

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

TRẦN MINH THẾ UYÊN

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

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

Tp. Hồ Chí Minh, tháng 10 năm 2020

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

Người hướng dẫn khoa học 1: PGS. TS. ĐỖ THÀNH TRUNG

Người hướng dẫn khoa học 2: PGS. TS. PHẠM SƠN MINH

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

QUYẾT ĐỊNH GIAO ĐỀ TÀI

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

Số: 799/QĐ-ĐHSPKT-SĐH

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

Tp. Hồ Chí Minh, ngày 06 tháng 10 năm 2014

QUYẾT ĐỊNH

Về việc giao đề tài luận án và người hướng dẫn nghiên cứu sinh khóa 2014-2017
HIỆU TRƯỞNG TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT TP. HỒ CHÍ MINH

Căn cứ Quyết định số 426/QĐ-TTg ngày 27/10/1976 của Thủ tướng Chính phủ quy định về mạng lưới tổ chức và nhiệm vụ của các trường đại học;

Căn cứ Chương 6 Điều lệ Trường Đại học ban hành kèm theo Quyết định số 58/2010/QĐ-TTg ngày 22 tháng 9 năm 2010 của Thủ tướng Chính phủ;

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: Giao đề tài luận án tiến sĩ và người hướng dẫn cho:

Nghiên cứu sinh : **Trần Minh Thế Uyên**

Ngành : Kỹ thuật cơ khí

Khoá: 2014 - 2017

Tên luận án : **Nghiên cứu ảnh hưởng của gia nhiệt khuôn phun ép bằng khí nóng đến độ bền sản phẩm nhựa dạng thành mỏng**

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 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 biết);
- Như điều 2, 3;
- Lưu P.ĐT



LÝ LỊCH CÁ NHÂN

THÔNG TIN CÁ NHÂN

Họ và tên: **Trần Minh Thế Uyên**

Phái: Nam

Ngày/tháng/năm sinh: 02/03/1981

Tại: Đồng Nai

I. QUÁ TRÌNH ĐÀO TẠO

- Từ 1999 - 2005: Sinh viên ngành Sinh viên ngành Cơ khí chế tạo máy Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP. HCM.

- Từ 2006 - 2009: Học viên cao học ngành Cơ khí chế tạo máy Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP. HCM.

II. QUÁ TRÌNH CÔNG TÁC CHUYÊN MÔN KÊ TỪ KHI TỐT NGHIỆP ĐẠI HỌC

- Từ 2005 – 2006: Cán bộ kỹ thuật công ty Mtex – Quận 7 – TP. HCM.

- Từ 2007 – Nay: Giảng viên Khoa Cơ khí Chế tạo máy – Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP. HCM – Giảng dạy: Thiết kế, chế tạo khuôn mẫu, CAD/CAM-CNC, Thiết kế ngược.

III. BIÊN SOẠN GIÁO TRÌNH LIÊN QUAN LĨNH VỰC NGHIÊN CỨU

<i>TT</i>	<i>Tên giáo trình</i>	<i>Số lượng tác giả</i>	<i>Nhà xuất bản</i>	<i>Năm xuất bản</i>
1	Thiết kế và chế tạo khuôn phun ép nhựa	2	Đại học Quốc gia TP. HCM	2014
2	Giáo trình Mô phỏng quy trình phun ép nhựa	2	Đại học Quốc gia TP. HCM	2014
3	Thực tập Công nghệ nhựa	2	Đại học Quốc gia TP. HCM	2015

