô phỏng

3.1.1.1. Thiết lập mô hình dòng chảy

Trong lĩnh vực tạo hình sản phẩm composite bằng công nghệ phun ép, quá trình phân tích khả năng chảy của vật liệu trong lòng khuôn đóng vai trò khá quan trọng. Trong nghiên cứu này, mô hình mô phỏng được thiết lập để phân tích ảnh

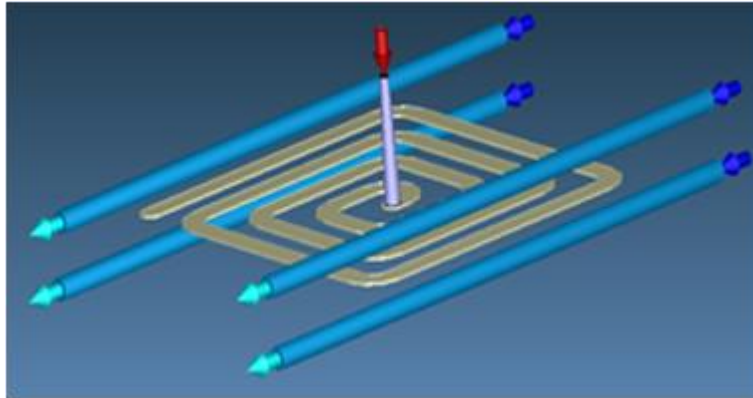
hưởng của nhiệt độ khuôn đến chiều dài dòng chảy là mô hình cơ bản dòng chảy xoắn ốc như hình 3.2. Với mô hình này, nhựa sẽ được phun trực tiếp vào lòng khuôn thông qua miệng phun được thiết kế tại tâm lòng khuôn, vì vậy sẽ hạn chế được hiện tượng mất áp khi tạo hình sản phẩm. Đồng thời, lòng khuôn được thiết kế dạng hình xoắn ốc nhằm tối đa chiều dài dòng chảy có thể khảo sát, do đó quá trình khảo sát ảnh hưởng của nhiệt độ khuôn đến chiều dài dòng chảy sẽ rõ ràng hơn.



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

Để khảo sát dòng chảy vật liệu ứng với các chiều dày sản phẩm khác nhau, mô hình mô phỏng cũng được xây dựng với các chiều dày thông dụng h lần lượt là: 0,5 mm, 0,75 mm, 1 mm và chiều rộng 10 mm với dung sai kích thước được chọn theo cấp chính xác 8. Việc lựa chọn ba mô hình nghiên cứu có kích thước h khác nhau nhằm thể hiện sự khác biệt rõ rệt mức độ ảnh hưởng của nhiệt độ khuôn đến chiều dài dòng chảy ứng với từng kích thước chiều dày sản phẩm thay đổi.

Từ kích thước mô hình sản phẩm nghiên cứu, mô hình mô phỏng sử dụng bốn kênh gia nhiệt với lưu chất là nước đã được thiết lập thể hiện như hình 3.3.



Hình 3.3: Mô hình mô phỏng chiều dài dòng chảy bốn kênh gia nhiệt nước

3.1.1.2. Điều kiện mô phỏng dòng chảy

Quá trình mô phỏng chiều dài dòng chảy với mô hình cơ bản dòng chảy xoắn ốc thông qua ảnh hưởng của nhiệt độ khuôn được thực hiện với các điều kiện liên quan thể hiện như bảng 3.1. Trong đó, vật liệu khảo sát là vật liệu composite nền nhựa nhiệt dẻo PA6 với tỉ lệ sợi thủy tinh thay đổi từ 0 % đến 30 %, đây là loại vật liệu có giá thành phù hợp, phổ biến trên thị trường và ứng dụng trong nhiều lĩnh vực. Nhiệt độ khuôn được lựa chọn là tương ứng với vùng nhiệt độ của phương pháp gia nhiệt bằng nước, đây là vùng nhiệt độ thông dụng được sử dụng trong công nghiệp phun ép nhựa. Đồng thời, nhiệt độ nóng chảy nhựa cũng được lựa chọn 260 °C, đây là giá trị lựa chọn theo khuyến cáo của nhà sản xuất, áp suất phun 30 Kg/cm² là giá trị thông dụng của máy phun ép trong quá trình tạo hình sản phẩm.

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

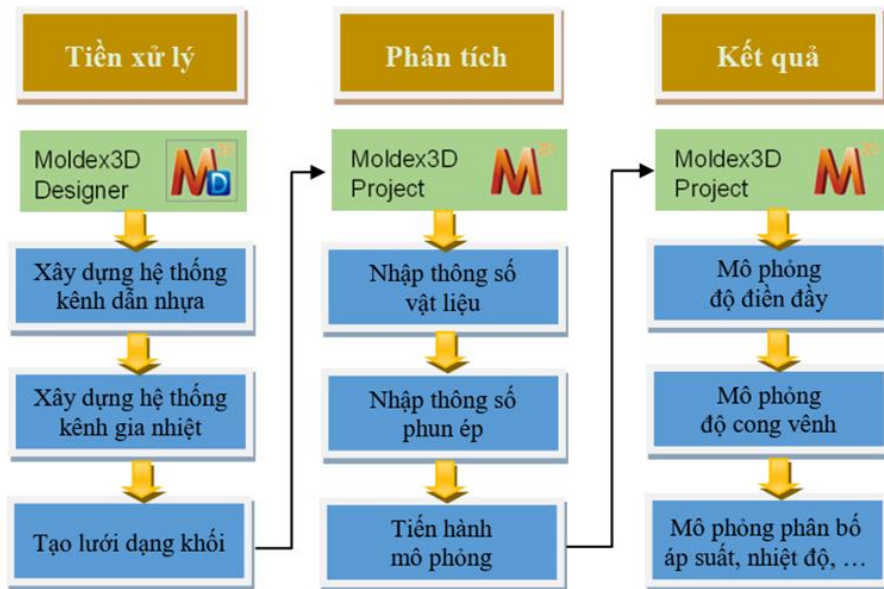
TT	Thông số mô phỏng	Giá trị
1	Tỉ lệ sợi của vật liệu composite	0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%
2	Nhiệt độ khuôn	30 °C, 50 °C, 70 °C, 90 °C, 110 °C
3	Chiều dày lòng khuôn	0,5 mm, 0,75 mm và 1 mm
4	Nhiệt độ nóng chảy nhựa	260 °C
5	Áp suất phun	30 Kg/cm ²
6	Thời gian phun ép	1 s

3.1.1.3. Quá trình mô phỏng dòng chảy

Trong nghiên cứu này, phần mềm Moldex3D được ứng dụng để tiến hành mô phỏng chiều dài dòng chảy bởi các lý do sau: Tính năng chính của Moldex3D là mô phỏng dòng chảy của nhựa trong lòng khuôn nên rất thuận tiện và hiệu quả trong phân tích, đánh giá ảnh hưởng của nhiệt độ khuôn đến chiều dài dòng chảy. Đồng thời, trong quá trình thực hiện được hỗ trợ bản quyền từ công ty (phụ lục 3).

Để mô phỏng chiều dài dòng chảy, mô đun filling của Moldex3D được ứng dụng để tính toán và mô phỏng trên cơ sở phương trình mô tả trạng thái cân bằng đặc tính dòng chảy nhựa (phương trình 2.56) đã được trình bày chi tiết trong chương 2 mục 2.9.

Với mô hình và các điều kiện mô phỏng đã được thiết lập, quá trình mô phỏng chiều dài dòng chảy có sử dụng bước gia nhiệt thể tích khuôn bằng nước được tiến hành như hình 3.4 thông qua ba giai đoạn như sau:

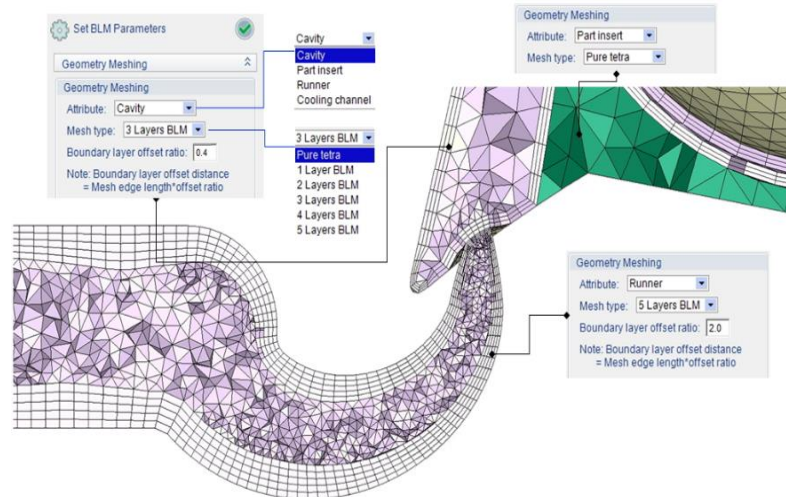


Hình 3.4: Quá trình mô phỏng ứng dụng phần mềm Moldex3D

✚ Giai đoạn 1 - Tiền xử lý

Trong giai đoạn này, mô hình 3D của mẫu sản phẩm đã được thiết kế trên phần mềm Creo V5, sau đó nhập vào mô đun Moldex3D Designer. Trong môi trường Moldex3D Designer, hệ thống kênh dẫn nhựa, kênh làm mát, lòng khuôn được thiết

lập. Tiếp đến, tiến hành chia lưới mẫu sản phẩm với tùy chọn chia lưới BLM (Boundary Layer Mesh) như hình 3.5. BLM là một trong những công nghệ chia lưới phù hợp nhất trong ứng dụng CAE đối với dòng chảy trong khuôn phun ép.



Hình 3.5: Mặt cắt thể hiện vùng chia lưới bên trong mô hình [50]

Để bảo đảm quá trình mô phỏng có giá trị đáng tin cậy, theo thực nghiệm của phần mềm Moldex3D. Những thông số của BLM như là kích thước lưới, số lớp lưới và hệ số độ lệch có thể được thay đổi riêng lẻ tùy theo từng khu vực. Bộ công cụ chia lưới mạnh mẽ cho phép người dùng có thể sử dụng nhiều loại lưới khác nhau cho từng thuộc tính của chi tiết trong khuôn như là lòng khuôn, tấm insert, kênh dẫn nhựa và kênh làm mát. Các loại lưới được hỗ trợ bên trong Designer BLM bao gồm lưới dạng Tetra và từ 1 - 5 lớp lưới BLM. Ở chế độ mặc định, chương trình sẽ định ra kích thước lưới phù hợp để tạo lưới bề mặt. Một lưới lăng trụ gồm 3 lớp sẽ được tạo ra bên trong từ bề mặt lưới và sau đó điền đầy khoảng không gian còn lại với lưới tứ diện. Kết quả, lưới dạng khối với ít nhất 7 lớp xuyên suốt chiều dày mô hình và có thể tăng lên tới 11 lớp dành cho những yêu cầu có độ chính xác cao.

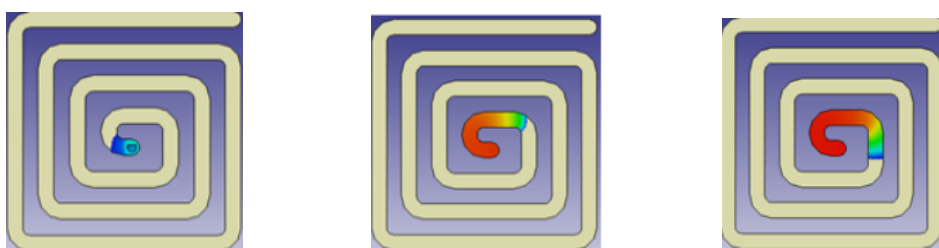
Giai đoạn 2 - Phân tích

Tiếp tục thực hiện quá trình mô phỏng trên mô đun Moldex3D Project. Trong phần mềm Moldex3D, mô đun Moldex3D Project như là một cầu nối giữa người dùng và phương pháp giải bài toán mô phỏng, cung cấp kết quả với nhiều lựa chọn

khác nhau. Trong nghiên cứu này, loại vật liệu và thông số phun ép được thiết lập dựa vào bảng 3.1 và tiến hành mô phỏng về độ điền đầy thông qua chiều dài dòng chảy ứng với từng loại vật liệu, chiều dày dòng chảy và nhiệt độ khuôn khác nhau.

Giai đoạn 3 - Kết quả mô phỏng

Kết thúc quá trình mô phỏng, một số kết quả có thể hiển thị như độ điền đầy, độ cong vênh, phân bố áp suất,... Tuy nhiên, trong giới hạn nghiên cứu, chỉ kết quả mô phỏng về độ điền đầy (chiều dài dòng chảy) được lựa chọn để phân tích (Chương 4). Kết quả mô phỏng được ghi nhận có dạng như hình 3.6, đồng thời được thể hiện đầy đủ hình dạng và kích thước cho tất cả các trường hợp mô phỏng như phụ lục 1.

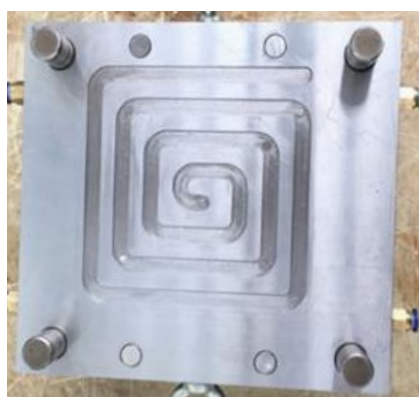


Hình 3.6: Một số kết quả mô phỏng chiều dài dòng chảy lòng khuôn xoắn ốc

3.1.2. Mô hình thực nghiệm:

3.1.2.1. Chế tạo lòng khuôn dòng chảy xoắn ốc

Để thu thập giá trị thực nghiệm chiều dài dòng chảy của quá trình phun ép với lòng khuôn dòng chảy xoắn ốc, bộ khuôn với các giá trị chiều dày dòng chảy lần lượt là 0,5 mm, 0,75 mm và 1 mm đã được chế tạo. Trong đó, hình dạng lòng khuôn thực nghiệm được thể hiện như hình 3.7.



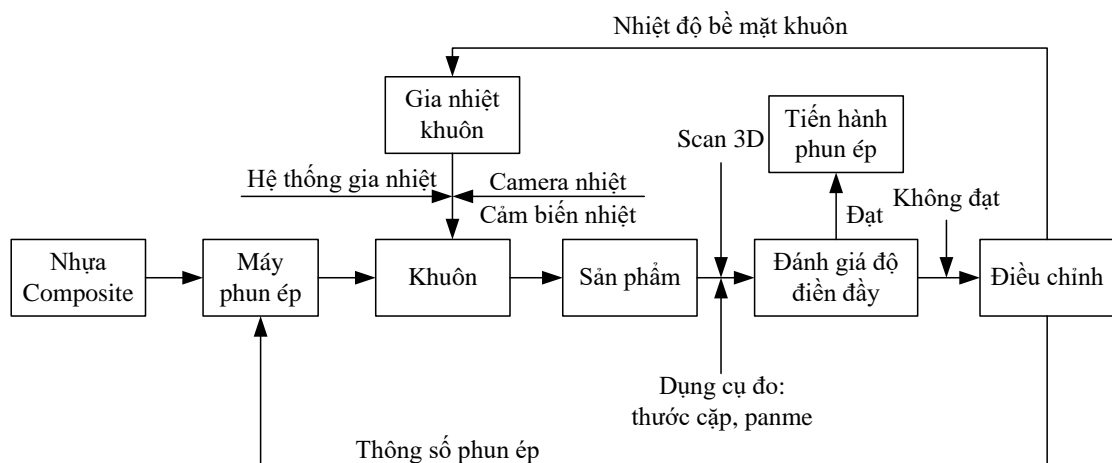
Hình 3.7: Lòng khuôn thực nghiệm dòng chảy xoắn ốc

3.1.2.2. Điều kiện thực nghiệm dòng chảy

Tương tự như quá trình mô phỏng, thực nghiệm xác định chiều dài dòng chảy composite nhựa nhiệt dẻo trong lòng khuôn được thực hiện với các điều kiện như bảng 3.1 và được tiến hành trên máy ép nhựa Shinewell - 120B với các thông số máy và kết nối các cụm điều khiển nhiệt độ khuôn được mô tả như sau:

a. Sơ đồ hệ thống thí nghiệm đánh giá độ điền đầy vật liệu composite

Sơ đồ hệ thống thí nghiệm đánh giá độ điền đầy của vật liệu trong phun ép được mô tả như hình 3.8. Trong đó, nhựa composite nóng chảy được phun vào lòng khuôn với nhiệt độ bề mặt khuôn đã được gia nhiệt và điều chỉnh theo giá trị nhiệt độ xác định tương ứng thông qua hệ thống gia nhiệt khuôn. Kết thúc quá trình phun ép sản phẩm được hình thành và tiến hành kiểm tra, đánh giá độ điền đầy bằng phương pháp scan 3D để kiểm tra kết quả hoặc dùng các dụng cụ đo cơ bản như thước cặp, panme, Kết quả đánh giá đối với các sản phẩm đạt yêu cầu tiến hành quy trình phun ép tương tự đối với số lượng các sản phẩm còn lại. Đối với kết quả sản phẩm không đạt tiến hành điều chỉnh nhiệt độ bề mặt khuôn, các thông số phun ép, quá trình được tiến hành và thực hiện đến khi sản phẩm đạt yêu cầu.

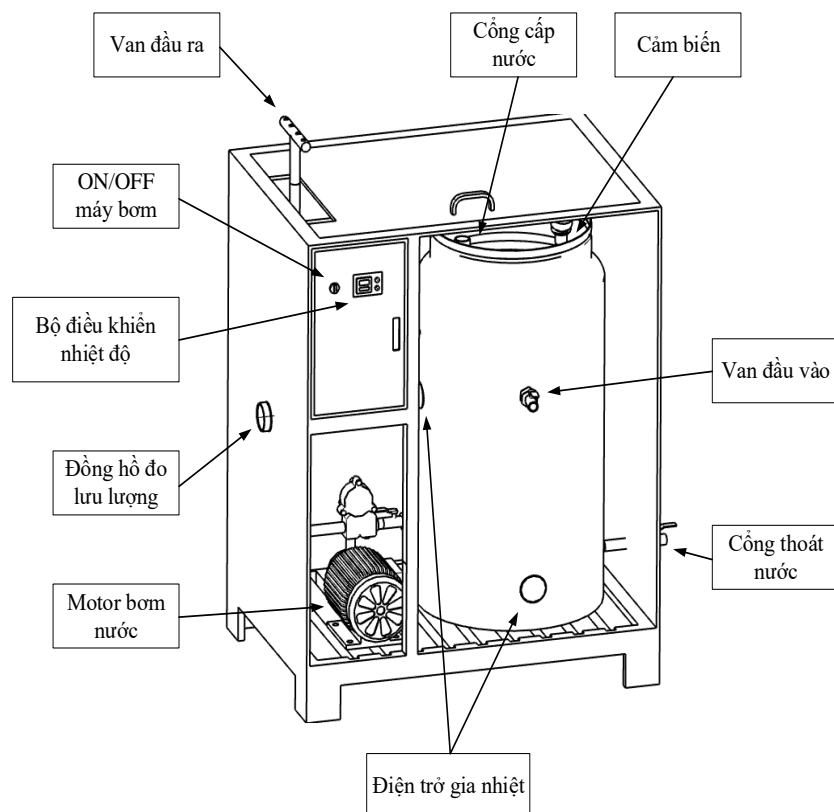


Hình 3.8: Sơ đồ hệ thống thí nghiệm đánh giá độ điền đầy của vật liệu

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

🌈 Hệ thống điều khiển nhiệt độ khuôn

Hệ thống điều khiển nhiệt khuôn thông qua lưu chất là nước và dung môi được chế tạo như hình 3.9 với ba cụm chính tách biệt nhau, thuận tiện cho vận hành, bảo trì, bảo dưỡng trong quá trình sử dụng.

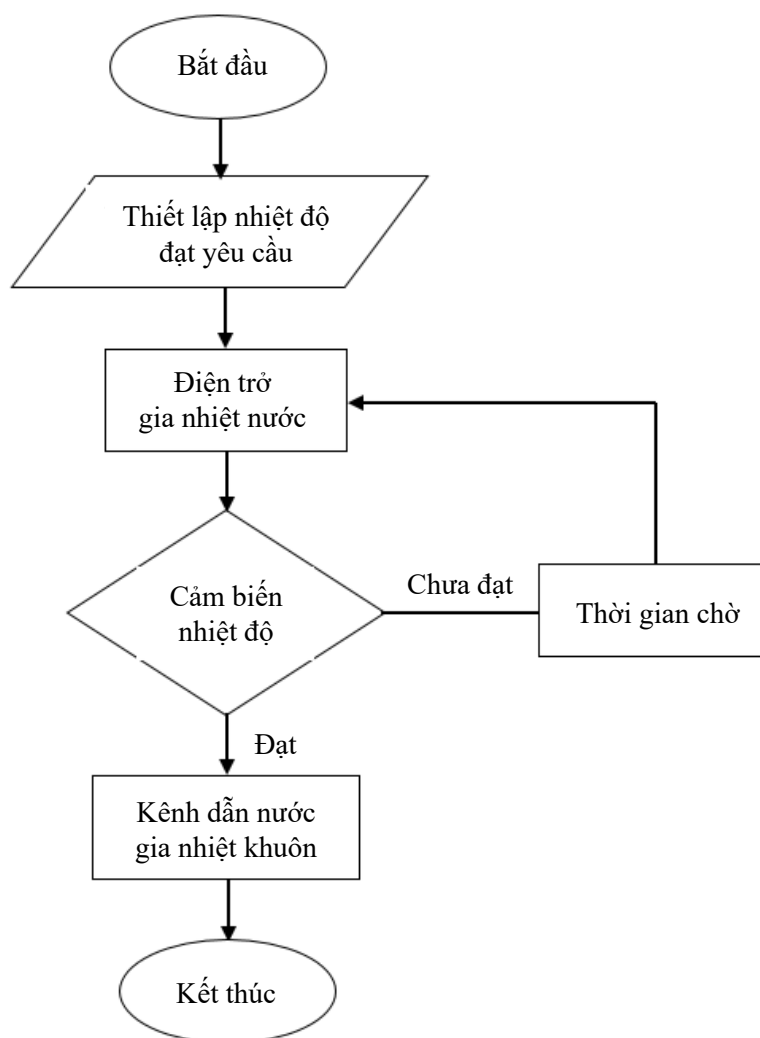


Hình 3.9: Hệ thống điều khiển nhiệt độ khuôn với kênh dẫn nước

Trong đó, cụm bồn chứa gồm các bộ phận chính như: bồn chứa nước, lớp cách nhiệt, lớp bảo vệ, cảm biến và các điện trở gia nhiệt, cụm điều khiển nhiệt độ gồm mạch điều khiển, đồng hồ hiển thị nhiệt độ cài đặt và nhiệt độ thực tế, cụm bơm gồm có mô tơ bơm nước công suất 0,975 KW, các khóa van an toàn và đồng hồ đo lưu lượng dòng chảy. Hệ thống điều khiển có khả năng nâng nhiệt độ khuôn lên đến 90 °C đối với môi chất là nước và 110 °C khi sử dụng môi chất công nghiệp Propylene Glycol (PG). Dung tích bồn chứa đạt 300 lít với lưu lượng dòng chảy lớn hơn 0,1 m³/phút.

🌈 Lưu đồ nguyên lý điều khiển nhiệt độ khuôn

Lưu đồ điều khiển nhiệt độ khuôn được mô tả như hình 3.10. Trong đó, cảm biến nhiệt độ được đặt trong bồn nước để kiểm soát nhiệt độ 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 thiết lập thì cảm biến sẽ hồi tiếp tín hiệu về mạch điều khiển để ngắt nguồn của điện trở. Cứ như vậy, điện trở sẽ hoạt động khi có sự chênh lệch nhiệt độ nước thực tế nhỏ hơn nhiệt độ cài đặt. Trong trường hợp nhiệt độ nước trong bồn lớn hơn so với nhiệt độ cài đặt của khuôn thì có thể đồng thời xả phần nước đã gia nhiệt ra ngoài và cấp lại lượng nước có nhiệt độ thấp hơn bằng nước máy hoặc kết hợp làm lạnh nước đầu vào để đẩy nhanh quá trình hạ nhiệt độ.



Hình 3.10: Lưu đồ nguyên lý điều khiển nhiệt độ khuôn bằng kênh dẫn nước

✚ Kết nối các cụm hệ thống điều khiển với khuôn phun ép

Hệ thống điều khiển nhiệt độ khuôn với kênh gia nhiệt bằng nước được kết nối với bộ khuôn trên máy Shinewell - 120B để tiến hành thực nghiệm quá trình phun ép được thể hiện như hình 3.11.



Hình 3.11: Kết nối hệ thống điều khiển nhiệt độ khuôn gia nhiệt bằng nước với bộ khuôn trên máy Shinewell - 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 thực nghiệm, mô phỏng, hoặc tính toán nhằm đảm bảo nhiệt độ khuôn chính xác. Trong nghiên cứu này, giá trị chênh lệch giữa nhiệt độ tại bồn chứa nước và nhiệt độ khuôn được xác định bằng thực nghiệm sau khoảng thời gian 600 s được thể hiện bằng bảng 3.2.

Bảng 3.2: Nhiệt độ khuôn và nhiệt độ tại bồn chứa nước

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

c. Máy ép nhựa Shinewell - 120B

Để thu thập các giá trị thực nghiệm, trong quá trình nghiên cứu máy ép nhựa Shinewell - 120B được sử dụng để tiến hành phun ép tất cả các mẫu sản phẩm. Quá trình được thực hiện tại phòng thí nghiệm khuôn mẫu khoa Cơ khí Chế tạo máy -

trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp. HCM. Thông số kỹ thuật máy phun ép nhựa Shinewell - 120B được mô tả như trong bảng 3.3.