IV. CHỦ TRÌ HOẶC THAM GIA ĐỀ TÀI NGHIÊN CỨU

<i>TT</i>	<i>Tên đề tài</i>	<i>Chủ trì hoặc tham gia</i>	<i>Thời gian (bắt đầu - kết thúc)</i>	<i>Thuộc chương trình</i>	<i>Tình trạng (đã nghiệm thu, đang thực hiện)</i>
1	Thiết kế hoàn chỉnh bộ khuôn cho sản phẩm miếng đế để ly	Chủ trì	01/2011 → 12/2011	NCKH cấp trường	Đã nghiệm thu
2	Gia công và lắp ráp hoàn chỉnh bộ khuôn và ép sản phẩm miếng đế để ly	Chủ trì	01/2012 → 12/2012	NCKH cấp trường	Đã nghiệm thu
3	Thiết kế chế tạo mô hình bộ khuôn ép phun dùng kênh dẫn nóng	Chủ trì	01/2013 → 12/2013	NCKH cấp trường	Đã nghiệm thu
4	Thiết kế chế tạo mô hình bộ khuôn ép phun cho sản phẩm tay xách valy	Chủ trì	01/2014 → 12/2014	NCKH cấp trường	Đã nghiệm thu
5	Nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ khuôn đến chiều dài dòng chảy trong khuôn ép phun	Chủ trì	12/2014 → 11/2015	NCKH cấp trường trọng điểm	Đã nghiệm thu
6	Nghiên cứu thiết kế và chế tạo tay máy gia nhiệt cho khuôn phun ép nhựa trong qui trình chế tạo thiết bị y sinh “LAB on CHIP - LOC”	Tham gia	01/2015 → 07/2016	NCKH cấp Sở (Sở KH&CN TP. HCM)	Đã nghiệm thu
7	Nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ khuôn ép phun đến chất lượng sản phẩm composite nhựa nhiệt dẻo	Tham gia	01/2016 → 12/2017	NCKH cấp Bộ	Đã nghiệm thu
8	Nâng cao độ bền đường hàn sản phẩm nhựa trong qui trình phun ép	Chủ trì	01/2016 → 12/2016	NCKH cấp trường trọng điểm	Đã nghiệm thu
9	Nghiên cứu kênh giải nhiệt dạng xoắn ốc cho khuôn phun ép nhựa	Chủ trì	01/2017 → 12/2017	NCKH cấp trường trọng điểm	Đã nghiệm thu

10	Nghiên cứu phân bố nhiệt độ của tấm khuôn dương với các thông số khác nhau của kênh giải nhiệt	Chủ trì	01/2018 → 12/2018	NCKH cấp trường trọng điểm	Đã nghiệm thu
11	Nghiên cứu công nghệ và chế tạo thiết bị giải nhiệt gián đoạn cho khuôn phun ép nhựa	Chủ trì	01/2018 → 12/2019	NCKH cấp Bộ	Đã nghiệm thu
12	Nghiên cứu công nghệ và chế tạo thiết bị gia nhiệt bề mặt vi khuôn ép phun nhựa	Tham gia	01/2019 → 12/2020	NCKH cấp Bộ	Đang thực hiện
13	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	Tham gia	01/2020 → 12/2021	NCKH cấp Bộ	Đang thực hiện

Tp. HCM, ngày 30 tháng 10 năm 2020

Trần Minh Thế Uyên

LỜI CAM ĐOAN

Tôi xin cam đoan đây là công trình nghiên cứu khoa học của riêng tôi dưới sự hướng dẫn của tập thể các nhà khoa học và các tài liệu tham khảo đã trích dẫn. Các kết quả nghiên cứu được trình bày trong luận án là trung thực, khách quan và chưa từng công bố trên bất cứ một công trình nào khác.

Tp.HCM, ngày tháng năm 2020.

Tác giả luận án

Trần Minh Thế Uyên

LỜI CẢM ƠN

Đầu tiên, tôi xin 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, PGS. TS. Nguyễn Ngọc Phương, cô Nguyễn Ngọc Đào, và quý Thầy/Cô ở các Phòng, Khoa, Ban khác của Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh. Đồng thời, tôi cũng xin gửi lời cảm ơn đến thầy PGS. TS. Đặng Văn Nghìn, TS. Trần Anh Sơn, TS. Lưu Phương Minh và cô PGS. TS. Thái Thị Thu Hà thuộc Trường Đại học Bách khoa Thành phố Hồ Chí Minh; và PGS. TS. Nguyễn Huy Bích thuộc Trường Đại học Nông Lâm 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 từ khi học đại học cho đến nay. Ngoài ra, tôi cũng xin cảm ơn Công ty Moldex3D đã tài trợ phần mềm, cung cấp tài liệu và hỗ trợ tôi mô phỏng.

Tôi xin gửi lời cảm ơn chân thành nhất đến Thầy/Cô là thành viên hội đồng bảo vệ Tổng quan, Chuyên đề 1, Chuyên đề 2, Cấp Cơ sở và Cấp trường; đặc biệt là thầy hướng dẫn PGS. TS. Đỗ Thành Trung và PGS. TS. Phạm Sơn Minh vì đã dành cho tôi không chỉ là những sự chỉ dẫn và góp ý vô cùng quý báu về chuyên ngành, từng bước xây dựng và thực hiện thực nghiệm và viết bài báo khoa học, mà còn rất nhiều sự quan tâm, động viên và khích lệ của các 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 cha mẹ, vợ và các con tôi đã dành cho tôi, giúp tôi có thêm động lực để vượt qua nhiều khó khăn để thực hiện công việc nghiên cứu của mình.

Tôi xin chân thành cảm ơn.

TÓM TẮT

Ngày nay, các sản phẩm nhựa rất đa dạng, từ các sản phẩm dân dụng như túi nhựa, đến các sản phẩm nhựa công nghiệp. Quy trình chế tạo sản phẩm phun ép nhựa bao gồm: Gia nhiệt làm nóng chảy nhựa, phun ép nhựa vào khuôn, làm nguội sản phẩm và lấy sản phẩm ra khỏi khuôn. Trong quá trình nhựa được phun ép vào khuôn thì nhiệt độ khuôn là yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến chất lượng sản phẩm.

Thông qua quá trình mô phỏng và thực nghiệm, quá trình gia nhiệt bằng khí nóng cho khuôn phun ép đã được tiến hành nghiên cứu với sự thay đổi của chiều dày tấm insert từ 0,5 mm đến 2 mm và khe hở giữa đầu phun khí nóng và bề mặt khuôn từ 4 mm đến 10 mm. Các kết quả nghiên cứu này cho thấy:

- Chiều dày của tấm insert có ảnh hưởng lớn đến tốc độ gia nhiệt, cũng như phân bố nhiệt độ trên bề mặt lòng khuôn.
- Khe hở giữa đầu phun khí nóng và bề mặt khuôn cũng có ảnh hưởng đến tốc độ và phân bố nhiệt độ.
- Quá trình mô phỏng cũng cho thấy phương pháp gia nhiệt bằng khí nóng phun từ ngoài có thể được tiến hành phân tích trước, nhằm chọn được các thông số tối ưu tùy thuộc vào hình dạng sản phẩm và kết cấu khuôn phun ép.

Với mô hình sản phẩm dạng thành mỏng, kết quả mô phỏng quá trình gia nhiệt cho tấm insert cho phép đánh giá quá trình truyền nhiệt thông qua kết quả phân tích đáp ứng nhiệt của mô hình. Các kết quả trong luận án cho thấy nhiệt độ cao tập trung tại bề mặt của tấm insert, tại vị trí tạo kết cấu dạng lưới cho sản phẩm nhựa. Với phân bố nhiệt độ này, quá trình giải nhiệt tiếp theo trong chu kỳ phun ép sẽ được thực hiện dễ dàng hơn. Vì vậy, đây cũng là một trong những ưu điểm nổi bật của phương pháp gia nhiệt bằng khí nóng.