Bảng 3.3: Thông số kỹ thuật máy phun ép nhựa Shinewell - 120B


1	Trọng lượng máy	4,5 (ton)
2	Kích thước (L x W x H)	4,8 x 1,3 x 1,65 (m)
3	Lưu lượng nước	20 (l/min)
4	Dầu thủy lực	American ESSO - 68 (350L)
5	Dầu bôi trơn	ESSO 3 - Mobil No. 3 (2L)
6	Xuất xứ	Đài Loan
7	Năm sản xuất	2018

d. Bộ khuôn thực nghiệm


	<p>+ Thông số kỹ thuật:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kích thước khuôn: 300 mm x 300 mm x 200 mm. • Độ điền đầy lòng khuôn: 100 % • Số lòng khuôn: 01 • Gia nhiệt bằng kênh dẫn nước <p>+ Công dụng: Tạo hình các sản phẩm phun ép nghiên cứu trong luận án</p>
---	--

Hình 3.12: Bộ khuôn phun ép

e. Camera đo nhiệt độ khuôn

 <p>Hình 3.13: Camera hồng ngoại Flute TiS20</p>	<p>+ Thông số kỹ thuật:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Camera kỹ thuật số: 5 MP • Dải đo: -20 °C đến 650 °C • Độ chính xác: ±2 °C • Dải phổ hồng ngoại: 7,5 ± 14 μm • Khoảng cách lấy nét tối thiểu: 0,45 m <p>+ Công dụng: Xác định nhiệt độ khuôn khi kết thúc quá trình gia nhiệt</p>
--	---

f. Máy quét mẫu 3D

 <p>Hình 3.14: Máy quét mẫu ATOS 2M</p>	<p>+ Thông số kỹ thuật:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Độ phân giải: 2 x 2M • Vùng đo nhỏ nhất: 35 mm x 35 mm • Vùng đo lớn nhất: 1000 mm x 1000 mm • Khoảng cách giữa các điểm đo: 0,021 - 0,615 mm <p>+ Công dụng: Dựng hình sản phẩm để xác định kích thước chiều dài dòng chảy</p>
--	--

3.1.2.3. Quá trình thực nghiệm dòng chảy

Với lòng khuôn xoắn ốc đã chế tạo được ứng dụng để tiến hành thực nghiệm với phương pháp gia nhiệt thể tích khuôn bằng nước để xác định chiều dài dòng chảy, quá trình thực nghiệm được tiến hành theo trình tự sau:

- Bước 1: Thiết lập thông số thực nghiệm trên máy ép nhựa Shinewell - 120B.
- Bước 2: Gia nhiệt khuôn bằng nước đến nhiệt độ đã được thiết lập.
- Bước 3: Tạo hình sản phẩm với các giá trị nhiệt độ khuôn, chiều dày, tỉ lệ sợi khác nhau.
- Bước 4: Kết thúc quá trình phun ép, ghi nhận kết quả sản phẩm thực nghiệm.

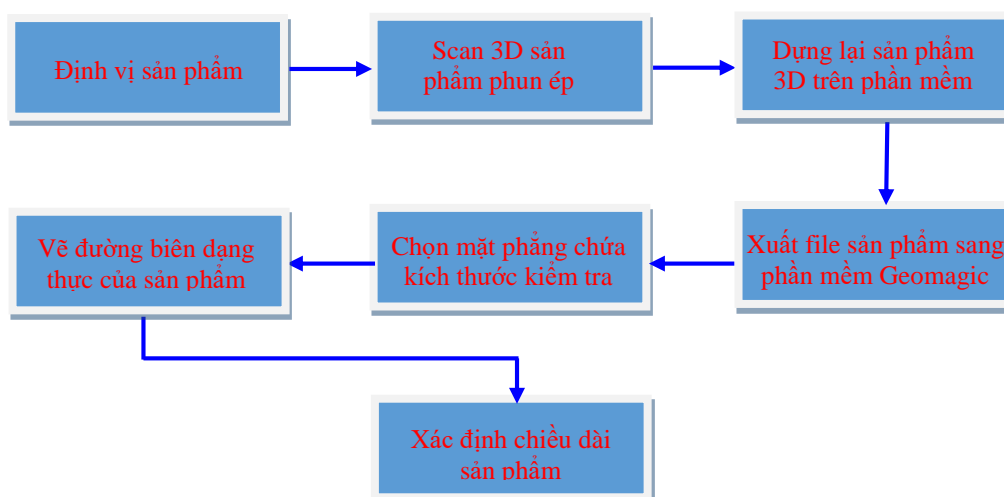
- Bước 5: Xác định chiều dài dòng chảy sản phẩm phun ép.

Trong đó, kết quả chiều dài dòng chảy khi kết thúc thực nghiệm phun ép được ghi nhận có dạng như hình 3.15. Kích thước và hình dạng chiều dài sản phẩm được thể hiện chi tiết trong phụ lục 1.



Hình 3.15: Một số kết quả thực nghiệm chiều dài dòng chảy lòng khuôn xoắn ốc

Đồng thời, chiều dài sản phẩm phun ép được xác định theo trình tự cụ thể như hình 3.16. Trong đó, mỗi trường hợp được tiến hành thực hiện trên 10 sản phẩm và lấy giá trị trung bình.



Hình 3.16: Trình tự xác định chiều dài dòng chảy sản phẩm phun ép

Theo sơ đồ hình 3.16, chiều dài dòng chảy của vật liệu được xác định theo tiến trình: Trước tiên, tiến hành cố định vị sản phẩm cần xác định kích thước trong vùng làm việc của chùm tia máy quét 3D, đồng thời trên sản phẩm cần được cài đặt một số điểm cố định để đảm bảo việc xác định tọa độ của sản phẩm trong vùng không gian làm việc của chùm tia trên máy quét. Quá trình quét 3D sản phẩm được tiến hành lần lượt ở nhiều vị trí khác nhau. Kết quả của quá trình sẽ được phần mềm

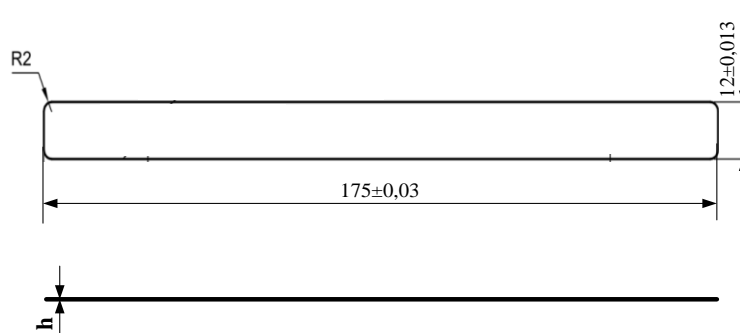
ứng dụng dựng lại mô hình chi tiết sản phẩm hoàn chỉnh trong ATOS V7.5 SR2 và được lưu dưới dạng file ảnh. Sau đó, tiến hành xuất file sản phẩm sang phần mềm Geomagic để tiến hành xử lý, điều chỉnh theo các chức năng hỗ trợ hiện có, đồng thời với các tính năng trên phần mềm sẽ hỗ trợ quá trình xác định được chiều dài sản phẩm được điền đầy chính xác, phù hợp và đảm bảo độ tin cậy kết quả của quá trình thực nghiệm.

3.2. Mô hình sản phẩm thành mỏng

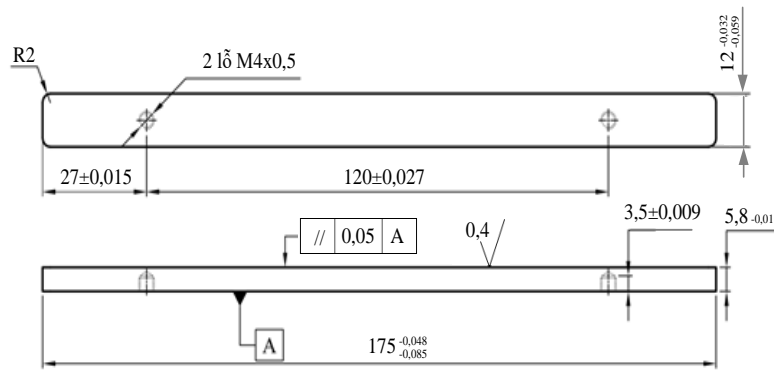
3.2.1. Mô hình mô mỏng

3.2.1.1. Thiết lập mô hình sản phẩm thành mỏng

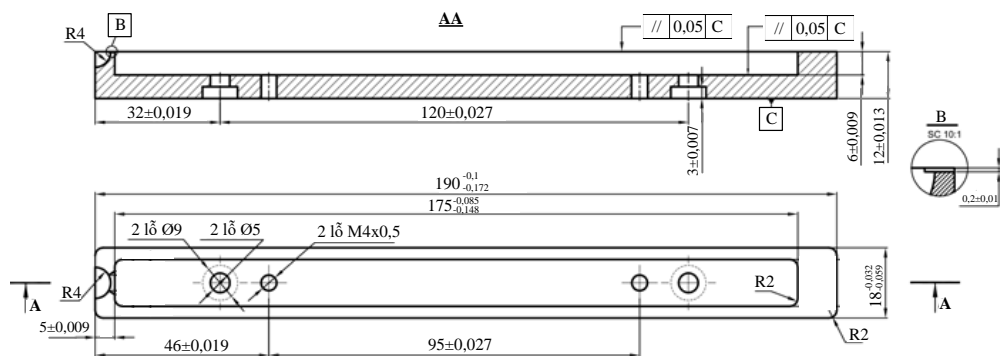
Để xem xét tính hiệu quả trong việc hạn chế lớp đông đặc khi phun ép sản phẩm composite thành mỏng với vùng nhiệt độ khuôn cao (đến 140 °C) [54]. Đồng thời, để xác định khả năng cải thiện độ điền đầy trong lòng khuôn thông qua phân bố nhiệt độ với phương pháp gia nhiệt bằng khí nóng, ba mô hình với kích thước chiều dày sản phẩm (h) khác nhau được thiết kế phù hợp với thực tiễn lần lượt là 0,2 mm, 0,4 mm và 0,6 mm (hình 3.17). Để thay đổi kích thước chiều dày sản phẩm thành mỏng, mô hình được thiết kế thông qua việc thay đổi tấm gia nhiệt bằng nhôm (hình 3.18) bên trong khối insert bằng thép (hình 3.19) của lòng khuôn.



Hình 3.17: Kích thước sản phẩm thành mỏng



Hình 3.18: Kích thước tấm gia nhiệt lòng khuôn thành mỏng



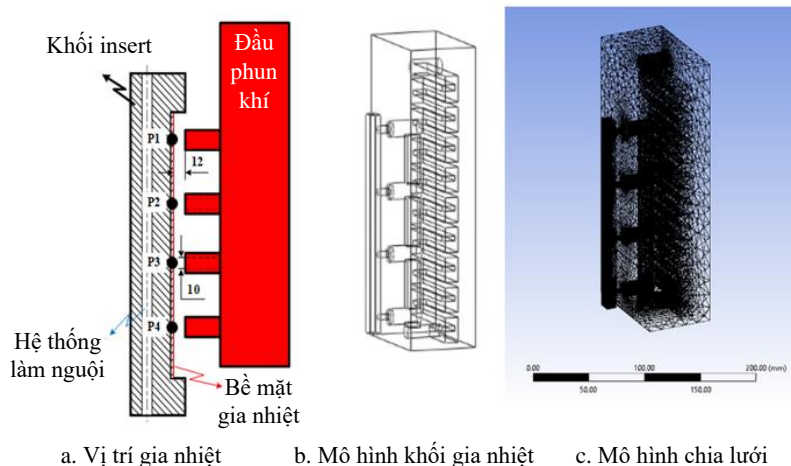
Hình 3.19: Kích thước khối insert

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 bề mặt khuôn vì đây là tính năng chuyên nghiệp đối với các dòng chảy lưu chất. Trong đó, dòng khí gia nhiệt có hệ số nhớt động lực khoảng $1.83e-5$ kg/ms nên có hệ số Re rất lớn và là dòng chảy rối. Do đó, mô hình sử dụng cho mô phỏng là mô hình k- ϵ tiêu chuẩn [55,56], là một trong những mô hình chảy rối phổ biến nhất, là một mô hình hai phương trình, trong đó có thêm 2 biến đổi lưu để mô tả tính rối của dòng chảy. Biến đổi lưu đầu tiên là động năng chảy rối k, xác định năng lượng chảy rối cho dòng khí, biến đổi lưu thứ 2 trong trường hợp này là tiêu tán rối ϵ là biến xác định quy mô chảy rối. Hệ phương trình gồm hai phương trình của mô hình k- ϵ tiêu chuẩn (phương trình 2.62 và 2.63) được trình bày chi tiết trong chương 2 mục 2.10. Trong nghiên cứu này, các phương trình vi phân chính và điều kiện biên của quá trình gia nhiệt khuôn được giải bằng phần mềm ANSYS dựa trên phương pháp thể tích hữu hạn (FVM) cho dòng khí. Trong kỹ thuật này, vùng quan tâm

được chia thành các vùng nhỏ, được gọi là thể tích kiểm soát [55,57]. Các phương trình được rời rạc và giải quyết lặp đi lặp lại cho mỗi thể tích kiểm soát. Kết quả thu được là giá trị gần đúng của từng biến số tại các điểm cụ thể trên toàn miền.

Với mô hình sản phẩm thành mỏng được mô tả như hình 3.17, mô hình gia nhiệt bằng khí nóng gồm bốn cổng phun khí được thiết kế và bố trí tại các vị trí đã được xác định như hình 3.20.



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

Để nâng cao năng suất gia nhiệt khí nóng bề mặt khuôn, quá trình diễn ra chủ yếu tập trung trên tấm gia nhiệt bên trong lồng khuôn. Tấm gia nhiệt khuôn được chia theo lưới hex dominant do cấu tạo đơn giản, khối khí được chia lưới terahedrons do cấu trúc phức tạp (hình 3.20 c), cho phép tăng số lượng phần tử tại các vùng đòi hỏi độ chính xác mô phỏng cao.

Đồng thời, thông số mô phỏng gia nhiệt bằng khí nóng, cũng như đặc tính vật liệu mô phỏng được thiết lập lần lượt như bảng 3.4 và bảng 3.5.

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

Nhiệt độ không khí đầu vào	30 °C					
Nhiệt độ không khí đầu ra bộ gia nhiệt (°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°C)	1004	1026	1035	1046	1057	1068
Hệ số dẫn nở không khí	3,32	2,1	1,93	1,76	1,64	1,52
Nhiệt độ ban đầu của khuôn	30 °C					
Tỉ trọng nhôm	2702 kg/m ³					
Nhiệt dung riêng nhôm	903 J/kg°C					
Hệ số truyền nhiệt nhôm	237 W/m°C					
Tỉ trọng thép	7870 kg/m ³					
Nhiệt dung riêng của thép P20	460 J/kg°C					
Hệ số truyền nhiệt của thép P20	29 W/m°C					
Thời gian gia nhiệt	0 s → 30 s					
Điều kiện ban đầu của không khí	<ul style="list-style-type: none"> - Vận tốc không khí: 0 m/s - Áp suất không khí: 1 atm - Nhiệt độ không khí: 30 °C 					

Bảng 3.5: Thông số vật liệu trong mô phỏng gia nhiệt bằng khí nóng

Vật liệu	Thông số	Đơn vị	Giá trị
Khí	Khối lượng phân tử	kg/kmol	28,96
	Khối lượng riêng	kg/m ³	1,185
	Độ nhớt động lực học	kg/ms	1,831e-5
	Hệ số dẫn nhiệt	W/m°C	0,0261
Thép	Khối lượng phân tử	kg/kmol	55,85
	Khối lượng riêng	kg/m ³	7854
	Hệ số dẫn nhiệt	W/m°C	60,5

3.2.1.3. Quá trình mô phỏng phân bố nhiệt độ

Tương tự như các nghiên cứu trước đây [58,59], mô hình mô phỏng gia nhiệt lòng khuôn bằng khí nóng (hình 3.20) được xem xét chỉ bao gồm hai phần chính: thể tích khối insert và thể tích khối khí với tiến trình mô phỏng như hình 3.21.



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

Sau khi kết thúc quá trình mô phỏng gia nhiệt khuôn bằng khí nóng, kết quả phân bố nhiệt độ bề mặt khuôn được ghi nhận và được phân tích, đánh giá chi tiết trong chương 5 của nghiên cứu này.

3.2.1.4. Tiêu chí chọn kết quả mô phỏng phân bố nhiệt độ khuôn

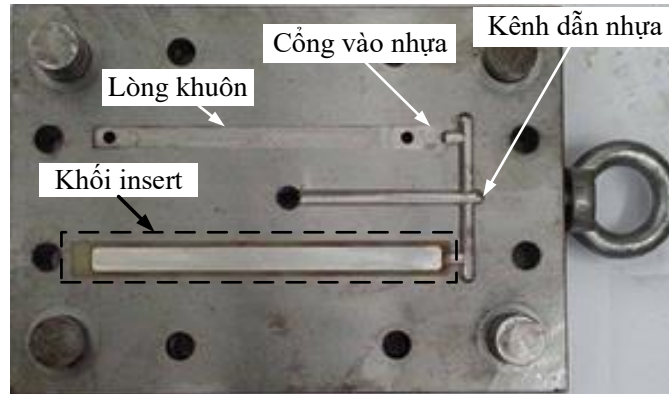
- Thời gian gia nhiệt nhỏ hơn 30 s.
- Tốc độ gia nhiệt trong 20 s đầu lớn hơn 5 °C/s
- Chênh lệch nhiệt độ trên bề mặt lòng khuôn nhỏ hơn 5 °C

Quá trình mô phỏng phân bố nhiệt độ được tiến hành với các điều kiện đã chọn ban đầu và kết quả thoả mãn các tiêu chí đề ra sẽ được chọn lựa. Sau đó, quá trình thực nghiệm được thực hiện để kiểm chứng và phân tích kết quả với các điều kiện tương tự như mô phỏng.

3.2.2. Mô hình thực nghiệm

3.2.2.1. Chế tạo lòng khuôn thành mỏng

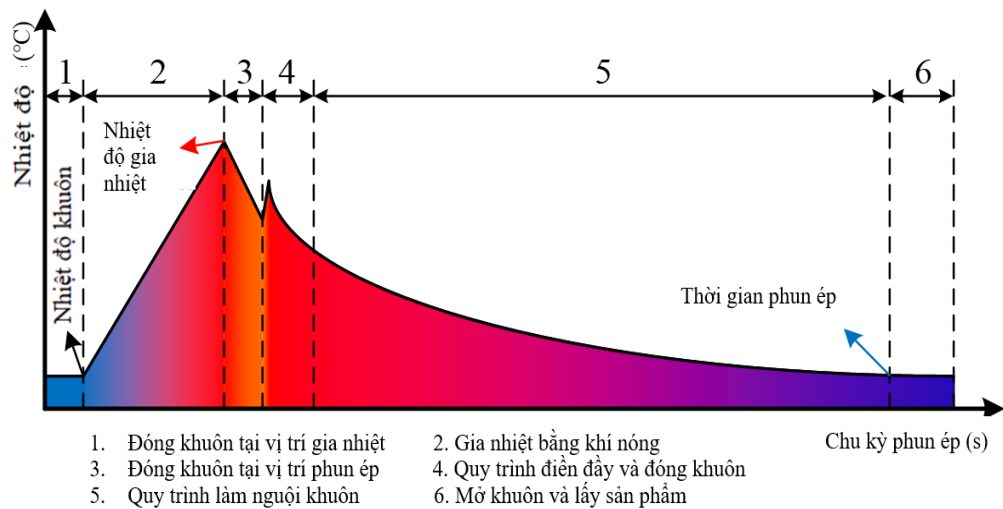
Lòng khuôn thực nghiệm phun ép sản phẩm thành mỏng với phương pháp gia nhiệt bằng khí nóng được thiết kế và kết quả gia công lòng khuôn được thể hiện như hình 3.22. Trong đó, khối insert được thêm vào để có thể thay đổi chiều dày sản phẩm lần lượt là 0,2 mm, 0,4 mm và 0,6 mm. Trong quá trình lắp ráp thực tế, giữa khối insert và tấm khuôn luôn tồn tại khe hở. Chính vì thế, trong quá trình gia nhiệt, khe hở này đóng vai trò như một lớp cách nhiệt giữa khối insert và tấm khuôn.



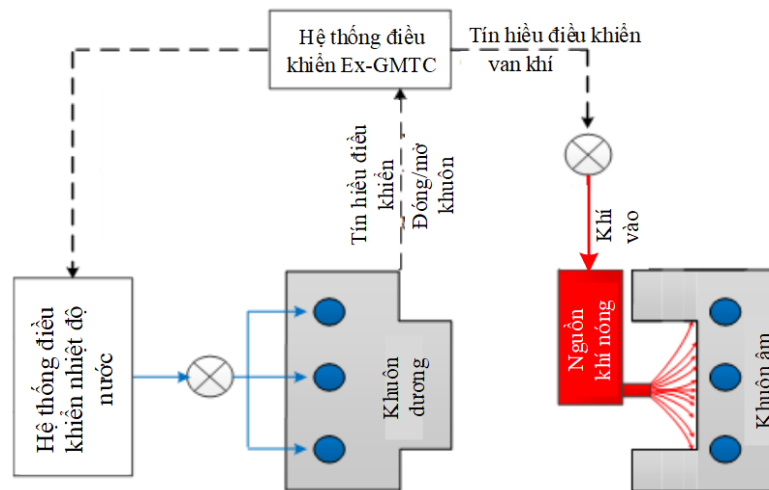
Hình 3.22: Lòng khuôn thực nghiệm sản phẩm thành mỏng

3.2.2.2. Điều kiện thực nghiệm phân bố nhiệt độ

Hệ thống gia nhiệt khuôn bằng khí nóng từ bên ngoài (Gas-assisted Mold Temperature Control - Ex-GMTC) ứng dụng với mô hình sản phẩm thành mỏng được thực hiện gồm các bước cơ bản như hình 3.23. Theo quy trình này, lòng khuôn được làm nóng đến nhiệt độ thiết lập trước khi dòng chảy được điền đầy. Sự khác biệt lớn nhất so với quy trình phun ép thông thường là gia nhiệt ở bước hai. So với các nghiên cứu khác, để điều khiển nhiệt độ khuôn phun ép [58,60,61], Ex-GMTC là một kỹ thuật mới và có thể làm nóng bề mặt lòng khuôn nhanh chóng trong quá trình phun ép mà không cần thay đổi đáng kể trong kết cấu khuôn [59,62]. Trong quá trình gia nhiệt, hai tấm khuôn được di chuyển đến vị trí tiến hành mở khuôn. Tiếp theo, hệ thống gia nhiệt khí nóng di chuyển đến vị trí cần gia nhiệt bằng cánh tay robot và phun trực tiếp khí nóng vào bề mặt khuôn (hình 3.24) và làm nóng đến nhiệt độ thiết lập. Sau đó, hệ thống gia nhiệt di chuyển ra ngoài khu vực phun ép (bước ba) để khuôn đóng hoàn toàn chuẩn bị cho quá trình điền đầy.



Hình 3.23: Quá trình gia nhiệt bề mặt khuôn bằng khí nóng [63]



Hình 3.24: Sơ đồ hệ thống gia nhiệt khuôn bằng khí nóng

Trong hệ thống Ex-GMTC, khối gia nhiệt làm nhiệm vụ cung cấp khí nóng với nhiệt độ thay đổi từ 200 °C đến 400 °C và phun trực tiếp nhằm gia nhiệt cục bộ cho lòng khuôn. Ngược lại, hệ thống giải nhiệt cho khuôn bằng nước sẽ làm nhiệm vụ giữ nhiệt độ khuôn ở giá trị cho trước [63-65]. Trong quá trình hoạt động, hệ thống điều khiển Ex-GMTC sẽ nhận tín hiệu đóng/mở của khuôn, từ đó sẽ điều khiển van cấp khí để gia nhiệt lòng khuôn.

Quá trình thực nghiệm phun ép cũng được tiến hành trên máy Shinewell - 120B để ghi nhận kết quả sự phân bố nhiệt độ ảnh hưởng đến độ điền đầy sản phẩm

thành mỏng. Các thông số thực nghiệm được xác định trên cơ sở khuyến cáo của nhà sản xuất như nhiệt độ nóng chảy nhựa, áp suất phun là giá trị thông dụng của máy phun ép, đồng thời qua thực tế phun ép tạo hình sản phẩm, các thông số được thể hiện cụ thể như bảng 3.6.

Bảng 3.6: Thông số thực nghiệm phun ép sản phẩm thành mỏng

TT	Thông số	Giá trị
1	Nhiệt độ nóng chảy nhựa	260 °C
2	Áp suất phun	30 Kg/cm ²
3	Thời gian giải nhiệt	20 s
4	Tốc độ phun	50 mm/s
5	Thời gian phun	0,5 s
6	Thời gian đóng khuôn	2,5 s
7	Thời gian gia nhiệt	5 s, 10 s, 15 s, 20 s
8	Nhiệt độ khuôn ban đầu	30 °C

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

Phương pháp gia nhiệt bề mặt khuôn bằng khí nóng được ứng dụng để tiến hành thực nghiệm với lòng khuôn sản phẩm thành mỏng để xác định sự phân bố nhiệt độ ảnh hưởng mức độ điền đầy được tiến hành theo trình tự sau:

- Bước 1: Thực nghiệm gia nhiệt lòng khuôn với mô hình nghiên cứu để xác định phân bố nhiệt độ bề mặt khuôn.
- Bước 2: Xác định thông số thực nghiệm quá trình điền đầy cần thiết phù hợp với yêu cầu sản phẩm phun ép và tiến hành cài đặt
- Bước 3: Tạo hình sản phẩm trên máy ép nhựa Shinewell - 120B.
- Bước 4: Kết thúc quá trình phun ép, ghi nhận kết quả sản phẩm thực nghiệm.
- Bước 5: Xác định độ điền đầy sản phẩm thành mỏng

Trong đó, quá trình thực nghiệm phun ép được tiến hành 10 lần cho mỗi trường hợp và xác định giá trị trung bình. Mức độ ảnh hưởng của phân bố nhiệt độ khuôn

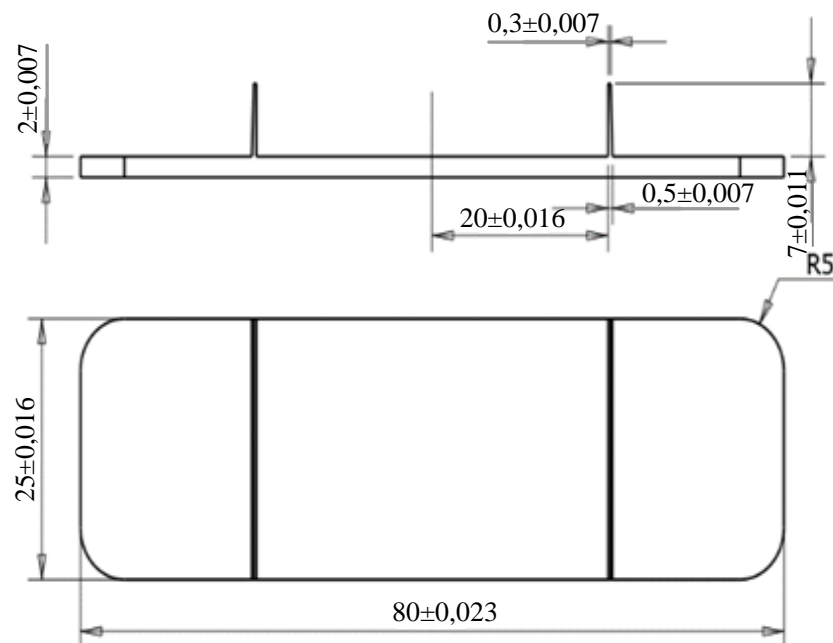
đến khả năng điền đầy đối với sản phẩm thành mỏng được phân tích, đánh giá chi tiết trong chương 5 của nghiên cứu này.