Sự thay đổi nhiệt độ tại bề mặt tấm insert (sản phẩm dạng lưới và thành mỏng) cho thấy ứng với các giá trị nhiệt độ của dòng khí nóng, nhiệt độ của bề mặt lòng khuôn sẽ tăng rất nhanh trong 5 s đầu tiên của quá trình gia nhiệt. Sau đó, trong 10 s tiếp theo, nhiệt độ tại bề mặt khuôn sẽ tăng chậm lại. Khi nhiệt độ của dòng khí nóng thay đổi từ 200 °C đến 400 °C, sau 20 s, nhiệt độ của bề mặt khuôn

sẽ duy trì ổn định. Điểm khác biệt so với các nghiên cứu trước đây về lĩnh vực gia nhiệt cho khuôn, ở phương pháp gia nhiệt bằng khí nóng này, sau thời gian tăng nhiệt độ, nhiệt độ bề mặt khuôn sẽ đạt đến giới hạn.

Quá trình nhựa điền đầy lòng khuôn được khảo sát thông qua phần mềm Moldex3D. Kết quả mô phỏng cho thấy độ giảm của áp suất định hình theo thời gian từ 0,1 s đến 1 s. Nhìn chung, khi nhiệt độ khuôn càng cao, áp suất định hình sẽ được giữ lâu hơn. Ngoài ra, khi chiều dày sản phẩm càng nhỏ, áp suất định hình giảm càng nhanh hơn.

Các kết quả về chụp phân bố nhiệt độ của bề mặt khuôn cho thấy khả năng gia nhiệt cục bộ của phương pháp Ex-GMTC khá tốt. Kết quả thử kéo sản phẩm nhựa thành mỏng cũng được tổng hợp và so sánh với 2 loại nhựa là PA6 và PA6+30%GF. Kết quả này cho thấy ảnh hưởng rõ rệt của nhiệt độ tẩm insert và chiều dày lưới đến khả năng chịu lực kéo của sản phẩm.

ABSTRACT

Today, plastic products are diverse, from civil products such as plastic bags, to industrial plastic products. The manufacturing process of plastic injection molding product includes: Heating molten plastic, injection molding into plastic mold, cooling product and ejecting product out of mold. When plastic flow into cavity, mold temperature is an important factor affecting product quality.

Based on the simulation and experiment, the mold heating process was achieved with the change of the insert thickness from 0,5 mm to 2 mm and the gap between the hot gate and heating surface from 4 mm to 10 mm. These results show that:

- The insert thickness has a strong influence on the heating rate, as well as the temperature distribution of cavity.
- The gap between the hot gate and heating surface also affects to the heating rate and the temperature uniformity.
- The simulation result shows that the Ex-GMTC can be predicted quite accuracy, and the proper heating parameter can be found out.

With the thin wall injection molding, the heating step can be observed by simulation. The result shows that the high temperature will appear at the insert surface and at the welding line area. With this result, the cooling step will be easily operated. So, this is also a great advantage of this heating method.

Based on the temperature history of insert surface, the heating rate would be very high at the first 5 seconds. After that, in the next 10 seconds, the heating rate would be slower. With the heating source of 200 °C to 400 °C, after 20 seconds heating, the mold surface temperature would be stable. Comparing with other heating methods, this is also a different point.

The filling and packing step were observed by Moldex3D simulation. The simulation results showed out the decrease of packing pressure from 0,1 seconds to 1 seconds. In general, with the higher mold temperature, the packing pressure will

be maintained at the higher value. On the other hand, with the thinner product, the faster the packing pressure will be decreased.

The simulation and experiment results of the temperature distribution of mold surface show that the Ex-GMTC is a good local heating method for injection mold. The tensile testing was achieved for the material of PA6 and PA6+30%GF. The results show that the mold temperature is one of the most important factors which will impact on the tensile strength.

MỤC LỤC

QUYẾT ĐỊNH GIAO ĐỀ TÀI	i
LÝ LỊCH CÁ NHÂN	ii
LỜI CẢM ƠN	vi
TÓM TẮT	vii
MỤC LỤC.....	xi
DANH SÁCH CÁC CHỮ VIẾT TẮT.....	xiv
DANH SÁCH CÁC HÌNH	xv
DANH SÁCH CÁC BẢNG	xix
Chương 1	1
TỔNG QUAN	1
1.1 Tổng quan công nghệ phun ép nhựa và điều khiển nhiệt độ khuôn	1
1.2 Tình hình nghiên cứu ngoài nước	8
1.3 Tình hình nghiên cứu trong nước	15
1.4 Vấn đề khoa học còn tồn tại.....	18
1.5 Tính cấp thiết của đề tài	19
1.6 Ý nghĩa khoa học	21
1.7 Giá trị thực tiễn	21
1.8 Mục đích nghiên cứu	22
1.9 Đối tượng nghiên cứu	22
1.10 Nhiệm vụ nghiên cứu và giới hạn đề tài	22
1.11 Phương pháp nghiên cứu	23
1.12 Bố cục luận án.....	23
Chương 2	24
CƠ SỞ LÝ THUYẾT.....	24
2.1 Quy trình phun ép nhựa	24
2.2 Mô phỏng dòng chảy nhựa trong khuôn.....	26
2.2.1 Độ nhớt của nhựa nhiệt dẻo.....	26
2.2.2 Mô hình PVT (Pressure-Volume-Temperature).....	29
2.3 Dòng chảy nhựa trong chi tiết dạng tấm/hộp.....	30
2.3.1 Đặc điểm của quá trình.....	30
2.3.2 Phương pháp số	33

2.3.3 Định nghĩa các kết quả mô phỏng	33
2.4 Ảnh hưởng lớp bề mặt “frozen-layer” đến dòng chảy nhựa.....	36
2.5 Phương trình dòng chảy nhựa và dòng khí	38
2.5.1 Các phương trình chính	38
2.5.2 Điều kiện biên.....	39
2.5.3 Mô hình số trong mô phỏng	40
2.6 Kiểm tra độ bền kéo	41
2.6.1 Tiêu chuẩn độ bền kéo ASTM D638.....	41
2.6.2 Công thức tính độ bền kéo.....	42
2.6.3 Cách tiến hành thử nghiệm.....	42
Chương 3	44
MÔ TẢ MÔ PHỎNG VÀ THỰC NGHIỆM.....	44
3.1. Qui trình gia nhiệt khuôn bằng khí nóng ngoài khuôn	44
3.2. Mô hình mô phỏng và thực nghiệm.....	46
3.3. Mô phỏng	48
3.3.1 Mô phỏng quá trình gia nhiệt bằng khí nóng ngoài khuôn	48
3.3.2 Mô phỏng quá trình nhựa điền đầy lòng khuôn	50
3.4 Thực nghiệm	56
3.4.1 Máy ép nhựa Shinewell – 120B (SW-120B).....	56
3.4.2 Tay máy gia nhiệt	58
3.4.3 Bộ khuôn thực nghiệm	59
3.4.4 Camera đo nhiệt độ.....	60
3.4.5 Cảm biến đo nhiệt độ tiếp xúc	60
3.4.6 Máy thử độ bền kéo.....	60
Chương 4.....	61
ẢNH HƯỞNG CỦA GIA NHIỆT ĐẾN PHÂN BỐ NHIỆT ĐỘ BỀ MẶT LÒNG	
KHUÔN	61
4.1 Ảnh hưởng của chiều dày tấm insert đến nhiệt độ khuôn	61
4.2 Ảnh hưởng của khe hở giữa cổng phun khí nóng và bề mặt khuôn đến nhiệt	
độ khuôn.....	66
4.3 Kết luận.....	68
Chương 5	70