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

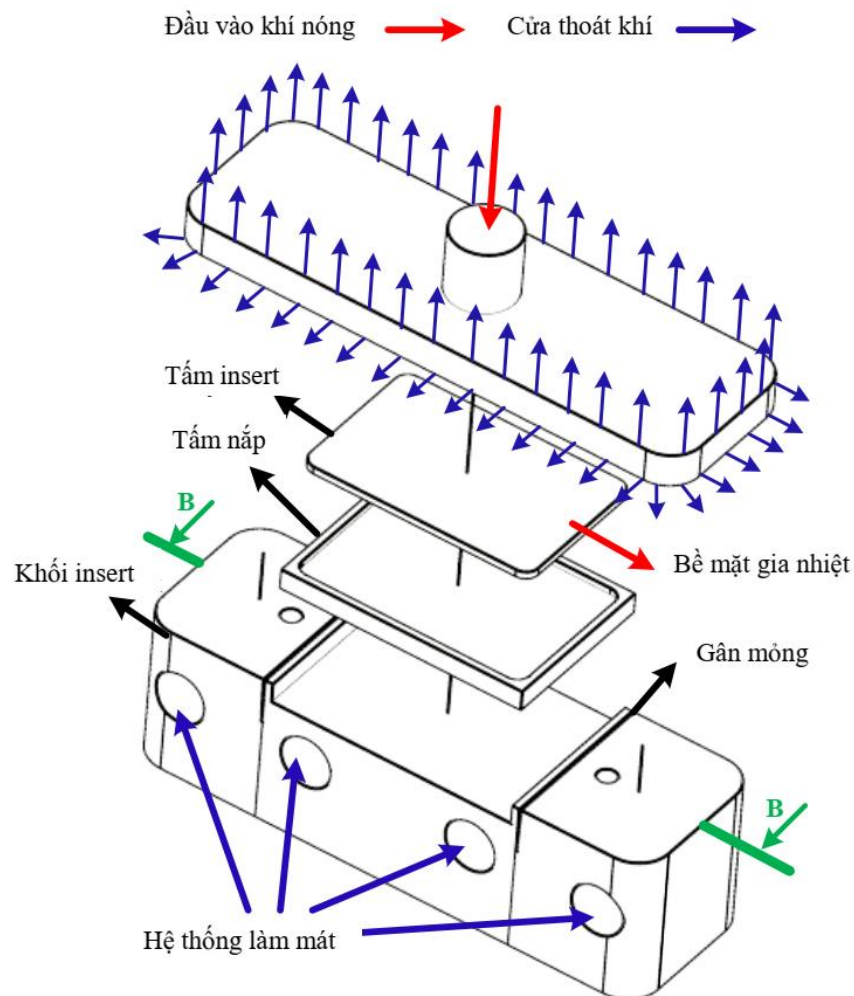
Sản phẩm gân mỏng được ứng dụng phổ biến trong nhiều lĩnh vực, trong nhiều trường hợp, gân mỏng được sử dụng để tăng độ cứng của sản phẩm. Trong nghiên cứu này, mô hình gân mỏng được thiết kế như hình 3.25. Trong đó, dung sai kích thước được chọn theo cấp chính xác 8.



Hình 3.25: Kích thước sản phẩm gân mỏng

Để nghiên cứu sự phân bố nhiệt độ tại các vị trí gia nhiệt bề mặt lòng khuôn, trên cơ sở các kích thước sản phẩm gân mỏng, mô hình mô phỏng gia nhiệt được thiết lập như hình 3.26. Trong đó, 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 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ và hệ số truyền nhiệt là $10\text{ W/m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Với kết cấu này, vị trí tại trung tâm lòng khuôn được thiết kế với một tấm insert với kích thước $40\text{ mm} \times 25$

mm × 1 mm để cải thiện hiệu quả gia nhiệt. Đồng thời, hệ thống gia nhiệt khí nóng được thiết kế với một cổng phun khí và nhiệt độ khí nóng là 400 °C.



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

Sự phân bố nhiệt độ đến khả năng điền đầy của vật liệu với sản phẩm gân mỏng được tiến hành mô phỏng thông qua mô hình đã được thiết lập ứng với điều kiện mô phỏng tương tự như quá trình mô phỏng thành mỏng với phương pháp gia nhiệt bằng khí nóng. Trong đó, có sự thay đổi về nhiệt độ khuôn từ 45 °C đến 140 °C và ứng dụng phần mềm ANSYS để tiến hành mô phỏng quá trình gia nhiệt.

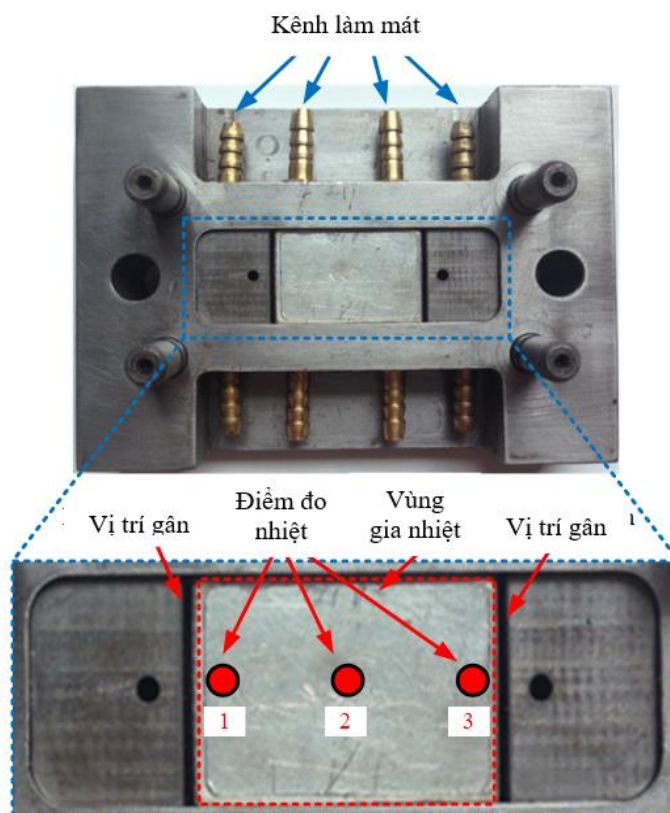
3.3.1.3. Quá trình mô phỏng gia nhiệt khuôn

Quá trình mô phỏng đối với sản phẩm gân mỏng được thực hiện tương tự như đối với mô hình sản phẩm thành mỏng đã trình bày tại mục 3.2.1.3. Kết quả ảnh hưởng của nhiệt độ khuôn đến khả năng điền đầy thông qua quá trình mô phỏng được phân tích và đánh giá trong chương 5 của luận án này.

3.3.2. Mô hình thực nghiệm

3.3.2.1. Chế tạo lòng khuôn gân mỏng

Phương pháp gia nhiệt Ex-GMTC áp dụng cho sản phẩm có gân mỏng [66-68] với lòng khuôn thực nghiệm cho quá trình điền đầy được chế tạo thể hiện 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

Sự phân bố nhiệt độ khuôn sau khi kết thúc quá trình gia nhiệt ảnh hưởng đến độ điền đầy đối sản phẩm gân mỏng được xác định thông qua tiến hành thực nghiệm với các điều kiện tương tự như điều kiện mô phỏng tại mục 3.3.1.2. Trong đó việc

sử dụng phần mềm ANSYS để mô phỏng được thay thế bằng máy ép nhựa Shinewell 120B thực tế tại phòng thực nghiệm.

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

Để cải thiện quá trình điền đầy, Ex-GMTC đã được sử dụng với một cổng khí nóng được phun trực tiếp vào trung tâm của vị trí gia nhiệt [68,69]. Sau đó, kết quả được ghi nhận thông qua sự phân bố nhiệt độ trên bề mặt lòng khuôn. Giá trị nhiệt độ tại ba điểm được xác định bằng camera hồng ngoại đo nhiệt độ. Vị trí ghi nhận giá trị đo tại ba điểm được xác định như hình 3.27.

Quá trình thực nghiệm điền đầy sản phẩm gân mỏng gồm 5 bước tương tự như quá trình thực nghiệm điền đầy sản phẩm thành mỏng (mục 3.2.2.3) và kết quả được thể hiện chi tiết ở chương 5.

✚ Nhận xét chung:

- Đã thiết lập được mô hình nghiên cứu mô phỏng và thực nghiệm, bao gồm mô hình cơ bản dòng chảy xoắn ốc, mô hình sản phẩm thành mỏng và mô hình sản phẩm gân mỏng.
- Thiết bị điều khiển nhiệt độ khuôn đã được chế tạo, bao gồm hệ thống điều khiển nhiệt độ bằng nước với vùng nhiệt độ khuôn từ 30 °C đến 110 °C và hệ thống điều khiển nhiệt độ khuôn bằng khí nóng với vùng nhiệt độ khuôn từ 45 °C đến 140 °C.
- Quá trình mô phỏng và thực nghiệm với các điều kiện giới hạn trong nghiên cứu đã được tiến hành và là cơ sở để phân tích và đánh giá khả năng điền đầy, phân bố sợi, phân bố nhiệt độ khuôn, ...với vật liệu composite nhựa nhiệt dẻo ở các chương tiếp theo.

Chương 4

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

Với mô hình cơ bản dòng chảy xoắn ốc, kết quả mô phỏng và thực nghiệm được tổng hợp và so sánh nhằm đánh giá ảnh hưởng của nhiệt độ khuôn đến chiều dài dòng chảy vật liệu composite với tỉ lệ sợi thay đổi từ 0 % đến 30 %. Đồng thời, khả năng điền đầy vật liệu cũng được đánh giá thông qua kết quả phân tích về tỉ lệ sợi, hướng sợi và phân bố sợi trong sản phẩm phun ép. Ngoài ra, mối quan hệ giữa chiều dài dòng chảy với nhiệt độ và chiều dày sản phẩm cũng được xác định thông qua phương trình hồi quy thực nghiệm. Bên cạnh đó, mối quan hệ giữa tỉ lệ chiều dài dòng chảy và chiều dày sản phẩm cho từng nhiệt độ khuôn và từng tỉ lệ sợi cũng được xác định trong chương này.

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

Trong các nghiên cứu trước đây về dòng chảy nhựa trong lòng khuôn phun ép [70, 71], chiều dày sản phẩm là một trong những yếu tố có ảnh hưởng lớn đến khả năng chảy của vật liệu do ảnh hưởng của lớp đông đặc, vì vậy, 3 loại chiều dày sản phẩm đã được chọn mô phỏng gồm: 0,5 mm, 0,75 mm và 1 mm [72]. Với nhiệt độ khuôn thay đổi từ 30 °C đến 110 °C, chiều dài dòng chảy của vật liệu composite có tỉ lệ sợi khác nhau từ 0 % đến 30 % đã được tiến hành mô phỏng và thu nhận kết quả để đánh giá. Kết quả mô phỏng ảnh hưởng của nhiệt độ khuôn đến chiều dài dòng chảy được tổng hợp như bảng 4.1, 4.2 và 4.3 tương ứng với các chiều dày sản phẩm lần lượt là 0,5 mm, 0,75 mm và 1 mm. Đồng thời, hình ảnh kết quả mô phỏng cũng được ghi nhận như phụ lục 1.

Kết quả mô phỏng cho thấy giá trị 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 và tỉ lệ sợi. Điều này dễ dàng luận giải thông qua yếu tố độ nhớt ảnh hưởng đến mức độ cản trở dòng chảy [1]. Với chiều dày sản phẩm lớn mức độ cản trở dòng chảy thấp, hệ số truyền nhiệt tại một thời điểm của nhựa rất thấp, do đó nhiệt độ nhựa sẽ khó truyền được ra bên ngoài nên khả năng chảy sẽ được nâng lên, độ điền đầy tốt hơn. Sản phẩm có chiều dày nhỏ hiện tượng này có xu hướng ngược lại, chiều dài dòng chảy nhựa trong lòng khuôn sẽ khó điền đầy hơn. Với tỉ lệ sợi tăng thì độ nhớt của vật liệu giảm nên hạn chế khả năng chảy trong khuôn, do đó chiều dài dòng chảy tỉ lệ nghịch với tỉ lệ sợi của vật liệu composite.

Ngoài ra, hình ảnh dòng chảy trong phụ lục 1 cũng cho thấy nhiệt độ của dòng chảy tại các vị trí là khác nhau, càng ra xa miệng phun thì nhiệt độ càng thấp. Đồng thời, dòng chảy nhựa có xu hướng cuốn về thành khuôn do đặc điểm của dòng chảy “Fountain Flow” [49]. Đặc điểm này thể hiện khá rõ trong quá trình nhựa điền đầy lòng khuôn. Hiện tượng truyền nhiệt đã xảy ra giữa nhựa nóng và thành khuôn ảnh hưởng đến khả năng điền đầy. Trong giai đoạn này lớp bề mặt của dòng chảy bị mất nhiệt và hình thành lớp đông đặc tại bề mặt tiếp xúc giữa nhựa và thành khuôn. Quá trình này diễn ra nhanh chóng nên dòng chảy có đặc điểm không giống dòng chảy thông thường và theo xu hướng nhựa tại tâm sẽ chảy nhanh hơn phần nhựa gần với thành khuôn, vị trí tiếp xúc với thành khuôn, nhựa được xem như không chảy, tại đầu dòng chảy nhựa được ép về phía trước và cuốn về phía lòng khuôn. Hiện tượng xảy ra liên tục đến khi nhựa đã điền đầy hoàn toàn lòng khuôn, ảnh hưởng đến hình dạng dòng chảy.

Bảng 4.1: Kết quả mô phỏng xác định chiều dài dòng chảy đối với sản phẩm có chiều 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	36,31	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 xác định chiều dài dòng chảy đối với sản phẩm có chiều 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 xác định chiều dài dòng chảy đối với sản phẩm có chiều 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

Chiều dài dòng chảy với mô hình xoắn ốc được xác định thông qua máy quét mẫu 3D, trong đó mỗi trường hợp được tiến hành thực hiện trên 10 sản phẩm phun ép và lấy giá trị trung bình, kết quả được tổng hợp như bảng 4.4, 4.5 và 4.6. Ngoài ra, hình dạng dòng chảy được thể hiện chi tiết như phụ lục 1.

Kết quả thực nghiệm 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. Hay nói cách khác chiều dài dòng chảy sẽ giảm đáng kể khi chiều dày lòng khuôn giảm và tỉ lệ sợi gia cường tăng lên. Điều đó được hiểu là với sản phẩm có chiều dày lớn thì xu hướng cản trở quá trình chảy của vật liệu sẽ rất hạn chế, tại thời điểm này hệ số dẫn nhiệt của nhựa rất thấp nên năng lượng dòng chảy luôn được duy trì. Do đó, sản phẩm sẽ được điền đầy sớm hơn [1,48]. Ngược lại, với chiều dày sản phẩm nhỏ sẽ khó khăn trong quá trình điền đầy.

Mặt khác, trong chu kỳ phun ép, quá trình chuyển đổi vật liệu từ trạng thái lỏng sang trạng thái rắn rất phức tạp, hướng sợi tại các vị trí trong lòng khuôn sẽ khác nhau. Do sự chênh lệch nhiệt độ giữa vật liệu và bề mặt khuôn, khi nhựa chảy vào lòng khuôn sẽ hình thành lớp đông đặc nhanh trong một thời gian ngắn khi sợi chưa kịp định hướng và sắp xếp không đều. Tuy nhiên, do tính chất dòng chảy nên các sợi ngăn gần lớp đông đặc được định hướng cao hơn, chủ yếu là nằm dọc theo hướng dòng chảy. Các sợi trong lớp lõi có xu hướng căn chỉnh theo hướng dòng chảy [49]. Ngoài ra, do ảnh hưởng của sự truyền nhiệt từ vật liệu qua thành khuôn diễn ra liên tục và giảm dần theo chiều dài dòng chảy nên quá trình điền đầy của nhựa cũng sẽ khó khăn hơn.

Từ 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. Bên cạnh đó, có thể chọn nhiệt độ khuôn phù hợp ứng với từng kích thước sản phẩm để quá trình phun ép đạt hiệu quả cao nhất.

Bảng 4.4: Kết quả thực nghiệm xác định chiều dài dòng chảy với sản phẩm có chiều 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	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 xác định chiều dài dòng chảy đối với sản phẩm có chiều 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	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 4.6: Kết quả thực nghiệm xác định chiều dài dòng chảy đối với sản phẩm có chiều 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	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 được tổng hợp như bảng 4.7, 4.8 và 4.9. Kết quả cho thấy tồn tại sự khác nhau giữa giá trị thực nghiệm và mô phỏng trong hầu hết các trường hợp, nguyên nhân có thể 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. Trong đó, sai số trung bình chung là 6,9 %, 2,1 %, 1,4 % tương ứng chiều dày sản phẩm 0,5 mm, 0,75 mm và 1 mm. Đối với hình dạng dòng chảy vật liệu, đặc biệt là dòng chảy trước thì kết quả thực nghiệm và mô phỏng là khá tương đồng và đều có xu hướng cuốn về thành khuôn (phụ lục 1). Trong đó, với trường hợp vật liệu PA6 + 30 %GF và nhiệt độ khuôn 110 °C, giá trị sai lệch chiều dài dòng chảy và hình dạng dòng chảy được so sánh như bảng 4.10.

Bảng 4.7: Chênh lệch giữa chiều dài dòng chảy thực nghiệm và mô phỏng đối với sản phẩm có chiều dày 0,5 mm

Chiều dày sản phẩm (mm)	Nhiệt độ khuôn (°C)	Tỉ lệ sợi (%)						
		0	5	10	15	20	25	30
		Giá trị chênh lệch chiều dài dòng chảy giữa mô phỏng và thực nghiệm (mm)						
0,5	30	1,5	1,0	0,2	1,5	0,4	2,6	1,4
	50	0,8	1,7	2,3	0,6	1,5	1,5	1,0
	70	1,4	1,6	3,9	1,4	1,0	1,7	0,9

	90	0,4	1,7	2,5	2,1	1,9	2,2	3,9
	110	1,7	4,6	3,8	5,1	3,0	0,6	4,3


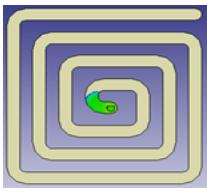

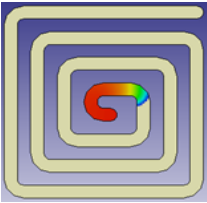

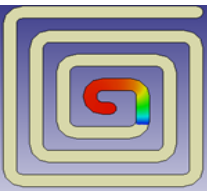
Bảng 4.8: Chênh lệch giữa chiều dài dòng chảy thực nghiệm và mô phỏng đối với sản phẩm có chiều dày 0,75 mm

Chiều dày sản phẩm (mm)	Nhiệt độ khuôn (°C)	Tỉ lệ sợi (%)						
		0	5	10	15	20	25	30
		Giá trị chênh lệch chiều dài dòng chảy giữa mô phỏng và thực nghiệm (mm)						
0,75	30	2,4	0,5	0,7	1,0	0,7	1,0	0,2
	50	2,2	0,6	1,4	1,2	1,1	0,5	0,4
	70	3,2	2,5	2,9	2,7	1,5	0,1	1,4
	90	2,4	2,7	5,3	2,5	3,1	0,7	0,7
	110	3,7	0,6	3,4	1,6	2,6	2,2	0,3

Bảng 4.9: Chênh lệch giữa chiều dài dòng chảy thực nghiệm và mô phỏng đối với sản phẩm có chiều dày 1 mm

Chiều dày sản phẩm (mm)	Nhiệt độ khuôn (°C)	Tỉ lệ sợi (%)						
		0	5	10	15	20	25	30
		Giá trị chênh lệch chiều dài dòng chảy giữa mô phỏng và thực nghiệm (mm)						
1	30	0,5	1,6	0,8	0,5	1,9	1,1	0,7
	50	0,3	1,4	0,8	2,8	2,6	2,1	2,5
	70	3,4	0,3	0,1	1,2	0,4	0,9	0,5
	90	3,2	0,7	2,0	1,5	1,1	2,0	1,0
	110	5,0	2,2	1,0	1,1	0,6	1,2	0,4

Bảng 4.10: So sánh kết quả giữa thực nghiệm và mô phỏng với vật liệu PA6 + 30 % GF và nhiệt độ khuôn 110 °C

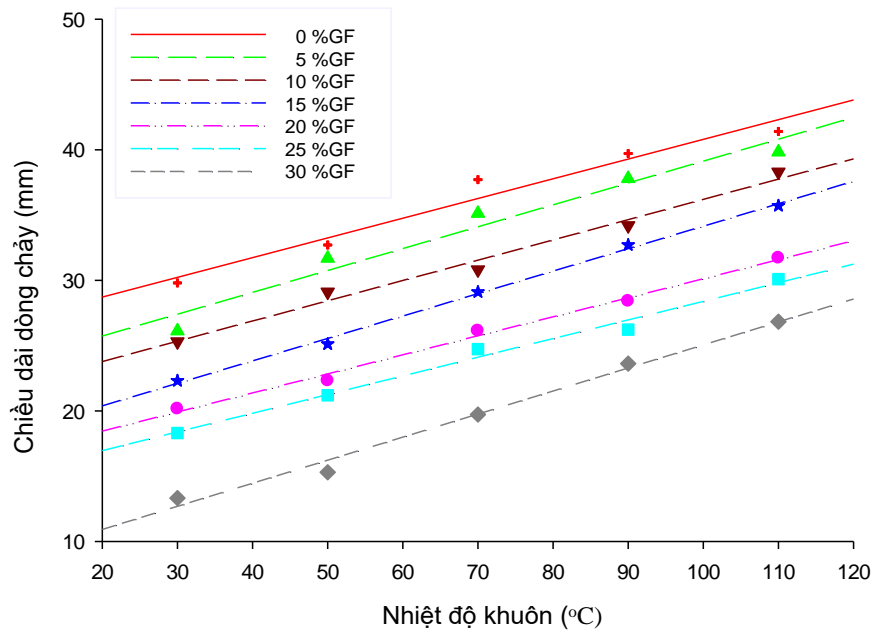
Chiều dày sản phẩm (mm)	Kết quả thực nghiệm	Kết quả mô phỏng	Chênh lệch chiều dài (mm)
0,5	 L = 24,8 mm	 L = 21,5 mm	3,3
0,75	 L = 76,4 mm	 L = 75,7 mm	0,7
1	 L = 100,3 mm	 L = 99,9 mm	0,4

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. Lựa chọn và điều chỉnh nhiệt độ khuôn đóng vai trò quan trọng nhằm cân bằng dòng chảy của vật liệu vào lòng khuôn, đặc biệt với loại khuôn có nhiều lòng khuôn với kích thước khác nhau và vật liệu phun ép là composite nhựa nhiệt dẻo. 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.