ẢNH HƯỞNG CỦA PHƯƠNG PHÁP GIA NHIỆT BẰNG KHÍ NÓNG ĐẾN ĐỘ BỀN SẢN PHẨM NHỰA DẠNG THÀNH MỎNG.....	70
5.1 Mô phỏng quá trình gia nhiệt cho lòng khuôn.....	70
5.2 Mô phỏng quá trình nhựa điền đầy lòng khuôn với qui trình phun ép có sử dụng bước gia nhiệt bằng khí nóng.....	76
5.3 Thực nghiệm ảnh hưởng của phương pháp gia nhiệt cho khuôn bằng khí nóng đến độ bền của sản phẩm	83
5.3.1 Khảo sát trường nhiệt độ của tấm khuôn trong quá trình gia nhiệt cho tấm insert	84
5.3.2 Thực nghiệm độ bền của sản phẩm ứng với các qui trình phun ép có nhiệt độ khuôn khác nhau.....	88
5.4 Kết luận.....	94
Chương 6.....	97
KẾT LUẬN	97
TÀI LIỆU THAM KHẢO.....	99
PHỤ LỤC.....	112
PHỤ LỤC 1: CÁC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ.....	112
PHỤ LỤC 2: BẢN QUYỀN PHẦN MỀM MOLDEX3D	114
PHỤ LỤC 3: BẢN VẼ LẮP BỘ KHUÔN TẠO MẪU THỬ KÉO ASTM D638	116
PHỤ LỤC 4: HỆ SỐ TIN CẬY CỦA PHƯƠNG TRÌNH HỒI QUY	117

DANH SÁCH CÁC CHỮ VIẾT TẮT

NCKH	Nghiên cứu khoa học
Ex-GMTC	External-Gas Mold Temperature Control
GMTC	Gas Mold Temperature Control
PA6	Polyamid 6
PA6+30% GF	Polyamid 6 + 30% Glass Fiber
GF	Glass Fiber
USD	United State Dollar
VPA	Vietnam Plastics Association (Hiệp hội nhựa Việt Nam)
CAD	Computer Aided Design
CAM	Computer Aided Manufacturing
CAE	Computer Aided Engineering
BLM	Boundary Layer Mesh
PVT	Pressure Volume Temperature
HTC	Heat Transfer Coefficient
ASTM	American Society for Testing and Materials
R-sq (ajd)	The adjusted R-squared

DANH SÁCH CÁC HÌNH

Hình 1.1: Quá trình phun ép sản phẩm nhựa.....	1
Hình 1.2: Các hướng nghiên cứu chính trong lĩnh vực khuôn phun ép nhựa.....	6
Hình 1.3: Hệ thống gia nhiệt cho khuôn bằng tia hồng ngoại	9
Hình 1.4: Thiết kế khuôn cho sản phẩm phun ép nhựa dạng micro, (a) khuôn phun ép, (b) sản phẩm dạng micro	10
Hình 1.5: Các kết cấu dạng micro của sản phẩm được đo bằng phương pháp micro scan 3D.....	11
Hình 1.6: Phương pháp gia nhiệt cho khuôn bằng cảm ứng từ với cuộn dây gia nhiệt được tích hợp vào khuôn - RocTool SA	11
Hình 1.7: Phương pháp gia nhiệt cho khuôn bằng cảm ứng từ với cuộn dây gia nhiệt độc lập với khuôn.....	12
Hình 1.8: Qui trình gia nhiệt bằng khí nóng cho khuôn phun ép nhựa.....	13
Hình 1.9: Mô hình thực nghiệm khả năng gia nhiệt cho lòng khuôn.....	13
Hình 1.10: Hệ thống điều khiển nhiệt độ khuôn bằng khí nóng được tích hợp trong khuôn.....	14
Hình 1.11: Phân bố nhiệt độ bề mặt khuôn ứng với bề dày khuôn khác nhau của phương pháp gia nhiệt bằng khí nóng được tích hợp trong khuôn	15
Hình 1.12: Phân bố nhiệt độ bề mặt khuôn với mô hình thực nghiệm đơn giản	18
Hình 1.13: Phân bố nhiệt độ bề mặt khuôn ứng với thời gian khác nhau của phương pháp gia nhiệt bằng khí nóng tích hợp bên trong khuôn.....	19
Hình 2.1: Quy trình phun ép nhựa	25
Hình 2.2: Cấu trúc phân tử (bên trái) và độ nhớt của nhựa (bên phải)	27
Hình 2.3: Đường đặc tính dẻo của nhựa nhiệt dẻo.....	27
Hình 2.4: Mối quan hệ độ nhớt và nhiệt độ	28
Hình 2.5: Sự phụ thuộc của thể tích riêng vào áp suất và nhiệt độ.....	29
Hình 2.6: Sự phụ thuộc của thể tích riêng và nhiệt độ ứng với nhựa vô định hình và bán tinh thể.....	29
Hình 2.7: Quá trình điền đầy.....	30

Hình 2.8: Phản ứng của dòng chảy trong quá trình điền đầy sản phẩm.....	30
Hình 2.9: Vấn đề nghiên cứu trong quá trình điền đầy và định hình sản phẩm.....	32
Hình 2.10: Sự thay đổi áp suất trong quá trình điền đầy.....	33
Hình 2.11: Kết quả mô phỏng quá trình điền đầy	33
Hình 2.12: Đặc tính PVT của nhựa kết tinh và nhựa vô định hình.....	34
Hình 2.13: Diện tích của phần tử	35
Hình 2.14: Dòng chảy của nhựa trong khuôn	37
Hình 2.15: Mẫu thử kéo theo tiêu chuẩn ASTM D638.....	42
Hình 3.1: Hệ thống Ex-GMTC.....	45
Hình 3.2: Các bước gia nhiệt bề mặt khuôn khi sử dụng hệ thống Ex-GMTC	46
Hình 3.3: Vị trí cảm biến, tấm insert so với khuôn.....	47
Hình 3.4: Vị trí gia nhiệt của đầu phun.....	47
Hình 3.5: Hình dạng và kích thước của mẫu mô phỏng và thực nghiệm	48
Hình 3.6: Điều kiện ban đầu của quá trình mô phỏng	50
Hình 3.7: Lưu đồ thực hiện quá trình mô phỏng.....	51
Hình 3.8: Mặt cắt thể hiện vùng được chia lưới bên trong mô hình.....	52
Hình 3.9: Số lớp và kích thước lưới được chia theo phương pháp BLM	53
Hình 3.10: Kích thước phần tử và offset ratio khi chia lưới	54
Hình 3.11: Kết quả phân tích trên mô đun Moldex3D Project	55
Hình 3.12: Máy phun ép nhựa SW-120B có tích hợp tay máy gia nhiệt.....	56
Hình 3.13: Tay máy gia nhiệt được lắp lên máy phun ép nhựa	59
Hình 3.14: Bộ khuôn chế tạo mẫu thử kéo ASTM D638.....	59
Hình 3.15: Camera hồng ngoại Flute TiS20	60
Hình 3.16: Cảm biến đo nhiệt độ Extech TM100	60
Hình 3.17: Máy đo độ bền kéo Shimadzu AG-X Plus 50kN.....	60
Hình 4.1: Nhiệt độ tại cảm biến S3 với các chiều dày của tấm insert	62
Hình 4.2: Phân bố nhiệt độ tại bề mặt tấm insert với nhiệt độ ban đầu là 30 °C, nhiệt độ khí là 300 °C tại áp suất phun 7 bar, và thời gian gia nhiệt là 20 s.....	62
Hình 4.3: Nhiệt độ đo được qua 5 cảm biến tại đường X – X ở cuối quá trình gia nhiệt.....	65