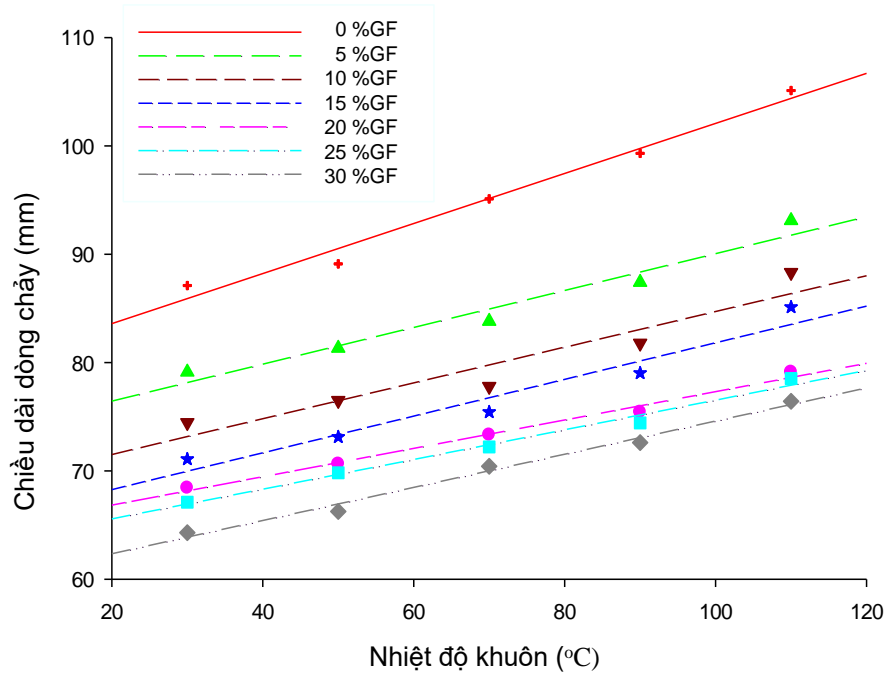
4.4. Ảnh hưởng của nhiệt độ khuôn đến chiều dài dòng chảy vật liệu

Căn cứ vào kết quả thực nghiệm, ảnh hưởng của nhiệt độ khuôn đến chiều dài dòng chảy với tỉ lệ sợi khác nhau và chiều dày sản phẩm thay đổi lần lượt là 0,5

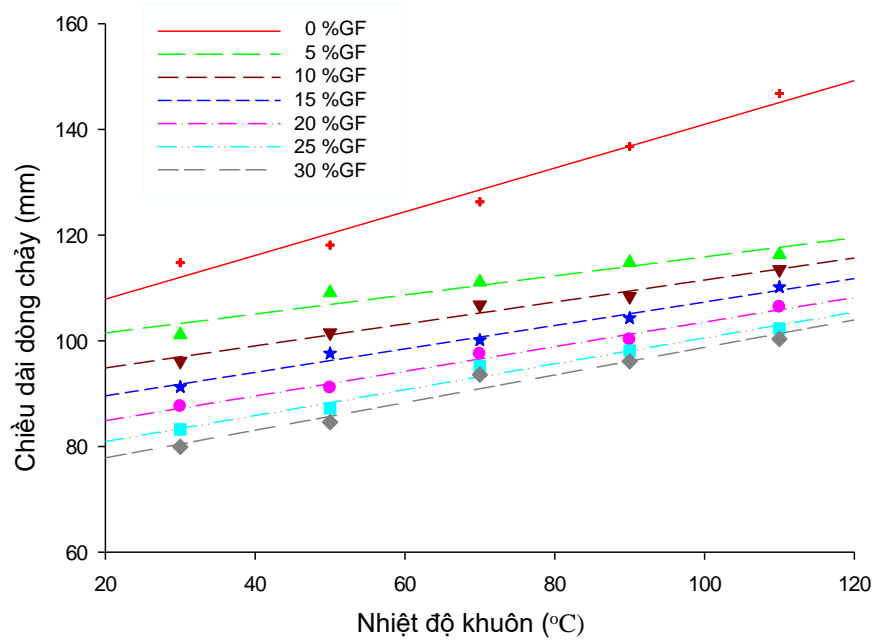
mm, 0,75 mm và 1 mm được mô tả như hình 4.1, 4.2, 4.3.



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 nghiên cứu 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, 4.2 và 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. Trong trường hợp này, độ nhớt của cả dòng nhựa sẽ được giữ ở giá trị thấp, nên nhựa dễ chảy và di chuyển được khoảng cách xa hơn. Đồng thời, hiện tượng nguội của lớp nhựa tiếp xúc với thành khuôn cũng sẽ giảm, tạo điều kiện thuận lợi hơn cho dòng chảy nhựa [62,73].

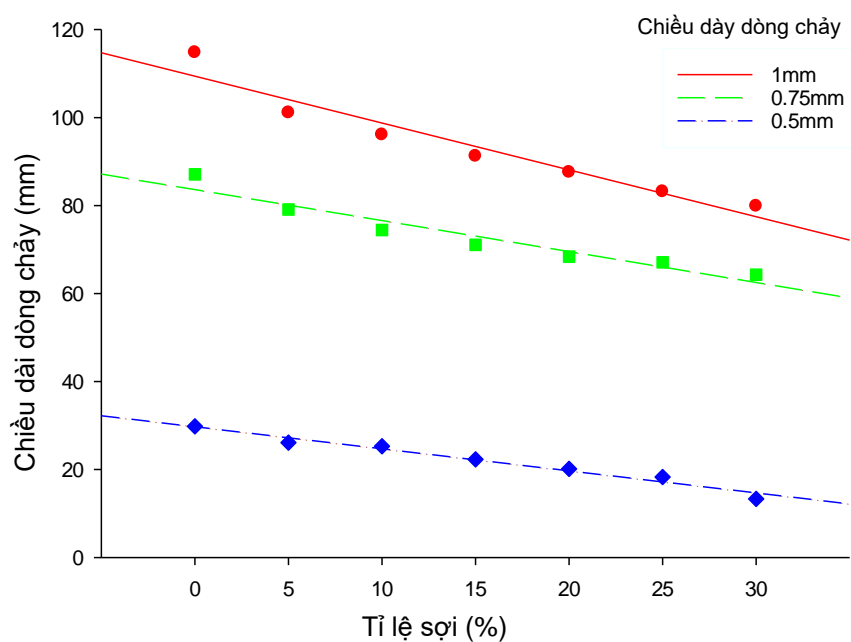
- Việc lựa chọn và điều chỉnh nhiệt độ khuôn đóng vai trò quan trọng nhằm

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. Hiện nay, để hạn chế ảnh hưởng của lớp đông đặc, một số nghiên cứu đề xuất tăng nhiệt độ khuôn lên gần với giá trị giới hạn cho phép của thiết bị [73]. Tuy nhiên, nếu tăng nhiệt độ khuôn quá cao sẽ kéo dài thời gian làm nguội sản phẩm, dẫn đến tăng thời gian chu kỳ và kết quả là năng suất sẽ giảm. Ngoài ra, khi nhiệt độ nhựa quá cao, sản phẩm dễ bị lỗi cong vênh khi được lấy ra khỏi khuôn [74,75]. Vì vậy, cần phải xác định sự 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. 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, 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 (tăng 31 mm). Cùng trường hợp tương tự nhưng với lòng khuôn có chiều dày 0,75 mm thì chiều dài dòng chảy chỉ từ 87,1 mm lên 104,1 mm (tăng 17 mm). Và với lòng khuôn có chiều dày 0,5 mm thì chiều dài tăng từ 29,8 lên 41,4 (tăng 11,6 mm). 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, có thể 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, đặc biệt là sản phẩm có nhiều đường hàn (đường gặp nhau của hai hay nhiều dòng vật liệu) [75,76].

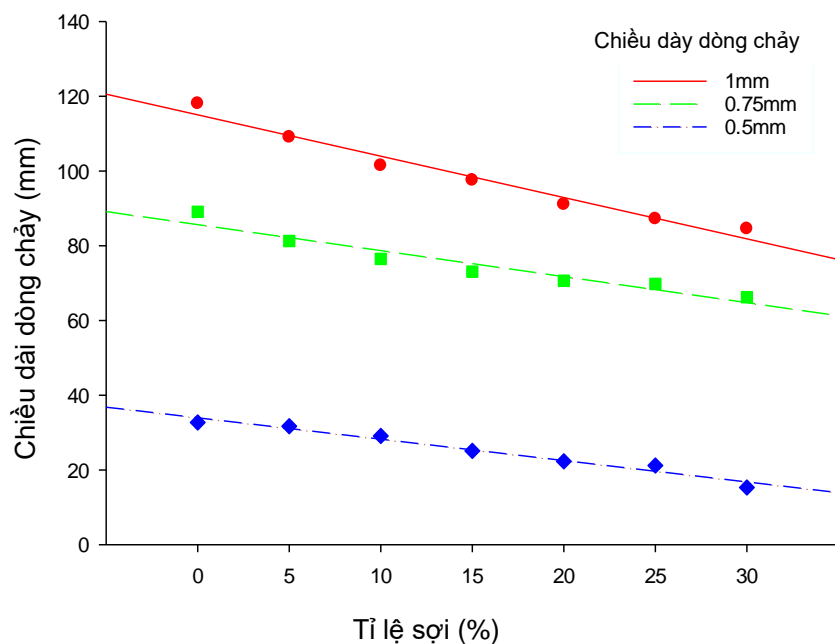
4.5. Ảnh hưởng của tỉ lệ sợi đến chiều dài dòng chảy

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 [77,78]. Hình 4.4 - 4.8 thể hiện kết

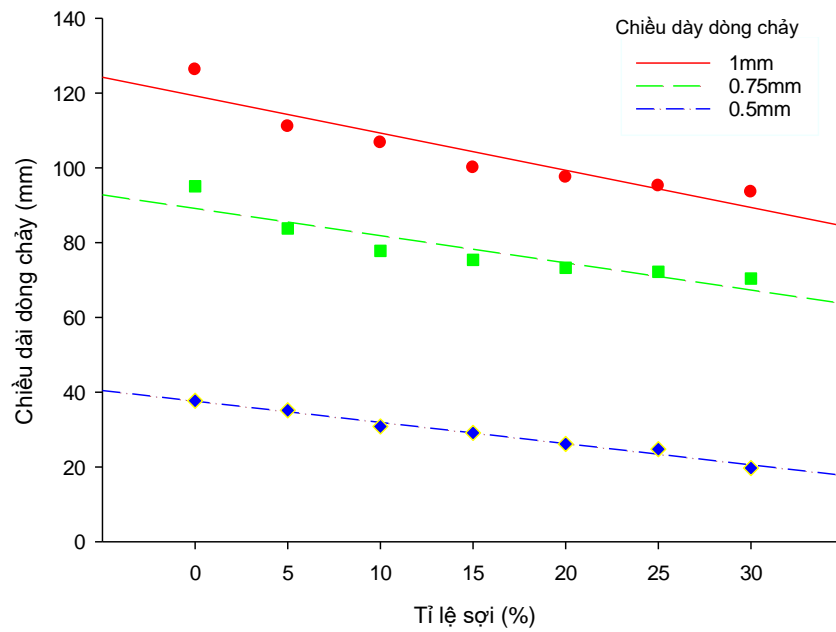
quả mô tả ảnh hưởng của tỉ lệ sợi đến chiều dài dòng chảy vật liệu composite ứng với các nhiệt độ khuôn khác nhau.



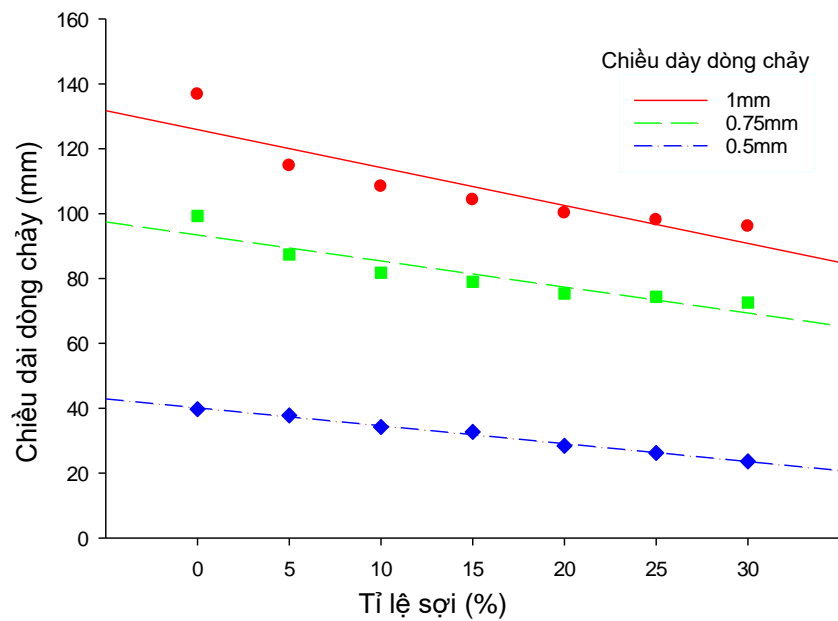
Hình 4.4: Ảnh hưởng của tỉ lệ sợi đến chiều dài dòng chảy nhiệt độ khuôn 30 °C



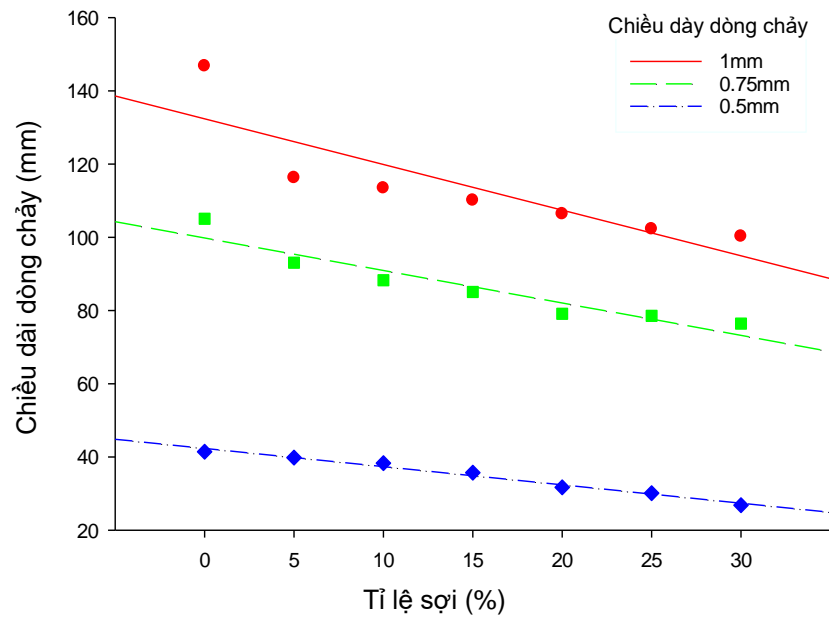
Hình 4.5: Ảnh hưởng của tỉ lệ sợi đến chiều dài dòng chảy nhiệt độ khuôn 50 °C



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



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

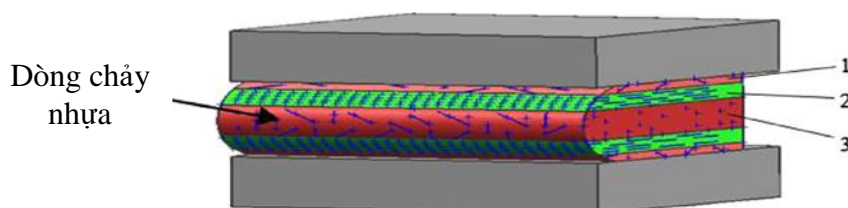


Hình 4.8: Ảnh hưởng của tỉ lệ sợi đến chiều dài dòng chảy nhiệt độ khuôn 110 °C

- 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. 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, chẳng hạn như: khi nhiệt độ khuôn 90 °C và tỉ lệ sợi gia cường 30 % thì chiều dài dòng chảy là 96,1 mm, 72,6 mm và 23,6 tương ứng với chiều dày sản phẩm lần lượt là 1 mm, 0,75 mm và 0,5 mm. 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.

- Trong chu kỳ phun ép vật liệu composite, quá trình chuyển đổi vật liệu từ trạng thái lỏng sang trạng thái rắn rất phức tạp do điều kiện biên phức tạp và tính chuyển pha của vật liệu. Các vị trí khác nhau trong lòng khuôn sẽ có các hướng sợi khác nhau và bị ảnh hưởng bởi các yếu tố như tỉ lệ sợi, áp suất, nhiệt độ khuôn,...[70,76]. Trong giai đoạn vật liệu chảy vào lòng khuôn, do chênh lệch nhiệt độ giữa vật liệu (nhiệt độ cao) và bề mặt khuôn (nhiệt độ thấp) nên nhanh chóng

hình thành nên lớp đông đặc và các sợi không được định hướng trong một thời gian ngắn nên chúng sẽ sắp xếp không đều trong lớp này. Tuy nhiên, do tính chất dòng chảy nên các sợi gần gần lớp đông đặc được định hướng cao hơn và chủ yếu là nằm dọc theo hướng dòng chảy. Trong khi đó, các sợi trong lớp lõi có xu hướng căn chỉnh theo hướng dòng chảy. Độ dày của mỗi lớp được hình thành trong các sản phẩm có sợi gia cường phụ thuộc vào hình học của sản phẩm, thông số phun ép và đặc biệt là nhiệt độ khuôn. Ngoài ra, do sự truyền nhiệt từ vật liệu qua thành lòng khuôn diễn ra liên tục và giảm dần theo chiều dài dòng chảy nên sự phân bố sợi tại các vị trí khác nhau cũng khác nhau. Trong nghiên cứu này, nhiệt độ nóng chảy của vật liệu composite là 260 °C, nhiệt độ khuôn lần lượt là 30 °C - 110 °C nên mức chênh lệch nhiệt độ vật liệu và khuôn là khác nhau nên đặc trưng của các lớp 1, 2 và 3 (hình 4.9) cũng khác nhau và ảnh hưởng đến khả năng điền đầy và cơ tính sản phẩm, đặc biệt là tại các vị trí đường hàn của sản phẩm phun ép.

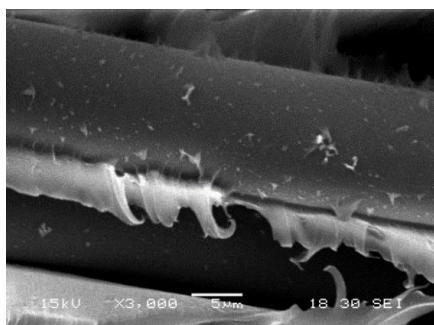


Hình 4.9: Cấu trúc hướng sợi của vật liệu composite trong lòng khuôn [70]

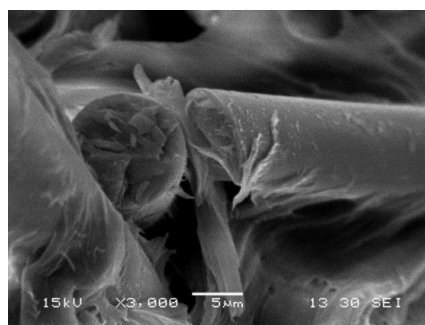
- Nhiệt độ khuôn có ảnh hưởng lớn đến định hướng sợi trong dòng chảy và chất lượng bề mặt. Nếu nhiệt độ khuôn thấp và chênh lệch lớn với nhiệt độ chảy của vật liệu thì bề mặt của sản phẩm sẽ rất thô và các sợi lộ trên bề mặt. Khi nhiệt độ khuôn tăng dần, chất lượng bề mặt sản phẩm được tăng lên, các 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. Nếu nhiệt độ khuôn thích hợp, tỉ lệ sợi được phân bố đều theo chiều dòng chảy và sản phẩm có bề mặt bóng, chất lượng hơn. Tuy nhiên, nếu nhiệt độ khuôn thấp hoặc xác định không đúng, bề mặt của sản phẩm sẽ trở nên thô ráp với các sợi bị phơi ra, đồng thời liên kết vật liệu tại đường hàn bị ảnh hưởng đáng kể và giảm độ bền của sản phẩm [70].

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

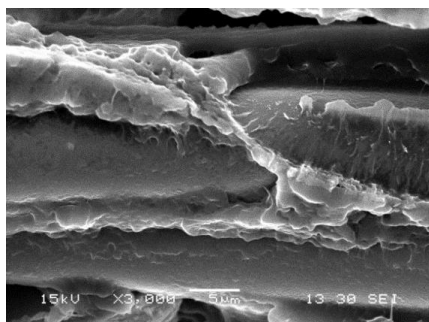
Trong luận án này, tác giả đã dùng phương pháp chụp SEM để nghiên cứu mức độ ảnh hưởng đối với các sản phẩm được phun ép từ vật liệu composite PA6 + 30 %GF, chiều dày 1 mm và nhiệt độ khuôn thay đổi từ 30 °C đến 110 °C. Kết quả ảnh SEM với độ phóng đại 3000 lần tại bề mặt mẫu được mô tả như hình 4.10. Qua đó, cho thấy 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 4.10a, 4.10b). Điều này ảnh hưởng lớn đến chất lượng điền đầy trong quá trình phun ép. 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 4.10c, 4.10d, 4.10e). Vì vậy, nâng cao nhiệt độ khuôn cũng là giải pháp để cải thiện khả năng liên kết sợi, qua đó có thể nâng cao độ bền sản phẩm composite [79].



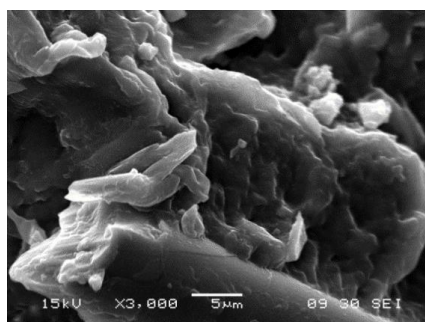
a. Nhiệt độ khuôn 30 °C



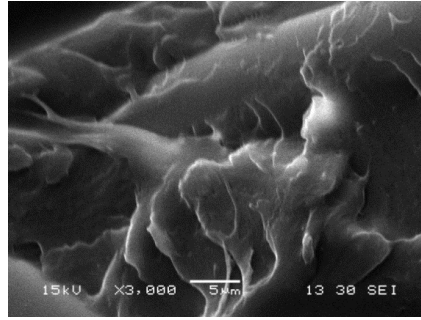
b. Nhiệt độ khuôn 50 °C



c. Nhiệt độ khuôn 70 °C



d. Nhiệt độ khuôn 90 °C

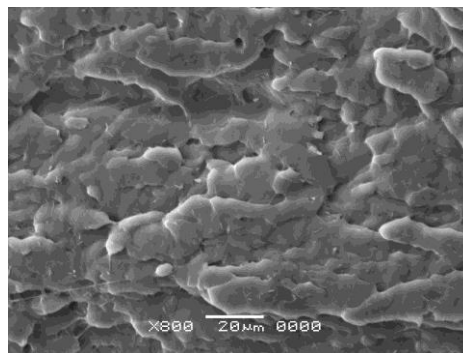


e. Nhiệt độ khuôn 110 °C

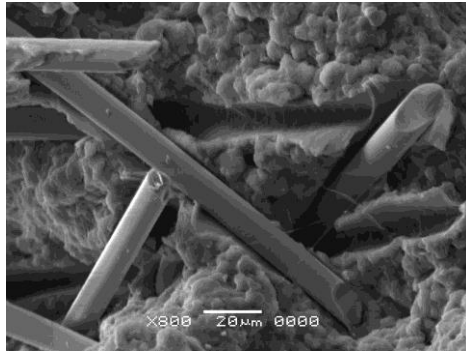
Hình 4.10: Liên kết sợi khi nhiệt độ khuôn thay đổi

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

Để đánh giá ảnh hưởng của tỉ lệ sợi đến phân bố sợi trong sản phẩm composite nhựa nhiệt dẻo, phương pháp chụp SEM với độ phóng đại 800 lần được sử dụng cho các mẫu sản phẩm được chế tạo bằng công nghệ phun ép với nhiệt độ khuôn 70 °C, chiều dày 1 mm và tỉ lệ sợi thay đổi từ 0 % đến 30 %. Kết quả phân tích hình ảnh 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 (hình 4.11a). Khi được gia cường sợi với $V_f = 5\% - 30\%$ thì phân bố sợi trong phun ép có sự thay đổi đáng kể (hình 4.11b - 4.11g). Trong đó, với $V_f = 30\%$ thì sợi ngăn 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.



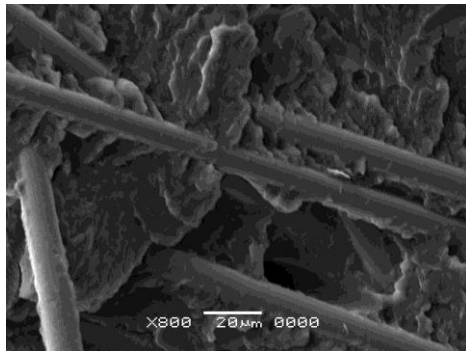
a. $V_f = 0\%$



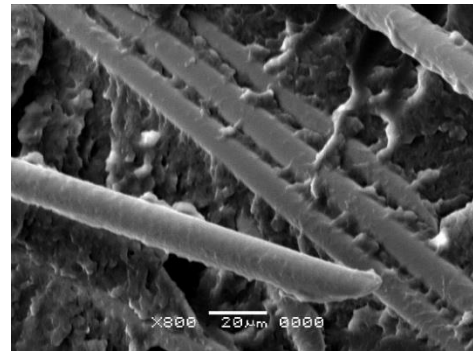
b. $V_f = 5 \%$



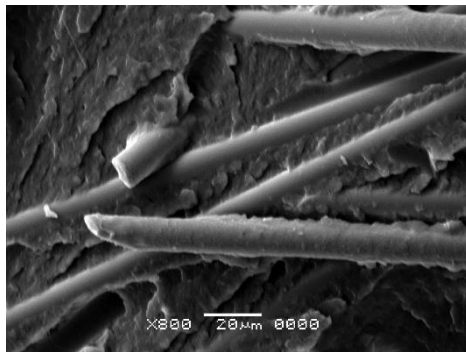
c. $V_f = 10 \%$



d. $V_f = 15 \%$



e. $V_f = 20 \%$



f. $V_f = 25 \%$



g. $V_f = 30 \%$

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

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 chiều dài dòng chảy (độ điền đầy) của vật liệu nhựa với nhiệt độ khuôn và chiều dày sản phẩm được xác lập dựa trên các kết quả thực nghiệm (bảng 4.1, 4.2, 4.3) và phần mềm **Minitab** đã được sử dụng. Qua

quá trình xử lý, đánh giá các thông số đầu vào ảnh hưởng trực tiếp đến khả năng điền đầy, phần mềm ứng dụng đã xác định được dạng phương trình tổng quát để về mối quan hệ chiều dài dòng chảy vật liệu composite ứng với từng yêu cầu cụ thể về nhiệt độ và chiều dày sản phẩm.

Mặt khác, căn cứ vào mối quan hệ về kết quả thực nghiệm của quá trình điền đầy vật liệu trong lòng khuôn khi ứng dụng mô hình cơ bản với ảnh hưởng của yếu tố nhiệt độ khuôn trong phun ép có quan hệ là dạng tuyến tính được thể hiện chi tiết như hình 4.1, 4.2 và 4.3.

Kết quả phương trình hồi quy tổng quát về mối quan hệ giữa chiều dài dòng chảy với nhiệt độ khuôn và chiều dày sản phẩm đã được xác định thông qua ứng dụng phần mềm **Minitab**, phương trình có dạng (4.1):

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

Trong đó, L: Chiều dài dòng chảy (mm), T: Nhiệt độ khuôn (°C), h: Chiều dày sản phẩm (mm), a, b và c là các hệ số phụ thuộc vào nhiều yếu tố như nhiệt độ khuôn, tỉ lệ sợi và chiều dày sản phẩm.

Ứng với từng tỉ lệ sợi gia cường, nhiệt độ bề mặt lòng khuôn và chiều dày sản phẩm khác nhau các phương trình hồi quy được xác định cụ thể và kiểm nghiệm độ chính xác trên phần mềm ứng dụng với độ tin cậy cao, được thể hiện chi tiết như bảng 4.11 và phụ lục 2. Giới hạn của phương trình hồi quy ở các điều kiện thực nghiệm như trên cùng với phương pháp gia nhiệt thể tích bằng nước.

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

$V_f(\%)$	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

4.9. 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 của vật liệu composite với sự thay đổi của nhiệt độ và tỉ lệ sợi được xác định dựa vào quá trình thực nghiệm (bảng 4.1, 4.2 và 4.3) 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 sản phẩm (mm)	Tỉ lệ sợi (%)	Nhiệt độ khuôn (°C)				
		30	50	70	90	110
Tỉ lệ chiều dài dòng chảy và chiều dày sản phẩm						
0,5	0 - 30	26,6 - 59,6	28,6 - 65,4	39,4 - 75,5	47,2 - 79,4	51,6 - 82,8
0,75		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 giữa tỉ lệ chiều dài dòng chảy và chiều dày sản phẩm (bảng 4.12) với từng nhiệt độ khuôn, chúng ta có thể xác định được giới hạn khả năng điền đầy lòng khuôn tương ứng với từng kích thước chiều dày chi tiết, tỉ lệ sợi gia cường. Qua đó, thuận lợi hơn trong quá trình thiết kế, chế tạo lòng khuôn ứng dụng vào thực tiễn sản xuất, giảm được thời gian, chi phí và nâng cao hiệu quả trong quá trình phun ép.

Nhận xét chung:

- Kết quả mô phỏng và thực nghiệm về chiều dài dòng chảy vật liệu composite nhựa nhiệt dẻo trong lòng khuôn phun ép là tương đối giống nhau và có đặc điểm của dòng chảy “Fountain flow”. Do đó, có thể lựa chọn một trong hai

phương pháp này để phân tích, đánh giá ảnh hưởng của nhiệt độ khuôn đến chiều dài dòng chảy vật liệu composite với tỉ lệ sợi gia cường khác nhau. Bên cạnh đó, phương trình hồi quy về chiều dài dòng chảy cũng có thể được sử dụng để dự đoán chiều dài dòng chảy với phương pháp gia nhiệt thể tích bằng nước.

- Điều khiển nhiệt độ khuôn đóng vai trò quan trọng trong công nghệ phun ép vật liệu composite nhựa nhiệt dẻo. Đây là một giải pháp nhằm nâng cao khả năng điền đầy lòng khuôn, cũng như cải thiện phân bố và liên kết sợi gia cường trong quá trình phun ép các sản phẩm bằng vật liệu composite, đặc biệt là đối với các sản phẩm thành mỏng. Trong đó, với nhiệt độ khuôn đủ lớn ($> 70\text{ }^{\circ}\text{C}$), khả năng chảy của dòng vật liệu composite được cải thiện đáng kể. Tuy nhiên, với phương pháp gia nhiệt thể tích bằng nước có hỗ trợ của môi chất công nghiệp chỉ có thể nâng nhiệt độ khuôn đến $110\text{ }^{\circ}\text{C}$. Do đó, phương pháp gia nhiệt bằng khí nóng với nhiệt độ bề mặt khuôn cao (đến $140\text{ }^{\circ}\text{C}$) tiếp tục được nghiên cứu ở chương 5 đối với sản phẩm thành mỏng và sản phẩm gân mỏng.

Chương 5

ỨNG DỤNG PHƯƠNG PHÁP ĐIỀU KHIỂN NHIỆT ĐỘ KHUÔN NÂNG CAO ĐỘ ĐIỀN ĐẦY SẢN PHẨM THÀNH MỎNG, GÂN MỎNG

Tương tự như nội đã trình bày ở chương 4, trong chương này từ kết quả ghi nhận được bằng mô phỏng và thực nghiệm ứng dụng phương pháp điều khiển nhiệt độ khuôn để nâng cao độ điền đầy đối với mô hình sản phẩm thành mỏng và sản phẩm gân mỏng. Qua đó, đánh giá được phương pháp gia nhiệt bằng khí nóng từ bên ngoài là giải pháp mang lại hiệu quả cao trong quá trình điều khiển nhiệt độ khuôn nhằm cân bằng dòng chảy vật liệu, nâng cao khả năng điền đầy đối với các sản phẩm composite có dạng thành mỏng và gân mỏng.

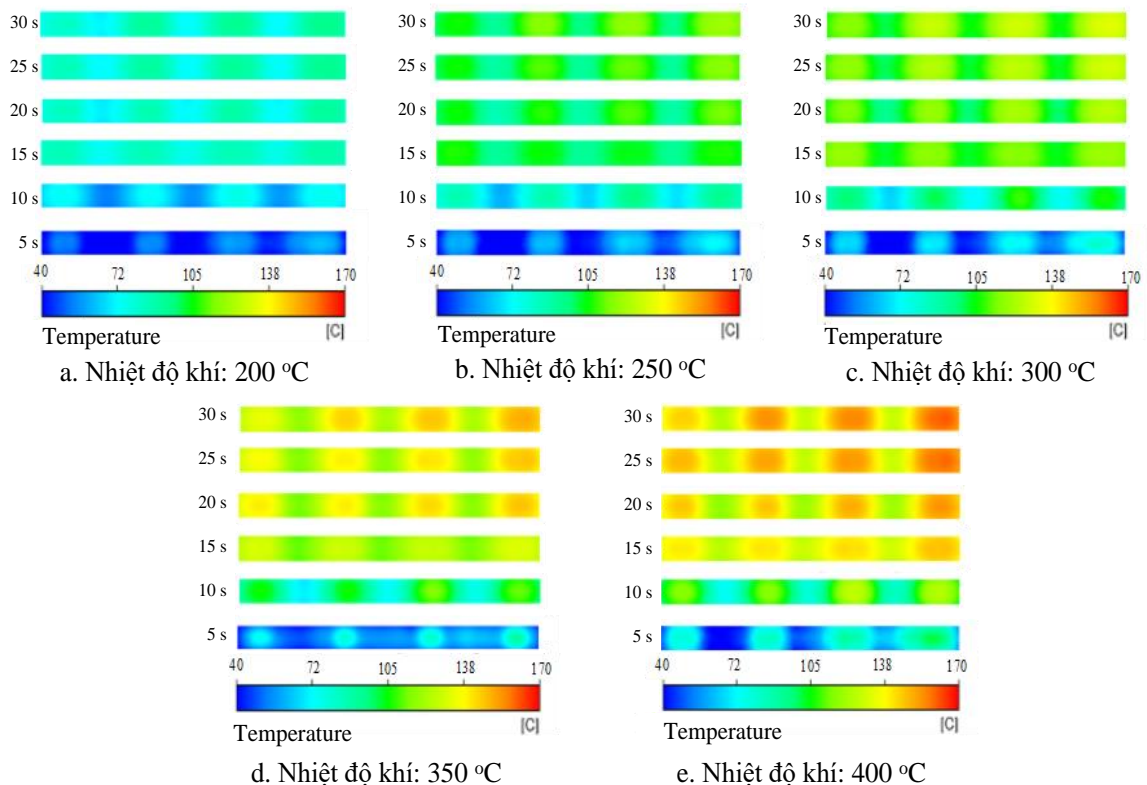
5.1. Mô hình dòng chảy lòng khuôn sản phẩm thành mỏng

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

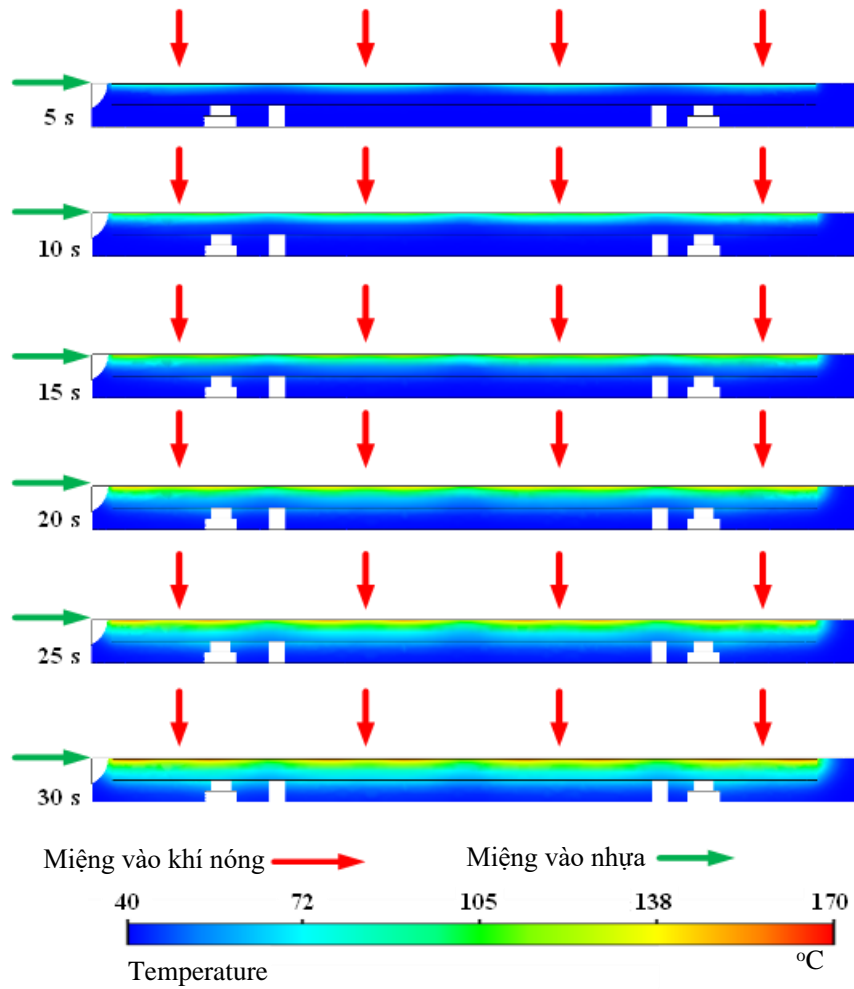
Trong nghiên cứu trước đây khi sử dụng khí nóng để tăng nhiệt độ khuôn, hiệu quả của quá trình gia nhiệt cho thấy nhiệt độ khuôn có thể tăng cao hơn 110 °C. Tuy nhiên, đối với lòng khuôn phức tạp, sự phân bố nhiệt độ bên trong lòng khuôn cần được nghiên cứu [80-83]. Do đó, trong nghiên cứu này, với phương pháp Ex-GMTC được sử dụng cho quá trình phun ép, quá trình gia nhiệt được xem xét liên quan đến tốc độ gia nhiệt và sự phân bố nhiệt độ trong lòng khuôn. Để nghiên cứu ứng dụng Ex-GMTC, mô hình mô phỏng được thiết lập như trong hình 3.20 với hệ thống sấy khí có bốn cổng phun khí nóng. Các cổng này được bố trí dọc theo lòng khuôn để cải thiện sự phân phối nhiệt độ và tốc độ gia nhiệt. 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 30 s và nhiệt độ bề mặt lòng khuôn ban đầu là 30 °C.

Kết quả mô phỏng sự phân bố nhiệt độ của lòng khuôn được thể hiện như hình 5.1 và 5.2, và nhiệt độ tại bốn điểm đo được như bảng 5.1. Kết quả cho thấy sự khác

biệt về nhiệt độ rõ ràng vào đầu giai đoạn gia nhiệt vì tốc độ gia nhiệt tại các cổng 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, hiện tượng này thể hiện hình 5.2. Ở nhiệt độ gia nhiệt cao hơn, bề mặt lòng khuôn cho thấy xu hướng giải phóng năng lượng nhiệt lớn hơn cho môi trường. 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 30 s. Để giảm sự mất cân bằng này, hệ thống sấy khí có thể được thiết kế với nhiều cổng khí hơn. Tuy nhiên, so với các phương pháp gia nhiệt khác cho khuôn phun ép [84-86], kết quả phân bố nhiệt độ cho thấy phương pháp gia nhiệt này, với bốn cổng gia nhiệt và chiều dài lòng khuôn 175 mm, rất có lợi. Ngoài ra, hiệu quả của việc sử dụng khối insert được thể hiện bằng sự xuất hiện nhiệt độ cao hơn ở bề mặt lòng khuôn.



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



Hình 5.2: Kết quả mô phỏng sự phân bố nhiệt độ bề mặt lòng khuôn sau 30 s gia nhiệt tại mặt cắt A - A với nhiệt độ khí nóng 400 °C

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. Kết quả này là do sự đối lưu nhiệt giữa khí nóng và bề mặt khuôn. Ở cùng nhiệt độ, khi nhiệt độ lòng khuôn tăng, sự truyền nhiệt năng thấp hơn. Do đó, với bốn cổng 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 °C/s với khí 400 °C. Trong trường hợp này, mặc dù có một hạn chế trong việc tăng nhiệt độ, tuy nhiên bề mặt khuôn đạt 158,4 °C, đủ để toàn bộ vật liệu nhựa dễ dàng nóng chảy và chảy vào lòng khuôn. Ngược lại, hạn chế này làm giảm quá trình gia nhiệt đối với dạng lòng khuôn có tấm insert, đặc biệt với sản phẩm phun ép dạng mỏng. Đây cũng là một lợi thế cho Ex-GMTC so với các phương pháp gia nhiệt khác [86-88].

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 (°C)				
		200	250	300	350	400
		Nhiệt độ lòng khuôn (°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

Nhìn chung, kết quả mô phỏng cho thấy:

- Có sự khác biệt về nhiệt độ rõ rệt vào đầu giai đoạn gia nhiệt vì tốc độ gia nhiệt tại các cổng phun khí rất mạnh trong giai đoạn này.
- Khi tăng nhiệt độ gia nhiệt thì sự tăng nhiệt độ bề mặt khuôn còn hạn chế. Nhiệt độ chỉ tăng khi bắt đầu quá trình gia nhiệt, sau 20 s nhiệt độ tăng chậm lại.
- Với bốn cổng 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 °C/s với khí 400 °C, bề mặt khuôn đạt 158,4 °C, đủ để toàn bộ vật liệu nhựa dễ dàng nóng chảy và chảy vào lòng khuôn.

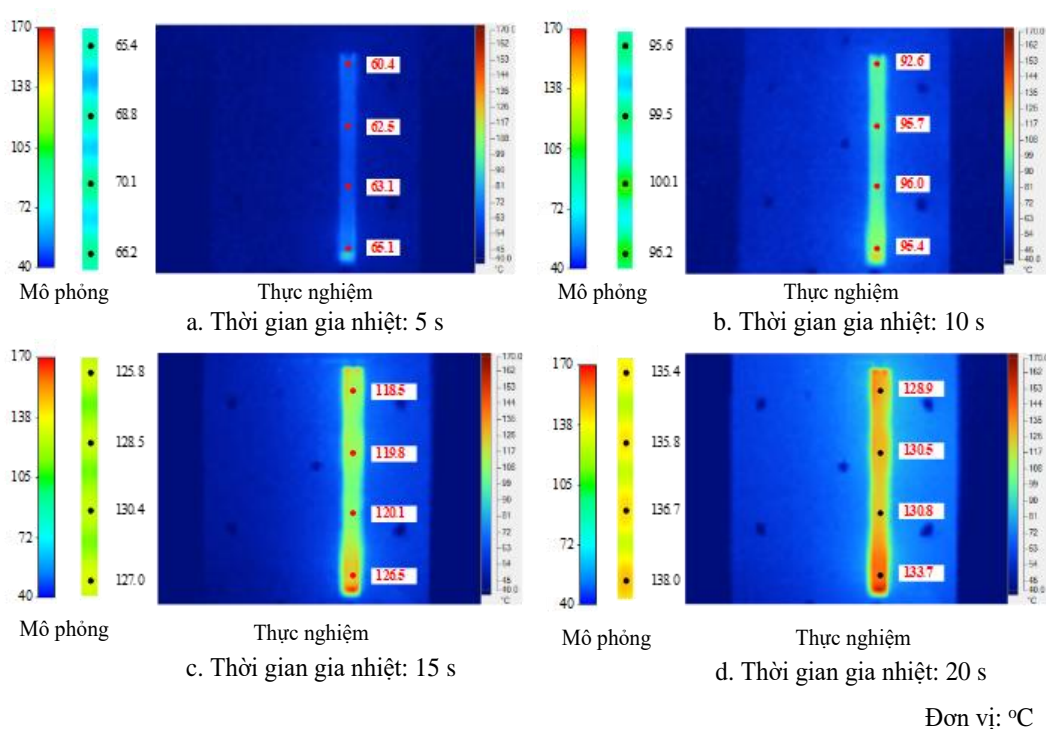
5.1.2. Kết quả thực nghiệm phân bố nhiệt độ và chiều dài dòng chảy

5.1.2.1. Kết quả phân bố nhiệt độ khuôn

Sử dụng camera hồng ngoại, 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, khi bắt đầu làm chảy vật liệu, 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. Ngoài ra, tính đồng nhất của phân bố nhiệt độ được cải thiện rõ ràng sau bước gia nhiệt. Kết quả này có thể được giải thích bằng sự dẫn nhiệt của tấm insert. Trong giai đoạn này, nhiệt sẽ được truyền từ vùng nhiệt độ cao hơn sang vùng nhiệt độ thấp hơn. Do đó, sự phân bố nhiệt độ của lòng khuôn sẽ đồng đều hơn. Theo kết quả thực nghiệm, chênh lệch nhiệt độ dưới 5 °C đối với tất cả các điểm trong lòng khuôn (175 mm × 12 mm) mức độ đồng đều nhiệt độ này được cải thiện hơn nhiều so với nghiên cứu trước đây và giúp giảm sự cong vênh của các sản phẩm nhựa [59,73]. Kết quả cũng chỉ ra rằng với cách bố trí hợp lý các

cổng phun khí, Ex-GMTC có thể được áp dụng cho hình dạng phức tạp của lòng khuôn.

Nhiệt độ tại bốn điểm được ghi nhận bằng camera nhiệt (hình 5.3) để so sánh với kết quả mô phỏng (hình 5.1). Kết quả so sánh cho thấy có sự khác nhau về nhiệt độ giữa mô phỏng và thực nghiệm nhưng 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 tương đối chính xác.

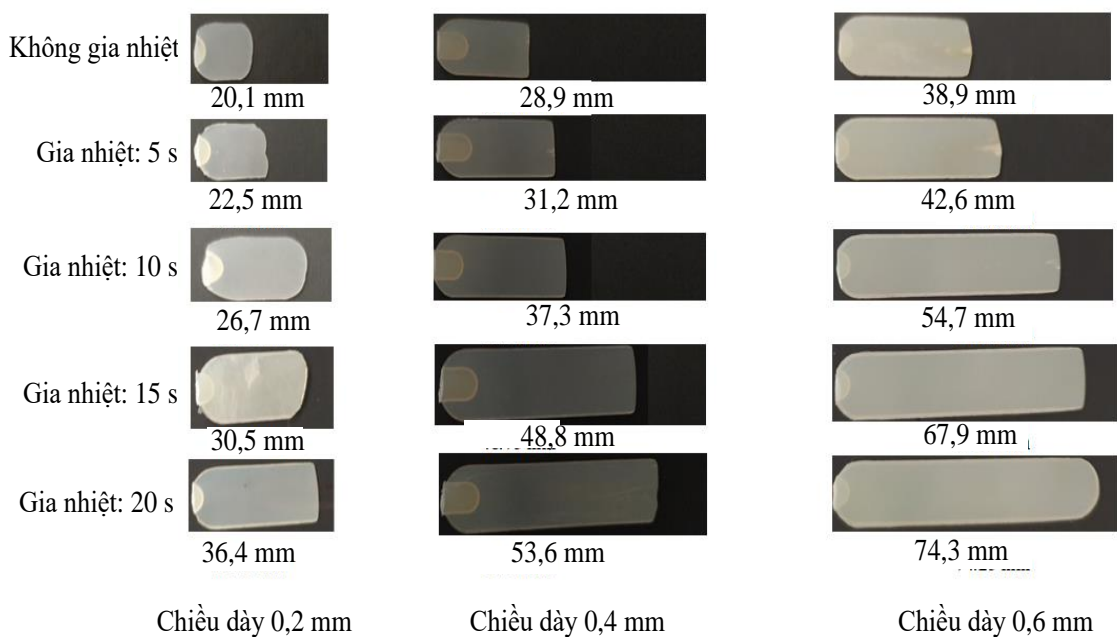


Hình 5.3: Kết quả thực nghiệm phân bố nhiệt độ tại bề mặt lòng khuôn với thời gian gia nhiệt khác nhau

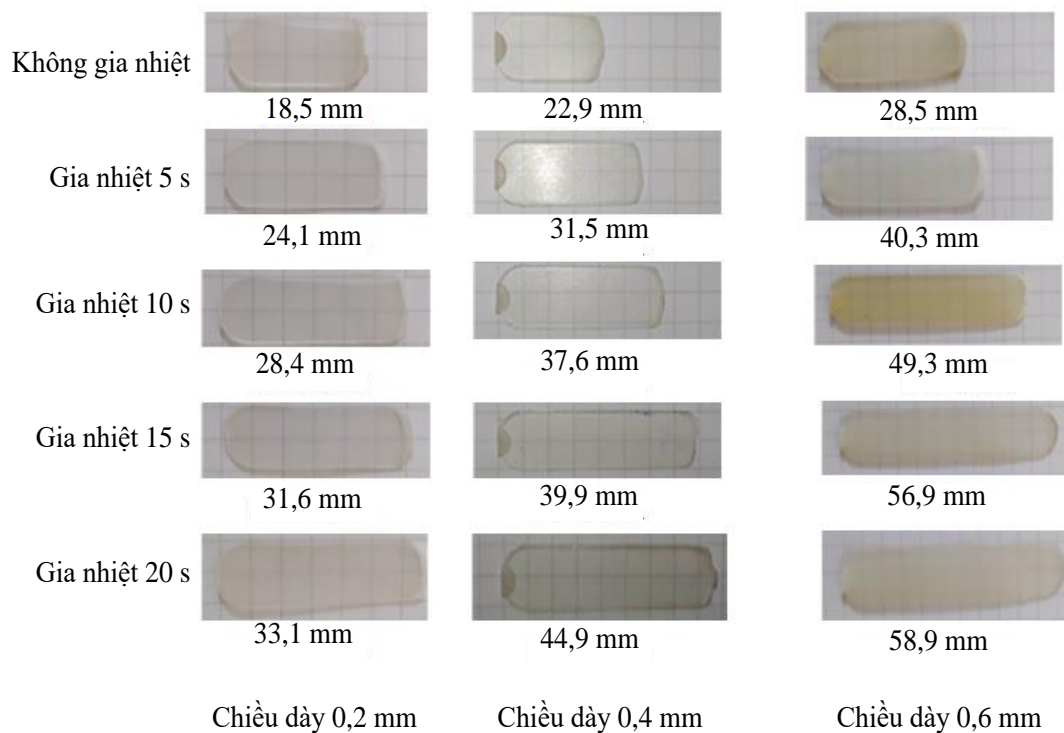
5.1.2.2. Kết quả xác định chiều dài dòng chảy

Thực nghiệm quá trình phun ép sử dụng phương pháp gia nhiệt bằng khí nóng cho mô hình sản phẩm có thành mỏng và nhiệt độ khuôn cao thu được kết quả chiều dài dòng chảy với vật liệu nhựa PA6 và PA6 + 30 %GF tương ứng như hình 5.4 và 5.5. Đồng thời, phần trăm cải thiện chiều dài dòng chảy theo thời gian gia nhiệt với các chiều dày sản phẩm thành mỏng khác nhau của các loại vật liệu này

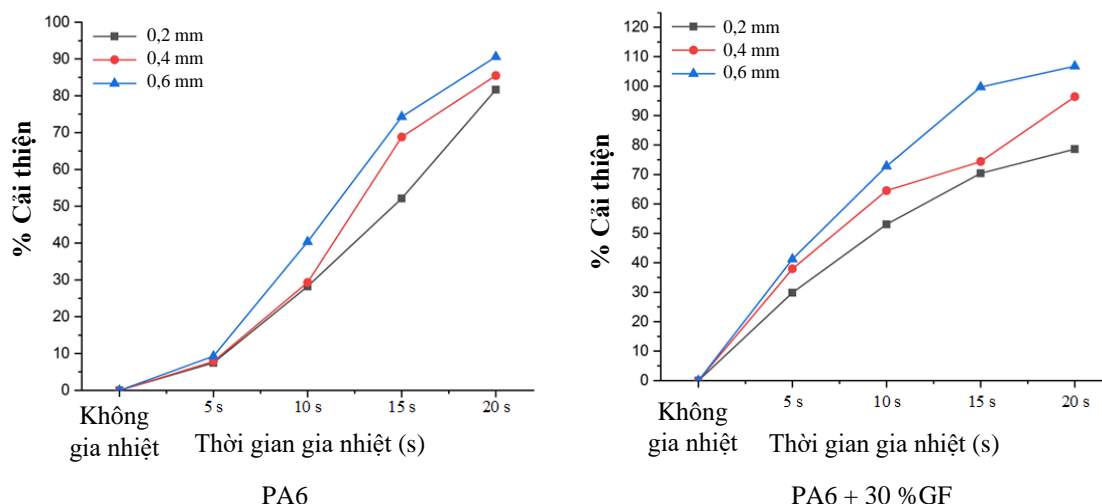
cũng được thể hiện như hình 5.6.



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 composite
PA6 + 30 %GF



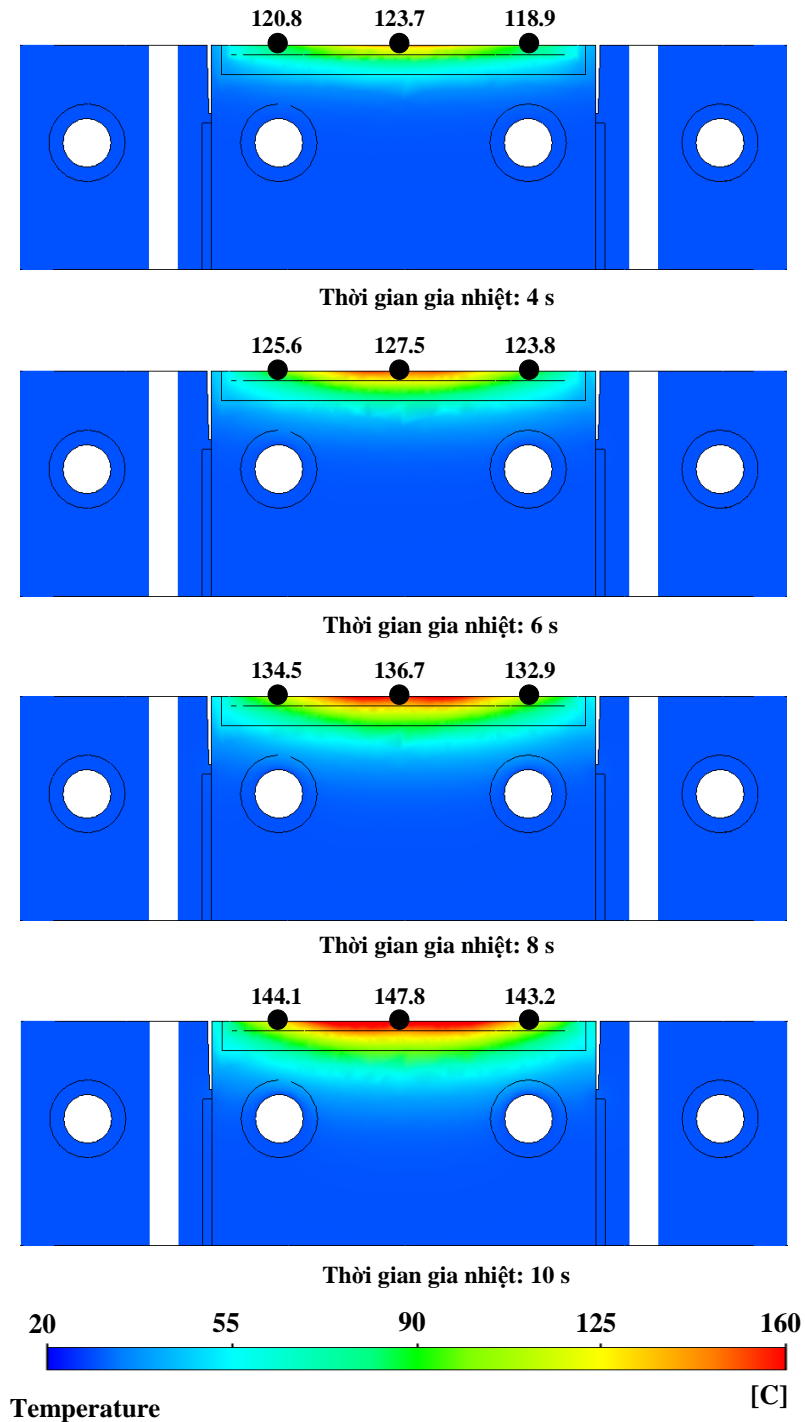
Hình 5.6: Sự cải thiện chiều dài dòng chảy với vật liệu PA6 và PA6 + 30 %GF

So với các nghiên cứu trước đây, đa số chỉ thực hiện trong vùng giới hạn về nhiệt độ khuôn của vật liệu nhựa [89,90]. Trong nghiên cứu này, vùng nhiệt độ khuôn được mở rộng ra đến vùng nhiệt độ cao hơn giới hạn cho phép của vật liệu nhựa. Kết quả thực nghiệm cho thấy 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 38,9 mm lên 74,3 mm) khi gia nhiệt 20 s. 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 58,9 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 [91], với khả năng cải thiện chiều dài dòng chảy là trên 80 % với thời gian gia nhiệt là 20 s. 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 đông đặc trong quá trình vật liệu chảy trong lòng khuôn, việc hạn chế lớp đông đặc này càng cho thấy hiệu quả hơn trong việc cải thiện chiều dài dòng chảy với các trường hợp có chiều dày nhỏ.

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

Để đánh giá phân bố nhiệt độ và tính đồng nhất dọc theo chiều dày của khuôn, bước gia nhiệt được mô phỏng với sự gia nhiệt khí nóng 400 °C cho mô hình gân mỏng (hình 3.25) và sự phân bố nhiệt độ ở mặt cắt B-B được thể hiện như hình 5.7.



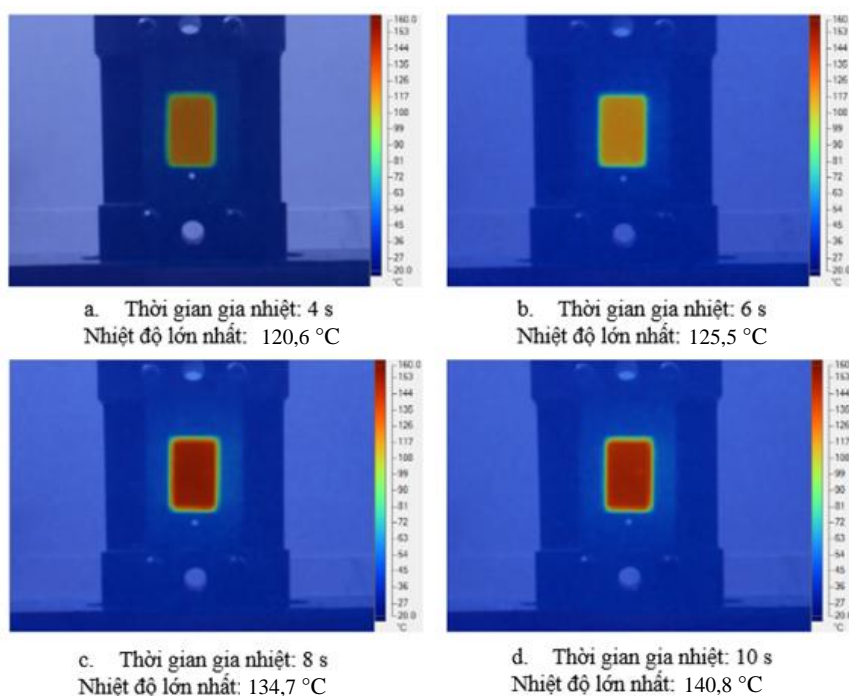
Hình 5.7: Kết quả mô phỏng phân bố nhiệt độ bề mặt khuôn gia nhiệt khí nóng 400 °C tại mặt cắt B-B sản phẩm gân mỏng

Theo đó kết quả là nhiệt độ cao nhất nằm ở bề mặt trung tâm của tấm insert. Bề mặt khuôn của gân không gần với cổng gia nhiệt, do đó, hiệu quả gia nhiệt không rõ ràng như là tấm insert trong lòng khuôn. 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. Ngoài ra, nhiệt độ tại vị trí gia nhiệt trung tâm (điểm 2, hình 3.27) luôn cao hơn nhiệt độ tại các điểm khác. Điều này là do điểm 2 gần cổng gia nhiệt khí nóng hơn so với các điểm khác.

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 tính đồng nhất nhiệt độ, camera hồng ngoại đo nhiệt được sử dụng để xác định sự phân bố nhiệt độ trong khuôn gân mỏng ở cuối bước gia nhiệt. Các kết quả này được hiển thị trong hình 5.8. 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.


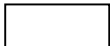


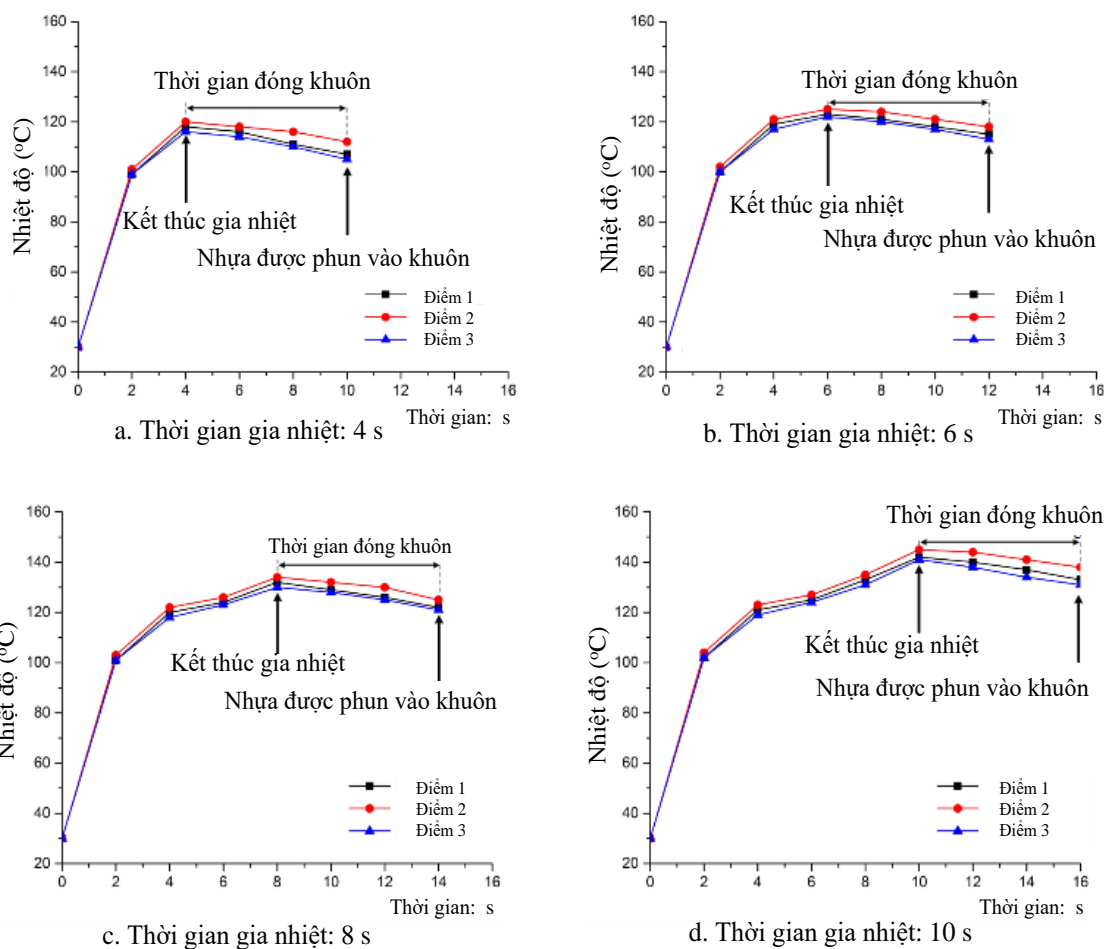
Hình 5.8: Phân bố nhiệt độ kết thúc bước gia nhiệt cho khuôn gân mỏng với thời gian gia nhiệt khác nhau

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

	Nhiệt độ khuôn khi gia nhiệt
	Nhiệt độ khuôn khi kết thúc gia nhiệt và tiến hành đóng khuôn



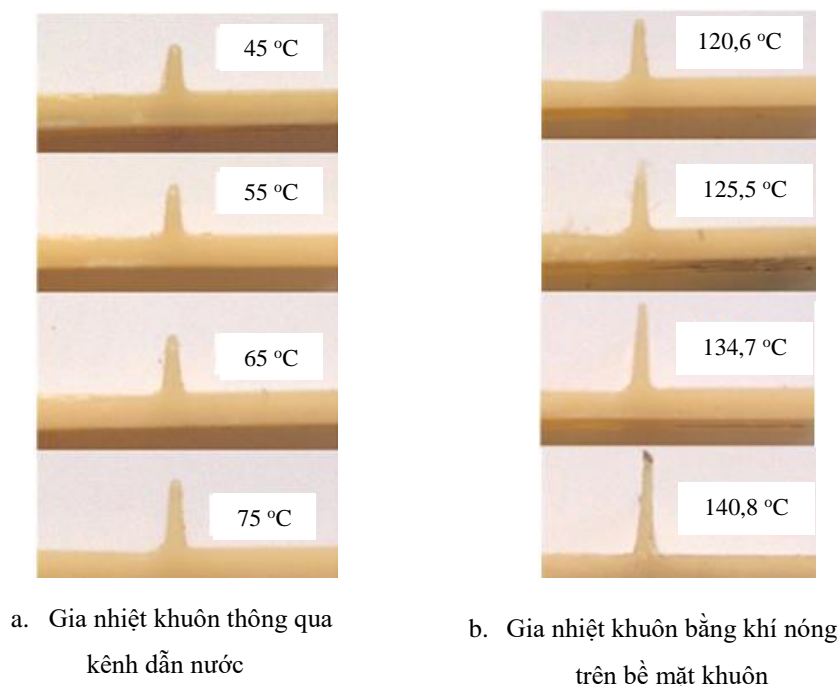
Hình 5.9: So sánh giá trị nhiệt độ bề mặt khuôn gân mỏng tại ba vị trí đo

Để nghiên cứu bước gia nhiệt cho khuôn gân thành mỏng, nhiệt độ của bề mặt lòng khuôn được đo tại ba điểm (hình 3.27). Trong đó, quá trình đo được thực hiện 10 lần bằng thực nghiệm, nhiệt độ trung bình tại các vị trí đo được ghi nhận và tổng hợp trong bảng 5.2, cũng như kết quả so sánh nhiệt độ tại ba vị trí đo được thể hiện như hình 5.9. Với các giá trị thực nghiệm được tô màu trong bảng 5.2 thể hiện

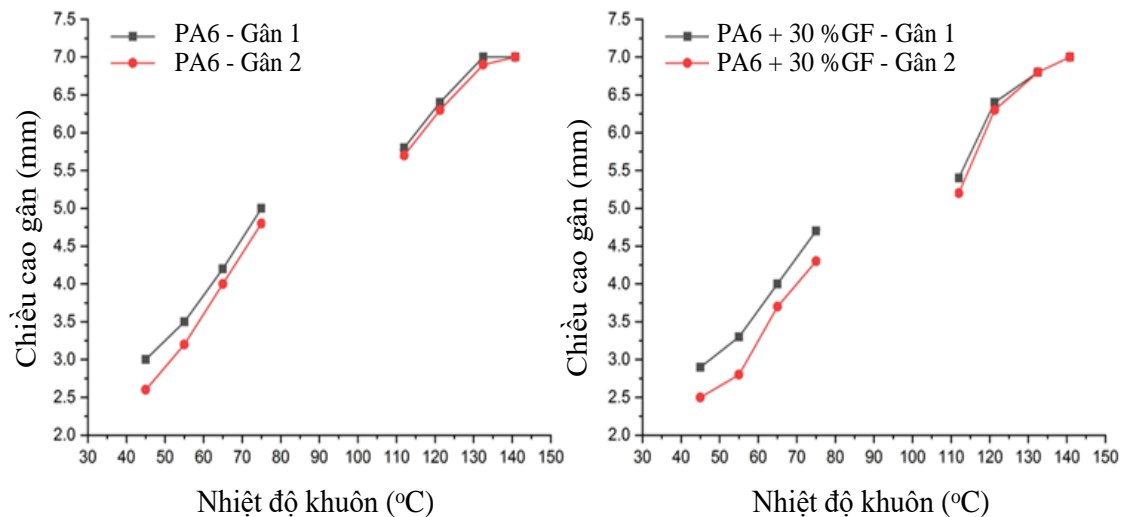
nhiệt độ khuôn trong quá trình gia nhiệt, các vị trí không tô màu diễn tả giá trị nhiệt độ khuôn sau khi quá trình gia nhiệt kết thúc (đây là khoảng thời gian thiết bị gia nhiệt được di chuyển ra khỏi vùng gia nhiệt và hai nửa khuôn được đóng lại). Thông thường, thời gian đóng khuôn nhỏ hơn 6s. Vì vậy, 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 dùng phun vào vùng gia nhiệt, ngoài ra, nhiệt năng tại bề mặt khuôn truyền vào phần thể tích tấm khuôn và không khí.

5.2.2.2. Kết quả độ dày chiều cao gân mỏng

Ở mỗi nhiệt độ khuôn, chu trình phun 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 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.



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



Hình 5.11: So sánh chiều cao gân mỏng ứng với các nhiệt độ khuôn khác nhau của vật liệu 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 mm đến 4,2 mm. Tuy nhiên, khi Ex-GMTC được sử dụng với nguồn khí 400 °C, nhiệt độ cao nhất được tập trung vào tấm insert, sự cải thiện của gân mỏng đã được quan sát rõ ràng. Cụ thể, khi 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 đã được tích hợp trong khuôn (hình 3.26). 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.

✚ Nhận xét chung:

Trong chương này, điều khiển nhiệt độ khuôn bằng khí nóng (Ex-GMTC) đã

được áp dụng cho chu trình phun ép để cải thiện khả năng điền đầy lòng khuôn. Các mô phỏng và thực nghiệm đã được thực hiện với các khuôn có chiều dài dòng chảy và gân mỏng khác nhau. 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. Dựa trên các kết quả, đã thu được các kết luận sau:

- Với chiều dài 175 mm, bề mặt lòng khuôn của khuôn có chiều dài dòng chảy được điền đầy cho thấy quá trình gia nhiệt tương đối cân bằng khi sử dụng bốn cổng khí nóng, mặc dù 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, các mô phỏng và thực nghiệm cho thấy Ex-GMTC có một hạn chế về hiệu quả 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 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 đó 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.

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 quy 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 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. 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 $6,4\text{ }^{\circ}\text{C/s}$ với khí $400\text{ }^{\circ}\text{C}$.

- 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 $158,4\text{ }^{\circ}\text{C}$, 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 $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ đến $75\text{ }^{\circ}\text{C}$, chiều cao gân đã tăng từ $2,8\text{ mm}$ đến $4,2\text{ mm}$. Khi Ex-GMTC được sử dụng, nhiệt độ khuôn thay đổi từ $120,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ đến $140,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 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:

1. Nghiên cứu định hướng sợi nhằm nâng cao cơ tính của sản phẩm composite nhựa nhiệt dẻo thông qua quá trình điều khiển nhiệt độ khuôn cao.
2. 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.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Maw-Ling Wang, Rong-Yeu Chang, Chia-Hsiang (David) Hsu, *Molding Simulation: Theory and Practice*, Carl Hanser Verlag, 2018.
- [2] A. Maltby, Internal lubricants yield multiple benefits in injection moulding, *Plastics, Additives and Compounding*, Vol. 7 (6), 2005, p. 28-31.
- [3] Junji Hou, Guaqun Zhao and Guilong Wang, Polypropylene/talc foams with high weight-reduction and improved surface quality fabricated by mold-opening microcellular injection molding, *Journal of Materials Research and Technology*, Vol. 12, 2021, p. 74-86.
- [4] J. E. M. Alfonso, M. Félix, A. Romero and A. Guerrero, Development of new albumen based biocomposites formulations by injection moulding using chitosan as physicochemical modifier additive, *Composites Part B: Engineering*, Vol. 61, 2014, p. 275-281.
- [5] Rohit George Sebastian, Christof Obertscheider, Ewald Fauster, Ralf Schledjewski, Equation for modelling energy transfers in multi-phase flows through porous media, optimised for liquid composite moulding processes, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 181 (2021) 121856
- [6] J. L. Laursen, I. M. Sivebaek, L.W. Christoffersen, M. Papsoee, M.E. Vigild, P. Brondsted and A. Horsewell, Influence of tribological additives on friction and impact performance of injection moulded polyacetal, *Wear*, Vol. 267 (12), 2009, p. 2294-2302.
- [7] G. Wang, G. Zhao, H Li and Y Guan, Research of thermal response simulation and mold structure optimization for rapid heat cycle molding processes, respectively, with steam heating and electric heating, *Materials & Design*, Vol. 31 (1), 2010, p. 382-395.
- [8] H. L. Lin, S. C. Chen, M. C. Jeng, P. S Minh, J A. Chang and J. R. Hwang, Induction heating with the ring effect for injection molding plates, *International*

- Communications in Heat and Mass Transfer, Vol. 39 (4), 2012, p. 514-522.
- [9] S. C. Chen, J. A. Chang, W. R. Jong and Y. P. Chang, Efficiencies of various mold surface temperature controls and part quality, Proc. of ANTEC Conf, 2006, p. 1280-1284.
- [10] A. Kumar, P. S. Ghoshdastidar and M.K Muju, Computer simulation of transport processes during injection mold-filling and optimization of the molding conditions, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 120 (1-3), 2002, p. 438-449.
- [11] H. L. Chen, S. C. Chen, W. H. Liao, R. D. Chien and Y. T. Lin, Effects of insert film on asymmetric mold temperature and associated part warpage during in-mold decoration injection molding of PP parts, International Communications in Heat and Mass Transfer, Vol. 41, 2013, p. 34-40.
- [12] A. C. Liou, R. H. Chen, C. K. Huang, C. H. Su and P. Y. Tsai, Development of a heat-generable mold insert and its application to the injection molding of microstructures, Microelectronic Engineering, Vol. 117, 2014, p. 41-47.
- [13] M. C. Jeng, S. C. Chen, P. S. Minh, J. A. Chang and C. S. Chung, Rapid mold temperature control in injection molding by using steam heating, International Communications in Heat and Mass Transfer, Vol. 37(9), 2010, p. 1295-1304.
- [14] W. Wu and N. Yoon Lee, Two-layer microdevice for parallel flow-through PCRs employing plastic syringes for semi-automated sample injection and a single heater for amplification: Toward process simplification and system miniaturization, Sensors and Actuators B: Chemical, Vol. 181, 2013, p. 756-765.
- [15] W. B. Young and A. Chen, Injection-compression molded part shrinkage uniformity comparison between semicrystalline and amorphous plastics, Transactions of the Aeronautical and Astronautical Society of the Republic of China, Vol. 34 (1), 2006, p. 39-44.

- [16] Mustafa Kurt, Yusuf Kaynak, Omer S. Kamber, Bilcen Mutlu and Barkin Bakir, Influence of molding conditions on the shrinkage and roundness of injection molded parts, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2010, Volume 46, Numbers 5-8, p. 571-578.
- [17] Xiaojian Wang, Xiaohu Niu, Xiaoxue Wang, Xiaowei Qiu, Liangbi Wang, Effects of filler distribution and interface thermal resistance on the thermal conductivity of composites filling with complex shaped fillers, *International Journal of Thermal Sciences* 160 (2021) 106678, doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2020.106678
- [18] Xi-Ping Li, Guo-Qun Zhao and Can Yang, Effect of mold temperature on motion behavior of short glass fibers in injection molding process, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 73, 2014, p. 639-645.
- [19] W. N. Ota, S. C. Amico and K. G. Satyanarayana, Studies on the combined effect of injection temperature and fiber content on the properties of polypropylene - glass fiber composites, *Composites Science and Technology*, Vol. 65 (6), 2005, p. 873–881.
- [20] Parvin Shokri, Naresh Bhatnagar, effect of packing pressure and mold temperature on fiber orientation in injection molding of reinforced plastics, *The 8th International Conference on Flow Processes in Composite Materials (FPCM8) Douai, FRANCE - 11 - 13 July 2006*
- [21] Ankuloriya, Rohit Rajvaidya, Characterization of ABS composites reinforced short glass fiber, *International Journal of Research in Engineering & Technology*, 2015, p. 35-42
- [22] Attel manjunath, Dr. D V Girish, Effect of short glass fiber reinforcement on characteristics of polymer matrix (polycarbonate) - an experimental study, *International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET)*, 2010, p. 124-133

- [23] S. C. Chen, H. M. Li, S. S. Hwang and H. H. Wang, Passive mold temperature control by a hybrid filming-microcellular injection molding processing, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, Vol. 35 (7), 2008, p. 822-827.
- [24] S. C. Chen, R. D. Chien, S. H. Lin, M. C. Lin and J. A. Chang, Feasibility evaluation of gas-assisted heating for mold surface temperature control during injection molding process, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, Vol. 36 (8), 2012, p. 806-812.
- [25] S. C. Chen, Y. Chang, Y. P. Chang, Y. C. Chen and C. Y. Tseng, Effect of cavity surface coating on mold temperature variation and the quality of injection molded parts, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, Vol. 36 (10), 2009, p. 1030-1035.
- [26] Ming-Ching Yu, Wen-Bin Young and Pe-Ming Hsu, Micro-injection molding with the infrared assisted mold heating system, *Materials Science and Engineering: A*, Vols. 460-461, 2007, p. 288-295..
- [27] <http://cokhinangluong.com/news/cong-nghe/viet-nam-ung-dung-thanh-cong-vat-lieu-composite-vao-san-xuat-48/> (truy cập ngày 05/05/2015).
- [28] Đào Lê Chung, Nguyễn Văn Phục, Bùi Đức Lộc và Ninh Quang Oanh, Ứng dụng vật liệu composite trên xe tải nhẹ Kia-Thaco, Hội nghị khoa học và công nghệ lần thứ 12 - Đại học Bách khoa Tp.HCM, 2011, CDROM.
- [29] Trần Minh Hồ, Khảo sát ảnh hưởng tỉ lệ của vật liệu gia cường đến tính chất vật liệu composite lai trên nền nhựa polymer, *Nghiên cứu khoa học - Đại học Nha Trang*, 2011.
- [30] Phan Thị Minh Ngọc, Vũ Minh Đức, Phạm Thị Lánh, Đoàn Thị Yến Oanh, Quán Mai Anh và Hà Thị Hà, Nghiên cứu chế tạo vật liệu polyme composit từ hệ nhựa epoxy/DDS gia cường sợi thủy tinh có mặt vi sợi xenlulo, *Tạp chí Hóa học*, 2012, tr. 336-340.

- [31] Bùi Thị Thu Phương, Nguyễn Võ Thông và Nguyễn Thế Hùng, Nghiên cứu tối ưu hóa yếu tố nhiệt độ trong chế tạo vật liệu cốt thủy tinh composite polymer, Tạp chí KHCN Xây dựng, Số 4, 2016, tr. 49-53.
- [32] Trần Minh Thế Uyên, Nghiên cứu ảnh hưởng của gia nhiệt khuôn phun ép bằng khí nóng đến độ bền sản phẩm nhựa dạng thành mỏng, Luận án tiến sĩ - Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp. HCM, 2020.
- [33] Đặng Văn Nghìn và các cộng sự, Nghiên cứu thiết kế và chế tạo hệ thống khuôn ép phun nhựa nhiệt dẻo kỹ thuật với kênh dẫn nóng có điều khiển, Đề tài nghiên cứu trọng điểm cấp quốc gia, 2015.
- [34] Phạm Sơn Minh và Phạm Minh Dang, Nâng cao độ bền của đường hàn trong quá trình ép phun nhựa bằng phương pháp điều khiển nhiệt độ khuôn, Tạp chí Cơ Khí Việt Nam Số 1+ 2, 2014, tr. 75-82.
- [35] Phạm Sơn Minh, Đỗ Thành Trung và Lê Võ, Hạn chế độ cong vênh của sản phẩm nhựa polypropylene dạng tấm bằng phương pháp điều chỉnh nhiệt độ, Tạp chí Cơ Khí Việt Nam Số 7, 2014, tr. 50-54.
- [36] <http://www.fpts.com.vn>, Báo cáo chi tiết ngành nhựa về cơ cấu sản phẩm nhựa đầu ra năm 2017, tháng 8 năm 2019.
- [37] <https://viracresearch.com>, Số liệu thống kê ngành nhựa của nước ta về cơ cấu sản phẩm trong nước quý 1/2021, tháng 4 năm 2021.
- [38] Hongbo Fu, Hong Xu, Ying Liu, Zhaogang Yang, S. Kormakov, Daming Wu and Jingyao Sun, Overview of injection molding technology for processing polymers and their composites, ES Material & Manufacturing, 2020, DOI:10.30919/esmm5f713.
- [39] <https://www.composite.academia.edu>.
- [40] Nguyễn Huy Tùng, Trần Vĩnh Diệu, Đặng Hữu Trung, Đoàn Thị Yến Oanh, Tính chất cơ học của vật liệu composit sử dụng prepreg trên cơ sở nhựa phenolic và epoxy gia cường sợi thủy tinh và thủy tinh - Aramit, Tạp chí Hóa

học, 2015, tr. 379-384.

- [41] Krishan K Chawla. composite materials. New York, 1987.
- [42] S. T. Peters, Handbook of Composites, Chapman & Hall, London. 1998.
- [43] F. Thiébaud and J. C. Gelin, Multiwalled carbon nanotube/polypropylene composites: investigation of the melt processing by injection molding and analysis of the resulting mechanical behaviour, The International Journal of Material Forming, Vol. 2, 2009, p. 149-152.
- [44] Peter H. Foss, Huan-Chang Tseng, John Snawerdt, Yuan-Jung Chang, Wen-Hsien Yang and Chia-Hsiang Hsu, Prediction of fiber orientation distribution in injection molded parts using Moldex3D simulation, Published online in Wiley Online Library, 2014, DOI 10.1002/pc.22710.
- [45] Thomas Roth, Screening of methods for process modeling and simulation of Bulk Molding Compounds, 2016.
- [46] Osswald, Lih-Sheng Turng and Paul Gramann, Injection molding handbook, Jun 1, 2008.
- [47] Rong-Yeu Chang and Wen-Hsien Yang, Numerical simulation of mold filling in injection molding using a three-dimensional finite volume approach, International Journal for Numerical Methods in Fluids, 2001, DOI: 10.1002/fld.166.
- [48] Tran Minh The Uyen, Le Tuyen Giao, Thanh Trung Do and Pham Son Minh, Numerical study on local heating for thin-walled product by external air heating, Materials Science Forum, Vol. 971, 2019, p. 21-26.
- [49] Osswald, Lih-Sheng Turng and Paul Gramann, Injection molding handbook, Jun 1, 2008.
- [50] Moldex3D User Guide.
- [51] J. P. Beaumont, R. Nagel and R. Sherman, Successful Injection Molding,

Hanser, 2002.

- [52] Nguyễn Thanh Nam, Cơ học lưu chất tính toán - Nhà xuất bản Đại học Quốc gia Tp. HCM, 2008.
- [53] Frank M. White, Viscous fluid flow, Third edidor, McGraw-Hill, 2006.
- [54] Lucia Zema, Giulia Loreti, Alice Melocchi, Alessandra Maroni and Andrea Gazzaniga, Injection Molding and its application to drug delivery, Journal of Controlled Release, Vol. 159 (3), 2012, p. 324-331.
- [55] D. C. Wilcox, Turbulence Modeling for CFD, 2nd editor, DCW Industries, 1998.
- [56] Steve Meister and Dietmar Drummer, Affecting the ageing behaviour of injection-moulded microparts using variothermal mould tempering, Advances in Mechanical Engineering, 2013, p. 1-7.
- [57] ANSYS Tutorial.
- [58] Shia-Chung Chen, Chen-Yang Lin, Jen-An Chang and Pham Son Minh, Gas-assisted heating technology for high aspect ratio microstructure injection molding, Advances in Mechanical Engineering, 2013, DOI: 10.1155/2013/282906.
- [59] Thanh Trung Do, Tran Minh The Uyen and Pham Son Minh, Study on the external gas-assisted mold temperature control for thin wall injection molding, International Journal of Engineering Research and Application, Vol. 7 (3), 2017, p. 15-19.
- [60] A. M. Hosseini, D. C. hotenovsky, K. Farrell, S. A. Farrell and C. J. Sparrey, The effects of gas assisted injection molding on the mechanical properties of medical grade thermoplastic elastomers, Polymer Testing, Vol. 38, 2014, p. 1-6.
- [61] Shih-Chih Nian, Chih-Yang Wu and Ming-Shyan Huang, Warpage control of

- thin-walled injection molding using local mold temperatures, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, Vol. 61, 2015, p. 102-110.
- [62] Thanh Trung Do, Pham Son Minh, Tran Minh The Uyen and Pham Hoang The, Numerical study on the flow length in an injection molding process with an external air-heating step, *International Journal of Engineering Research and Application*, Vol. 7 (4), 2017, p. 85-89.
- [63] Shia-Chung Chen, Pham Son Minh and Jen-An Chang, Gas-assisted mold temperature control for improving the quality of injection molded parts with fiber additives, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, Vol. 38, 2011, p. 304-312.
- [64] Singh S. Deepika, Bhushan T. Patil and Vasim A. Shaikh, Plastic injection molded door handle cooling time reduction investigation using conformal cooling channels, *Materials Today*, 2020, DOI: 10.1016/j.matpr.2019.11.316.
- [65] Abelardo Torres-Alba, Jorge Manuel Mercado-Colmenero, Daniel Diaz-Perete and Cristina Martin-Doñate, A new conformal cooling design procedure for injection molding based on temperature clusters and multidimensional discrete models, *Polymers*, 2020, DOI: 10.3390/polym12010154.
- [66] Gualtiero Fantoni, Donata Gabelloni, Guido Tosello and Hans N. Hansen, Micro injection molding machines technology, *Mirco Injection Molding*, 2018, DOI: 10.3139/9781569906545.001.
- [67] Davide Masato, Marco Sorgato, Afif Batal, Stefan Dimov and Giovanni Lucchetta, Thin-wall injection molding of polypropylene using molds with different laser-induced periodic surface structures, *Polymer Engineering and Science*, 2019, DOI: 10.1002/pen.25189.
- [68] Yanfang Chen and Junjie Zhu, Warpage analysis and optimization of thin-walled injection molding parts based on numerical simulation and orthogonal

- experiment, *Materials Science and Engineering*, 2019, DOI: 10.1088/1757-899X/688/3/033027.
- [69] Li-Bo Chen, Yan-Hao Huang, Lei Liu, Xin Zhao, Zheng-Ying Liu, Wei Yang and Ming-Bo Yang, Formation mechanism of hierarchically crystalline structures under coupled external fields in multi-melt multi-injection molding: Simulation and experiment, *Composites Part B*, 2020, DOI: 10.1016/j.compositesb.2020.107770.
- [70] Xi-Ping Li, Guo-Qun Zhao and Can Yang, Effect of mold temperature on motion behavior of short glass fibers in injection molding process, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Volume 73, 2014, p. 639-645.
- [71] Laiyu Zhu, Liping Min, Xianglin Li, Zhanyu Zhai, Dietmar Drummer and Bingyan Jiang, Effects of process conditions on the heat transfer coefficient at the polymer-mold interface and tensile strength of thin-wall injection molding parts, *Journal of Polymer Engineering*, Vol. 39 (5), 2019, p. 493-500.
- [72] Dashan Mi, Zhongguo Zhao and Wenli Zhu, Effects of three different injection-molding methods on the mechanical properties and electrical conductivity of carbon nanotube/polyethylene/polyamide 6 nanocomposite, *Polymers*, 2019, DOI:10.3390/polym11111779.
- [73] Do Thanh Trung, Pham Son Minh and Le Tan Cuong, Effect of different heating methods on the mold temperature control in the plastic injection molding process, *Journal of Science and Technology*, Vol. 112, 2016, p. 1-6.
- [74] Thanh Trung Do and Pham Son Minh, Pulsed cooling control for improving the part warpage in injection molding process, *IEEE International Conference on System Science and Engineering*, July 21-23, 2017, p. 413-416.
- [75] Pham Son Minh, Thanh Trung Do, Tran Minh The Uyen and Phan The Nhan, A Study on the welding line strength of composite parts with various venting

- systems in injection molding process, *Key Engineering Materials*, Vol. 737, 2017, p. 70-76.
- [76] Sung-Kyum Cho, Hyun-Jun Kim and Seung-Hwan Chang, The application of polymer composites to the table-top machine tool components for higher stiffness and reduced weight, *Composite Structures*, Vol. 93 (2), 2011, p. 492-501.
- [77] Po-Wei Huang and Hsin-Shu Peng, Effects of high-efficiency infrared heating on fiber compatibility and weldline tensile properties of injection-molded long-glass-fiber-reinforced polyamide-66 composites, *Journal of Polymer Engineering*, 2020, DOI: 10.1515/polyeng-2019-0211.
- [78] Chao-Ming Lin and Wei-Cheng Chen, Optimization of injection-molding processing conditions for plastic double-convex Fresnel lens using grey-based Taguchi method, *Microsystem Technologies*, 2020, DOI:10.1007/s00542-020-04798-6.
- [79] Nguyễn Tiến Khang, Nghiên cứu ảnh hưởng của tỉ lệ sợi đến độ bền kéo và uốn của vật liệu composite trong công nghệ ép phun, Luận văn Thạc sĩ - Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp. HCM, 2017.
- [80] Kaiwu Cai, Yingli Wang and Siyin Lu, Research on optimization design of injection mold for automobile filter shell model based on bp neural network, *Materials Science and Engineering*, 2019 DOI:10.1088/1757-899X/612/3/032014.
- [81] Guiwei Dong, Guoqun Zhao, Junji Hou, Guilong Wang and Yue Mu, Effects of dynamic mold temperature control on melt pressure, cellular structure, and mechanical properties of microcellular injection-molded parts: An experimental study, *Cellular Polymers*, 2019, DOI: 10.1177/0262489319871741.
- [82] C. Hopmann, M. Schmitz and H. Dornebusch, Development of a Segmented

Temperature Control for Targeted Solidification in Injection Molding, *International Polymer Processing*, 2018, DOI:10.3139/217.3452.


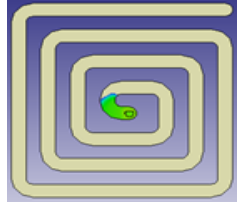

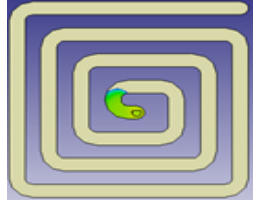

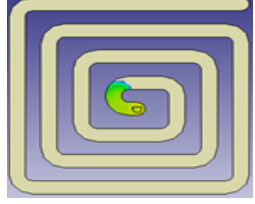

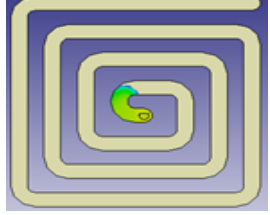
- [83] David Kazmer, Multi-cavity pressure control in the filling and packing stages of the injection molding process, *Polymer Engineering and Science*, Vol. 37, 1997, p. 1865-1879.
- [84] M. S. Huang and Y. L. Huang, Effect of multi-layered induction coils on efficiency and uniformity of surface heating, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, Vol. 53 (11-12), 2010, p. 2414-2423.
- [85] W. Guilong, Z. Guoqun, L. Huiping and G. Yanjin, Analysis of thermal cycling efficiency and optimal design of heating/cooling systems for rapid heat cycle injection molding process, *Materials & Design*, Vol. 32 (7), 2010, p. 3426-3441.
- [86] Pei-Chi Chang, Sheng-Jye Hwang, Simulation of infrared rapid surface heating for injection molding, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 49 (21–22), 2006, p. 3846-3854.
- [87] S. C. Chen, W. R. Jong, Y. J. Chang, J. A. Chang and J. C. Cin, Rapid mold temperature variation for assisting the micro injection of high aspect ratio micro-feature parts using induction heating technology, *Journal of Micromechanics and Microengineering*, Vol. 16 (9), 2006, p. 1783-1791.
- [88] D. Yao, T. E. Kimerling and B. Kim, High-frequency proximity heating for injection molding applications, *Polymer Engineering and Science*, Vol. 46 (7), 2006, p. 938-945.
- [89] S. C. Chen, P. S. Minh, J. A. Chang, S. W. Huang and C. H. Huang, Mold temperature control using high-frequency proximity effect induced heating, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, Vol. 39 (2), 2012, p. 216-223.
- [90] Hsuan-Liang Lin, Shia-Chung Chen, Ming-Chang Jeng, Pham Son Minh, Jen-


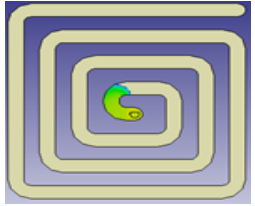

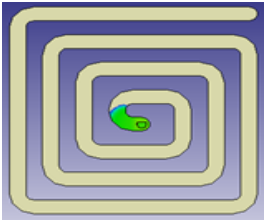

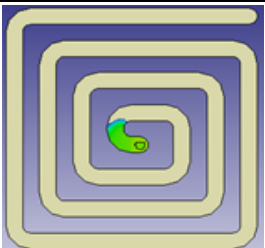

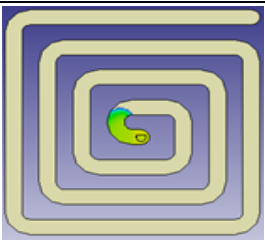

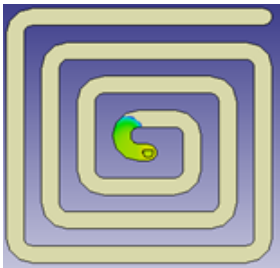
An Chang and Jiun-Ren Hwang, Induction heating with the ring effect for injection molding plates, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, Vol. 39 (4), 2012, p. 514-522.


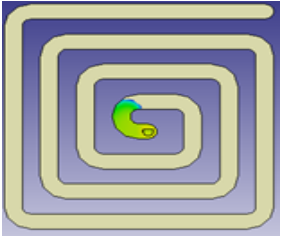

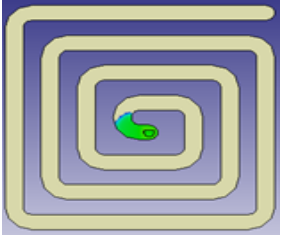

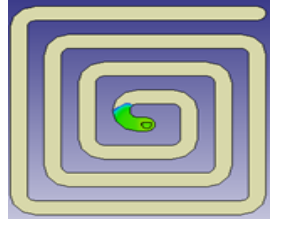

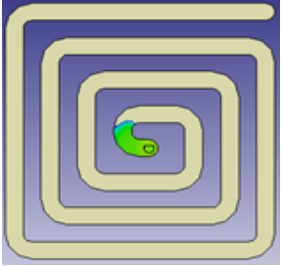

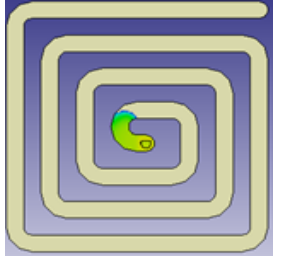
- [91] Phan The Nhan, Thanh Trung Do, Tran Anh Son and Pham Son Minh, Study on external gas-assisted mold temperature control for improving the melt flow length of thin rib products in the injection molding process, *Advances in Polymer Technology*, 2019, p. 1-17, doi.org/10.1155/2019/5973403


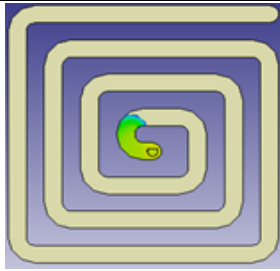

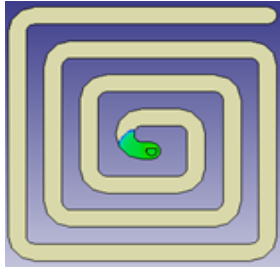

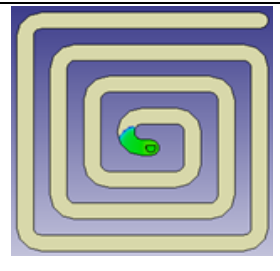

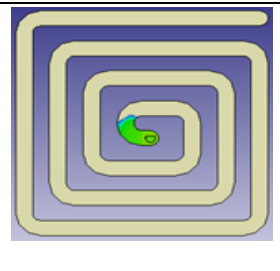

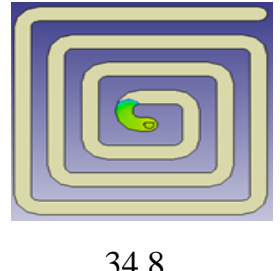
Phụ lục 1


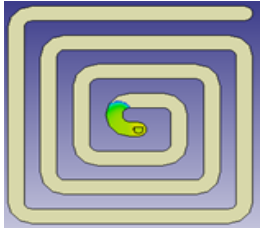

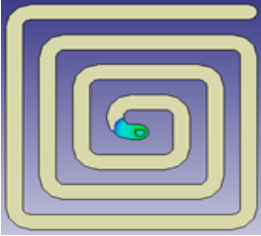

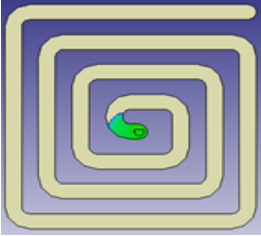

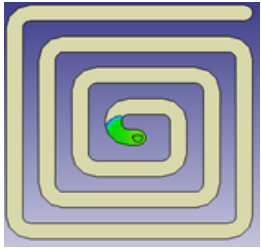

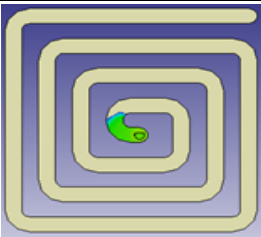
KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM VÀ MÔ PHỎNG CHIỀU DÀI DÒNG CHẢY VỚI VẬT LIỆU, CHIỀU DÀY SẢN PHẨM VÀ NHIỆT ĐỘ KHUÔN KHÁC NHAU


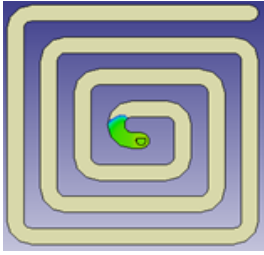

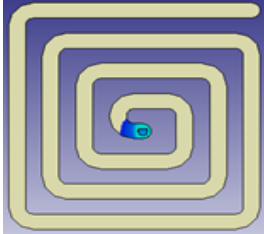

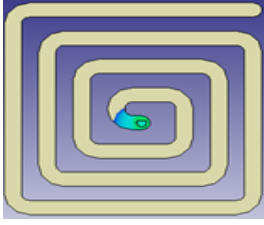

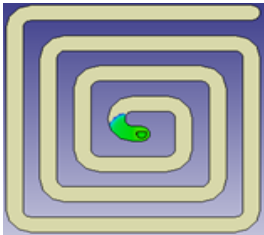
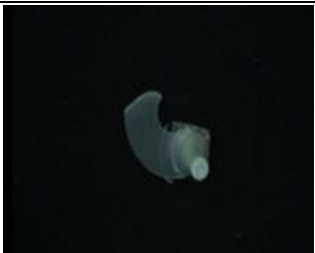
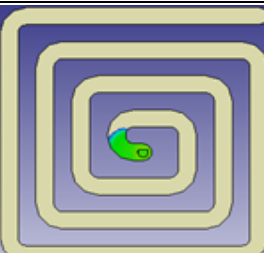
Chiều dày sản phẩm 0,5 mm					
TT	GF (%)	T (°C)	Kết quả thực nghiệm (mm)	Kết quả mô phỏng (mm)	Sai lệch
1	0	30	 29,8	 28,3	1,5
		50	 32,7	 33,5	0,8
		70	 37,7	 36,3	1,4
		90	 39,7	 40,1	0,4


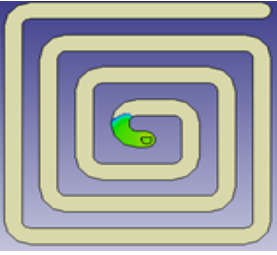

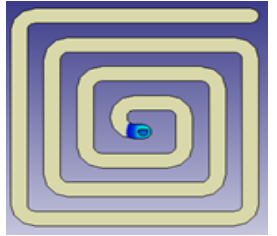

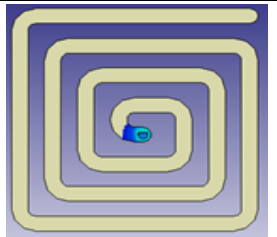

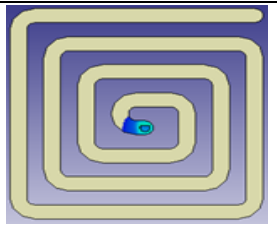

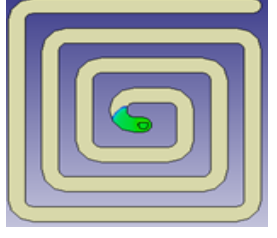


		110	 41,4	 43,1	1,7
2	5	30	 25,1	 26,1	1
		50	 31,7	 33,4	1,7
		70	 35,1	 35,7	0,6
		90	 37,8	 39,5	1,7


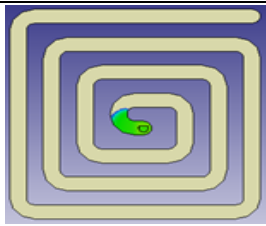
		110	 <p>39,8</p>	 <p>44,4</p>	4,6
3	10	30	 <p>25,3</p>	 <p>24,1</p>	1,2
		50	 <p>29,1</p>	 <p>31,4</p>	2,3
		70	 <p>30,8</p>	 <p>34,7</p>	3,9
		90	 <p>34,2</p>	 <p>36,8</p>	2,6


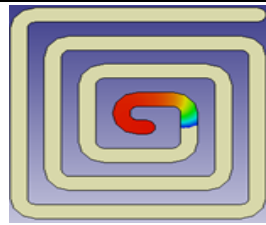

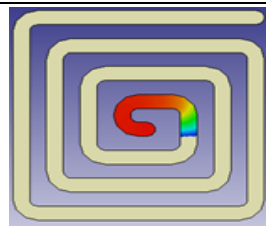

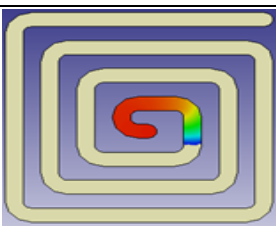
		110	 38,3	 42,1	3,8
4	15	30	 22,3	 20,8	1,5
		50	 25,1	 24,7	0,4
		70	 29,1	 30,5	1,4
		90	 32,7	 34,8	2,1


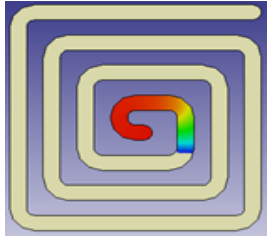

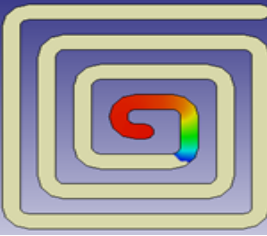

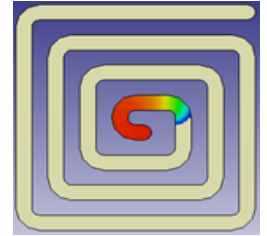

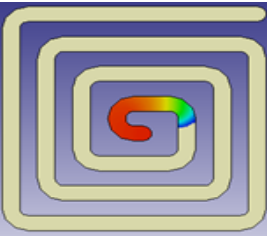

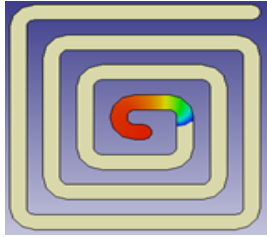
		110	 35,7	 39,8	4,1
5	20	30	 20,1	 19,7	0,4
		50	 22,3	 20,8	1,5
		70	 25,1	 26,1	1
		90	 28,4	 30,3	1,9


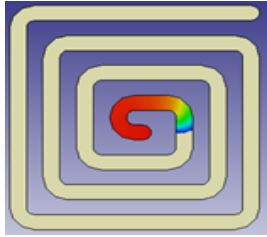

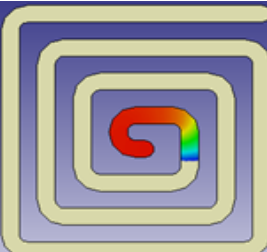

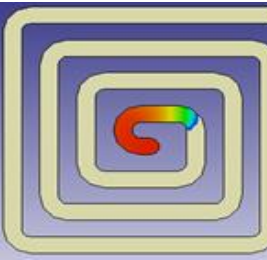

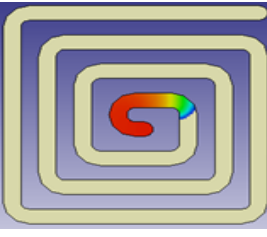

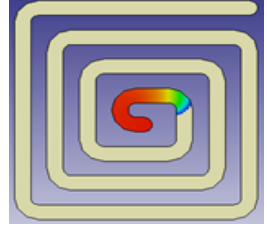
		110	 31,7	 34,7	3
6	25	30	 18,3	 15,7	0,6
		50	 21,2	 22,7	1,5
		70	 24,7	 26,4	1,7
		90	 26,2	 27,4	1,2


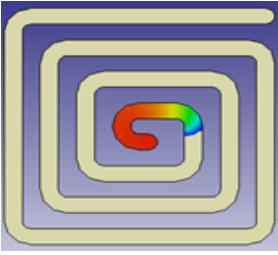

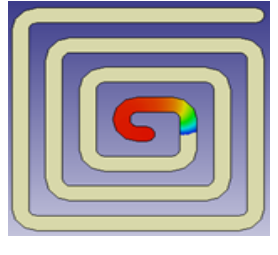

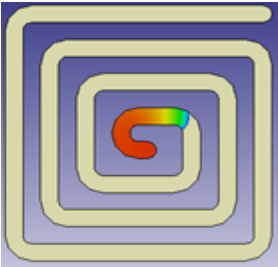

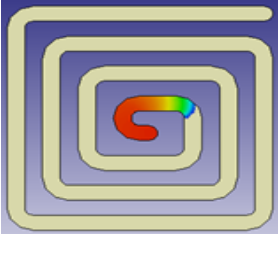

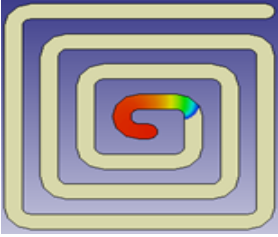
		110	 <p>30,1</p>	 <p>30,7</p>	0,6
7	30	30	 <p>13,3</p>	 <p>14,7</p>	0,4
		50	 <p>14,3</p>	 <p>15,3</p>	1
		70	 <p>19,7</p>	 <p>18,8</p>	0,9
		90	 <p>23,6</p>	 <p>20,5</p>	3,1
		110	 <p>30,1</p>	 <p>30,7</p>	0,6


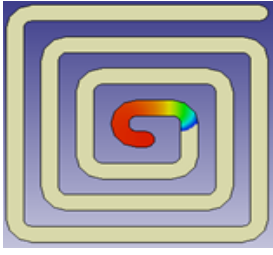

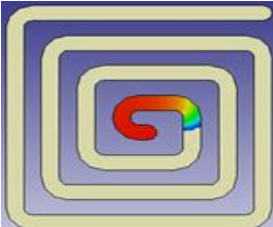

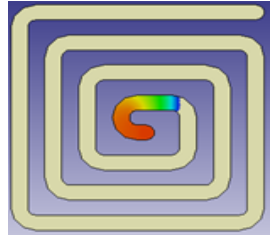
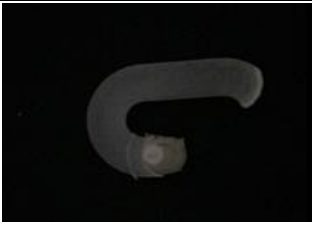
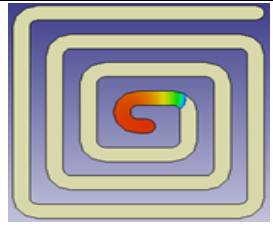

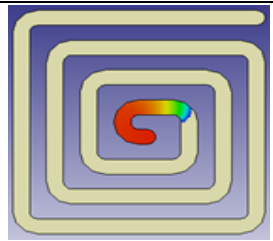
		110	 24,8	 21,5	3,3
--	--	-----	---	--	-----


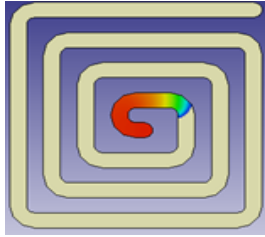

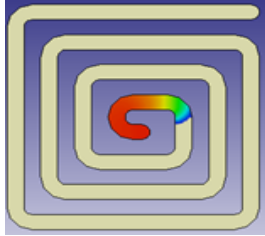

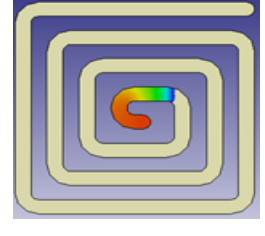

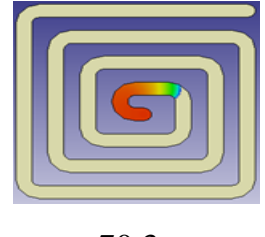

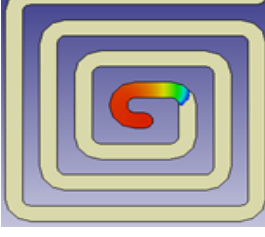
Chiều dày sản phẩm 0,75 mm					
TT	GF (%)	T (°C)	Kết quả thực nghiệm (mm)	Kết quả mô phỏng (mm)	Sai lệch
1	0	30	 87,1	 89,5	2,4
		50	 89,1	 91,3	2,2
		70	 95,1	 97,3	2,2


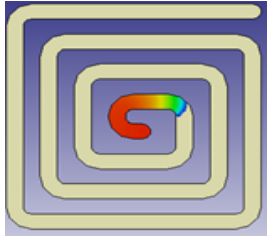

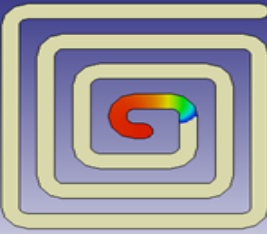

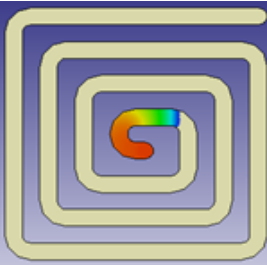

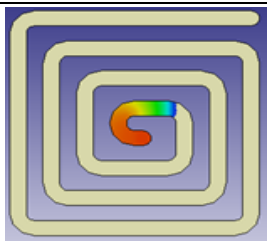

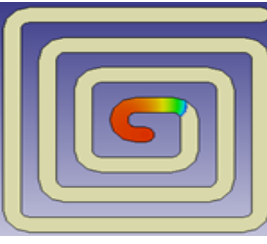
2		90			2,4
			99,3	101,7	
	5	110			2,7
			105,1	107,8	
	5	30			0,5
			79,1	78,6	
50				0,6	
		81,3	80,7		
		70			2,5
			83,8	86,3	


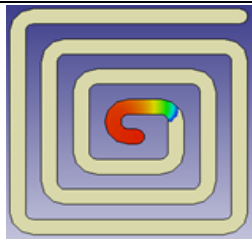

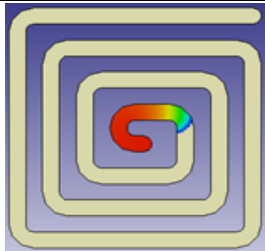
3		90	 87,4	 90,1	2,7
		110	 93,1	 93,7	0,6
	10	30	 74,5	 75,1	0,6
		50	 76,5	 76,9	0,4
		70	 77,8	 80,7	2,9


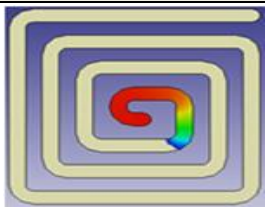

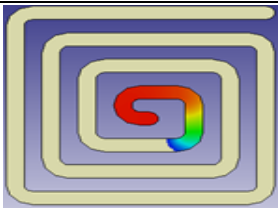
4		90	 81,8	 87,1	5,3
		110	 88,3	 91,7	3,4
	15	30	 71,1	 72,1	1
		50	 73,1	 74,3	1,2
		70	 75,4	 77,1	1,7


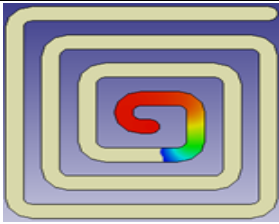

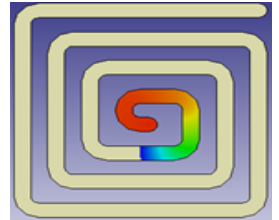

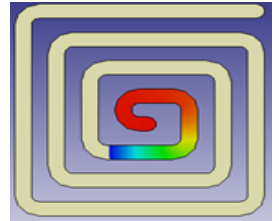

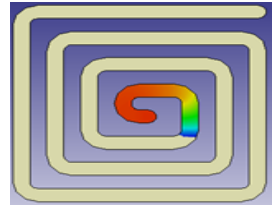

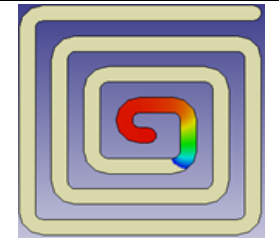
		90	 79,0	 81,5	2,5
		110	 85,1	 85,7	0,6
5	20	30	 68,4	 69,1	0,7
		50	 70,6	 71,7	1,1
		70	 73,3	 74,8	1,5


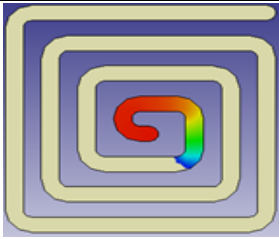

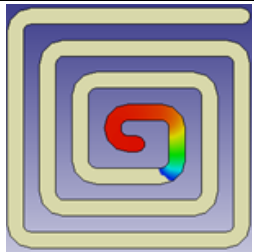

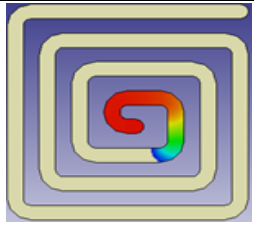

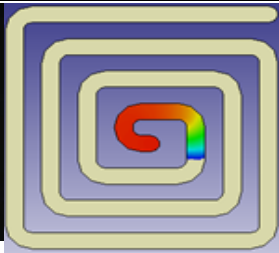

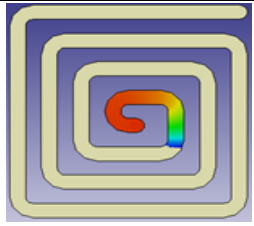
		90	 75,4	 77,5	2,1
		110	 79,1	 81,7	2,6
6	25	30	 67,1	 68,1	1
		50	 69,8	 70,3	0,5
		70	 72,2	 72,1	0,1


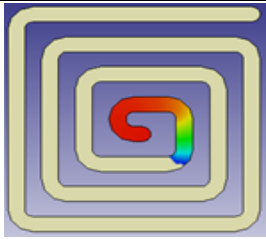

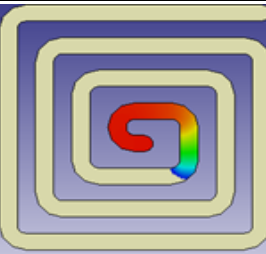

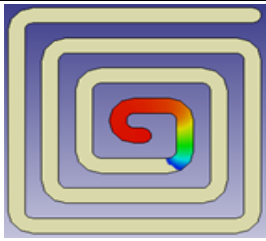

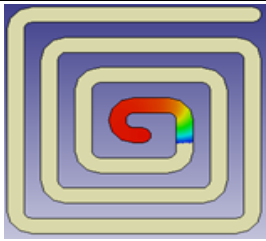

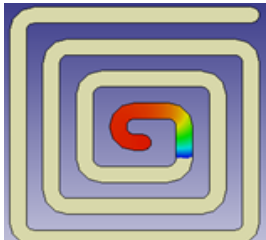
		90	 74,4	 75,1	0,7
		110	 78,5	 80,7	2,2
7	30	30	 64,1	 64,3	0,2
		50	 66,2	 65,6	0,6
		70	 70,4	 71,8	1,4


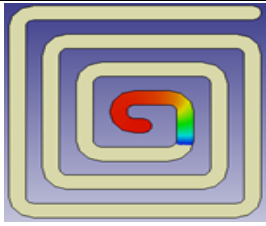

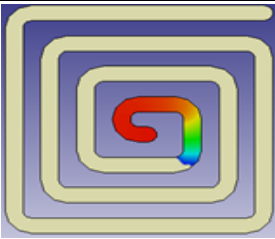

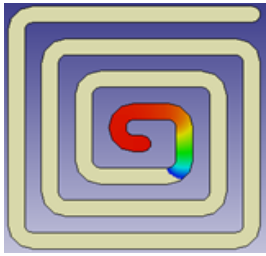

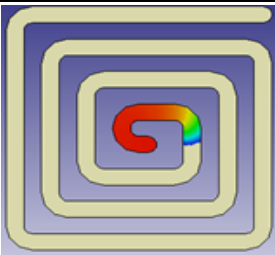

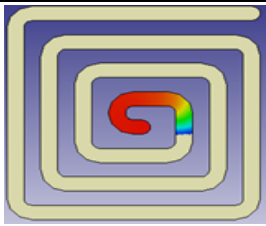
		90	 72,6	 73,3	0,7
		110	 76,4	 75,7	0,7


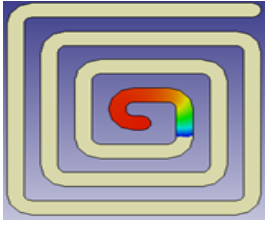

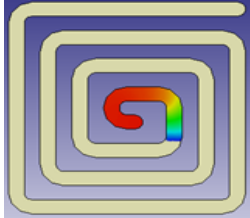

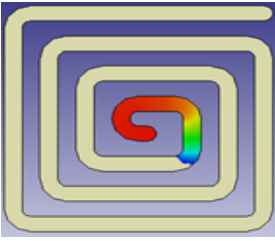

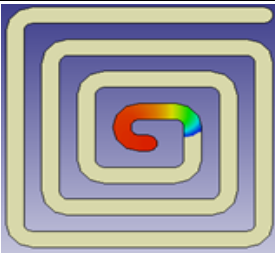

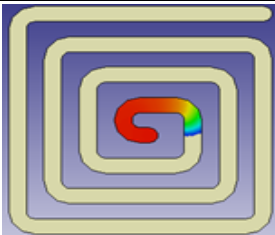
Chiều dày sản phẩm 1 mm					
TT	GF (%)	T (°C)	Kết quả thực nghiệm (mm)	Kết quả mô phỏng (mm)	Sai lệch
1	0	30	 114,8	 115,3	0,5
		50	 118,1	 117,8	0,3


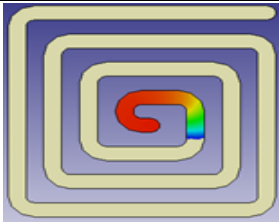

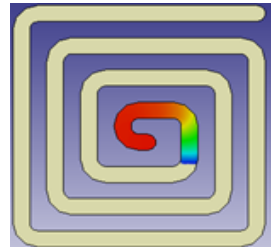

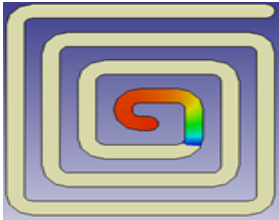

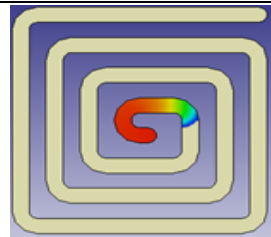

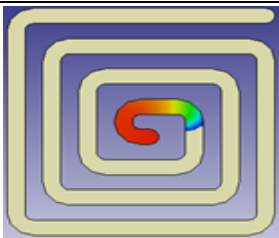
		70			2,4
			126,3	128,7	
		90			4,2
		136,8	132,6		
		110			4
			146,8	150,8	
2	5	30			1,6
			101,1	102,7	
		50			1,4
			109,1	107,7	


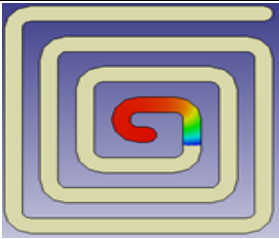

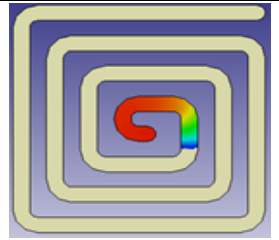

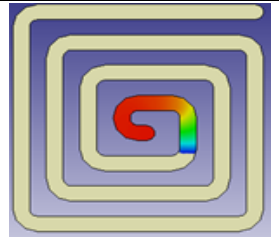
		70	 111,4	 111,1	0,3
		90	 114,8	 114,1	0,7
		110	 116,3	 117,5	1,2
3	10	30	 96,1	 94,3	1,8
		50	 101,5	 100,7	0,8

		70			1,1
			106,8	105,7	
		90			2
			108,4	110,4	
		110			1
			113,5	114,5	
4	15	30			0,6
			91,3	90,7	
		50			2,8
			97,6	94,8	

		70	 <p>100,1</p>	 <p>101,3</p>	1,2
		90	 <p>104,3</p>	 <p>105,8</p>	1,5
		110	 <p>110,1</p>	 <p>109,1</p>	1
5	20	30	 <p>87,6</p>	 <p>85,7</p>	1,9
		50	 <p>91,1</p>	 <p>88,5</p>	2,6

		70	 <p>97,5</p>	 <p>97,1</p>	0,4
		90	 <p>100,2</p>	 <p>101,3</p>	1,1
		110	 <p>106,4</p>	 <p>105,8</p>	0,6
6	25	30	 <p>83,2</p>	 <p>82,1</p>	1,1
		50	 <p>87,2</p>	 <p>85,1</p>	2,1

		70	 <p>95,2</p>	 <p>96,1</p>	0,9
		90	 <p>98,1</p>	 <p>100,1</p>	2
		110	 <p>102,3</p>	 <p>101,1</p>	1,2
7	30	30	 <p>79,9</p>	 <p>80,6</p>	0,7
		50	 <p>84,6</p>	 <p>82,1</p>	2,5

		70	 <p>93,6</p>	 <p>93,1</p>	0,5
		90	 <p>96,1</p>	 <p>97,1</p>	1
		110	 <p>100,3</p>	 <p>99,9</p>	0,4

Phụ lục 2

XÂY DỰNG PHƯƠNG TRÌNH HỒI QUY MỐI QUAN HỆ CHIỀU DÀI DÒNG CHẢY VỚI NHIỆT ĐỘ VÀ CHIỀU DÀY SẢN PHẨM SỬ DỤNG PHẦN MỀM MINITAB

Kết quả xác định phương trình hồi quy độ điền đầy vật liệu composite
PA6 + 0 %GF

Regression Analysis: Chiều dài versus Nhiệt độ, Bề dày

The regression equation is

Chiều dài = - 70.4 + 0.265 Nhiệt độ + 185 Bề dày

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-70.358	9.040	-7.78	0.000
Nhiệt độ	0.26517	0.07038	3.77	0.003
Bề dày	184.600	9.752	18.93	0.000

S = 7.70947 R-Sq = 96.9% R-Sq(adj) = 96.4%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	22142	11071	186.27	0.000
Residual Error	12	713	59		
Total	14	22855			

Source	DF	Seq SS
Nhiệt độ	1	844
Bề dày	1	21298

Kết quả xác định phương trình hồi quy độ điền đầy vật liệu composite
PA6 + 5 %GF

Regression Analysis: Chiều dài versus Nhiệt độ, Bề dày

The regression equation is
 Chiều dài = - 49.9 + 0.179 Nhiệt độ + 152 Bề dày

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-49.895	7.845	-6.36	0.000
Nhiệt độ	0.17950	0.06107	2.94	0.012
Bề dày	151.960	8.462	17.96	0.000

S = 6.68999 R-Sq = 96.5% R-Sq(adj) = 95.9%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	14819.0	7409.5	165.55	0.000
Residual Error	12	537.1	44.8		
Total	14	15356.1			

Source	DF	Seq SS

Kết quả tìm phương trình hồi quy của độ điền đầy vật liệu composite
PA6 + 10 %GF

Regression Analysis: Chiều dài versus Nhiệt độ, Bề dày

The regression equation is
 Chiều dài = - 50.0 + 0.176 Nhiệt độ + 147 Bề dày

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-49.985	7.101	-7.04	0.000
Nhiệt độ	0.17617	0.05528	3.19	0.008
Bề dày	146.640	7.660	19.14	0.000

S = 6.05583 R-Sq = 96.9% R-Sq(adj) = 96.4%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	13812.0	6906.0	188.31	0.000
Residual Error	12	440.1	36.7		
Total	14	14252.0			

Kết quả tìm phương trình hồi quy của độ điền đầy vật liệu composite
PA6 + 15 %GF

Regression Analysis: L versus T, h

The regression equation is
 $L = -48.8 + 0.171 T + 143 h$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-48.837	4.573	-10.68	0.000
T	0.17067	0.03560	4.79	0.000
h	142.560	4.933	28.90	0.000

S = 3.90015 R-Sq = 98.6% R-Sq(adj) = 98.4%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	13051.6	6525.8	429.02	0.000
Residual Error	12	182.5	15.2		
Total	14	13234.2			

Source	DF	Seq SS
T	1	349.5
h	1	12702.1

Kết quả tìm phương trình hồi quy của độ điền đầy vật liệu composite
PA6 + 20 %GF

Regression Analysis: Chiều dài versus Nhiệt độ, Bề dày

The regression equation is
 $\text{Chiều dài} = -53.0 + 0.170 \text{ Nhiệt độ} + 142 \text{ Bề dày}$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-52.970	7.766	-6.82	0.000
Nhiệt độ	0.17033	0.06046	2.82	0.016
Bề dày	141.680	8.377	16.91	0.000

S = 6.62289 R-Sq = 96.1% R-Sq(adj) = 95.4%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	12893.9	6447.0	146.98	0.000
Residual Error	12	526.4	43.9		
Total	14	13420.3			

Kết quả tìm phương trình hồi quy của độ giãn dầy vật liệu composite
PA6 + 25%GF

Regression Analysis: Chiều dài versus Nhiệt độ, Bề dày

The regression equation is
 Chiều dài = - 52.7 + 0.175 Nhiệt độ + 138 Bề dày

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-52.678	8.747	-6.02	0.000
Nhiệt độ	0.17517	0.06810	2.57	0.024
Bề dày	138.200	9.436	14.65	0.000

S = 7.45960 R-Sq = 94.9% R-Sq(adj) = 94.0%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	12305.2	6152.6	110.57	0.000
Residual Error	12	667.7	55.6		
Total	14	12973.0			

Kết quả tìm phương trình hồi quy của độ giãn dầy vật liệu composite
PA6 + 30%GF

Regression Analysis: Chiều dài versus Nhiệt độ, Bề dày

The regression equation is
 Chiều dài = - 60.0 + 0.187 Nhiệt độ + 143 Bề dày

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-59.990	9.420	-6.37	0.000
Nhiệt độ	0.18700	0.07333	2.55	0.025
Bề dày	142.72	10.16	14.05	0.000

S = 8.03308 R-Sq = 94.4% R-Sq(adj) = 93.5%

Analysis of Variance


Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	13150.3	6575.1	101.89	0.000
Residual Error	12	774.4	64.5		
Total	14	13924.6			

Source	DF	Seq SS
Nhiệt độ	1	419.6
Bề dày	1	12730.6

Phụ lục 3

BẢN QUYỀN PHẦN MỀM MOLDEX3D

Chứng nhận sử dụng bản quyền phần mềm và được hỗ trợ từ công ty Moldex3D



CoreTech System Co., Ltd.
8F-2, No.32, Taiyuan St. Chupei City,
Hsinchu County 302, Taiwan
Tel : +886-3-5600-199 Fax : +886-3-5600-198
www.moldex3d.com

CORETECH SYSTEM CO., LTD.

Moldex3D ACADEMIC-INDUSTRIAL COLLABORATION AGREEMENT

This agreement dated 2019/09/01 (Effective Date), is by and between


HCM City University of Technology and Education
(Hereinafter referred to as **MAIC Partner**)

And

CoreTech System Co., Ltd.
8F-2, #32, Taiyuan Street,
Chupei, Hsinchu 302, Taiwan
(Hereinafter referred to as **CORETECH**)

WHEREAS, in consideration of the mutual covenants and agreements contained herein, the parties agree to the following:

- CORETECH** will provide the latest version 200 seats of Professional educational licenses (hereinafter referred to as **Moldex3D Software**), and course training material to **MAIC Partner** at no additional cost during next **ONE** year from **Effective Date** in accordance with this agreement including any update and maintenance of the **Moldex3D Software**. **MAIC Partner** agrees to obey the terms and conditions of the End-User License Agreement between **CORETECH** and **MAIC Partner** governing the licensing of and maintenance services for **Moldex3D Software**.
- MAIC Partner** will guarantee minimum of 4 paper(s) per year published on any publications, journals or conferences; the paper will be based on the achievements of research and academic work related to **Moldex3D software** applications.
- Moldex3D Software** will be installed only in **MAIC Partner** facilities. **Moldex3D Software** and related training materials are strictly limited only for the usage of demonstration, learning, and training course hosted by **MAIC Partner**. **MAIC Partner** shall not issue any similar Certification against Moldex3D Certification. **MAIC Partner** hereby represents and warrants that it shall bear any and all legal liabilities for any breach or violation of this clause and shall be liable to compensate USD 12,000 to **CORETECH** in connection therewith or arising therefrom (including lost profits).
- MAIC Partner** will not copy or distribute **Moldex3D Software** and related training materials without written consent from **CORETECH**. The operation and safe storage of **Moldex3D Software** and related training materials is the responsibility of **MAIC Partner**.
- MAIC Partner** shall have employed at least ONE Moldex3D certified instructor.
- MAIC Partner** shall conduct courses based on **Moldex3D Software** each semester and make the curriculum public on the internet.
- MAIC Partner** shall hold seminars and promote **Moldex3D Software** to plastic related industries in accordance with the rules and policies published by **CORETECH**, to jointly promote plastic processing simulation in industries.
- MAIC Partner** shall inform **CORETECH** in writing before entering into any commercial activities or other agreements similar to this collaboration with any organizations other than **CORETECH** (including but not limited to, molding or molding training industries).
- MAIC Partner** shall be reviewed by **CORETECH** on the execution of the Exhibits to renew the agreement.
- This agreement is based on mutual confidence and friendly cooperation. In the event that **MAIC Partner** materially



violates clause 3, 4, 6, 7, and 8, **CORETECH** may terminate this agreement immediately without any liability. In case any dispute or difference arises, this shall be clarified and settled by mutual discussion and understanding of each party.

IN WITNESS WHEREOF, the undersigned have reviewed and approved this agreement and also confirm that they have the authority and support of their respective organizations to make such an agreement.

HCM City University of Technology and Education

CoreTech System Co., Ltd.



By: [Signature]

By: [Signature: Rong Yeu Chang]

Name: LE THANH PHUC

Name: Rong Yeu Chang

Title: Dean of Faculty for High Quality Training

Title: CEO

Date: October 10, 2019

Date: 04/NOV/2019



Phụ lục 4

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, Trần Minh Thế Uyên 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. Pham Son 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 Pham Son 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 Pham Son 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.