Hình 4.4: So sánh kết quả mô phỏng và thực nghiệm với các giá trị nhiệt độ tại đường X – X, bề dày 0,5 mm và 1 mm.....	65
Hình 4.5: So sánh kết quả mô phỏng và thực nghiệm với các giá trị nhiệt độ tại đường X – X, bề dày 1,5 mm và 2 mm.....	65
Hình 4.6: Phân bố nhiệt độ của tấm insert với khe hở thay đổi từ 4 mm đến 10 mm, thời gian gia nhiệt là 20 s và tấm insert có chiều dày 0,5 mm.....	67
Hình 4.7: So sánh nhiệt độ tại đường X–X giữa mô phỏng và thực nghiệm ứng với các khe hở khác nhau	67
Hình 5.1: Mô hình mô phỏng quá trình gia nhiệt cho tấm insert bằng khí nóng.....	71
Hình 5.2: Mô hình mô phỏng và mô hình lưới của thanh thử độ bền kéo.....	72
Hình 5.3: Mô hình sau khi chia lưới phần được gia nhiệt thanh thử độ bền kéo.....	73
Hình 5.4: Kết quả mô phỏng sự biến thiên nhiệt độ trên bề mặt tấm insert tạo kết cấu lưới khi tiến hành gia nhiệt sử dụng module CFX	74
Hình 5.5: Phân bố nhiệt độ tại tấm insert với thời gian gia nhiệt 20 s.....	75
Hình 5.6: Nhiệt độ tại tâm tấm insert với thời gian gia nhiệt 20 s	76
Hình 5.7: Biểu đồ so sánh sự phân bố áp suất tại lòng khuôn với nhiệt độ khuôn khác nhau của sản phẩm có chiều dày lưới 0,4 mm (nhựa PA6).....	77
Hình 5.8: Biểu đồ so sánh sự phân bố áp suất tại lòng khuôn với nhiệt độ khuôn khác nhau của sản phẩm có chiều dày lưới 0,6 mm (nhựa PA6).....	78
Hình 5.9: Biểu đồ so sánh sự phân bố áp suất tại lòng khuôn với nhiệt độ khuôn khác nhau của sản phẩm có chiều dày lưới 0,8 mm (nhựa PA6).....	79
Hình 5.10: Biểu đồ so sánh sự phân bố áp suất tại lòng khuôn với nhiệt độ khuôn khác nhau của sản phẩm có chiều dày lưới 0,4 mm (nhựa PA6+30% GF).....	80
Hình 5.11: Biểu đồ so sánh sự phân bố áp suất tại lòng khuôn với nhiệt độ khuôn khác nhau của sản phẩm có chiều dày lưới 0,6 mm (nhựa PA6+30% GF).....	81
Hình 5.12: Biểu đồ so sánh sự phân bố áp suất tại lòng khuôn với nhiệt độ khuôn khác nhau của sản phẩm có chiều dày lưới 0,8 mm (nhựa PA6+30% GF).....	82
Hình 5.13: Lòng khuôn cho quá trình thực nghiệm.....	83
Hình 5.14: Tấm khuôn chụp phân bố nhiệt độ.....	84
Hình 5.15: Phân bố nhiệt độ tại bề mặt khuôn gia nhiệt với nguồn khí 200 °C.....	86
Hình 5.16: Phân bố nhiệt độ tại bề mặt khuôn gia nhiệt với nguồn khí 250 °C.....	86

Hình 5.17: Phân bố nhiệt độ tại bề mặt khuôn gia nhiệt với nguồn khí 300 °C.....	87
Hình 5.18: Phân bố nhiệt độ tại bề mặt khuôn gia nhiệt với nguồn khí 350 °C.....	87
Hình 5.19: Phân bố nhiệt độ tại bề mặt khuôn gia nhiệt với nguồn khí 400 °C.....	88
Hình 5.20: Sản phẩm có chiều dày lưới 0,4 mm ứng với các mức nhiệt độ lòng khuôn 30 °C, 60 °C, 90 °C, 120 °C và 150 °C	89
Hình 5.21: Độ bền kéo của sản phẩm thành mỏng bằng nhựa PA6.....	91
Hình 5.22: Độ bền kéo của sản phẩm thành mỏng bằng nhựa PA6+30%GF.....	93

DANH SÁCH CÁC BẢNG

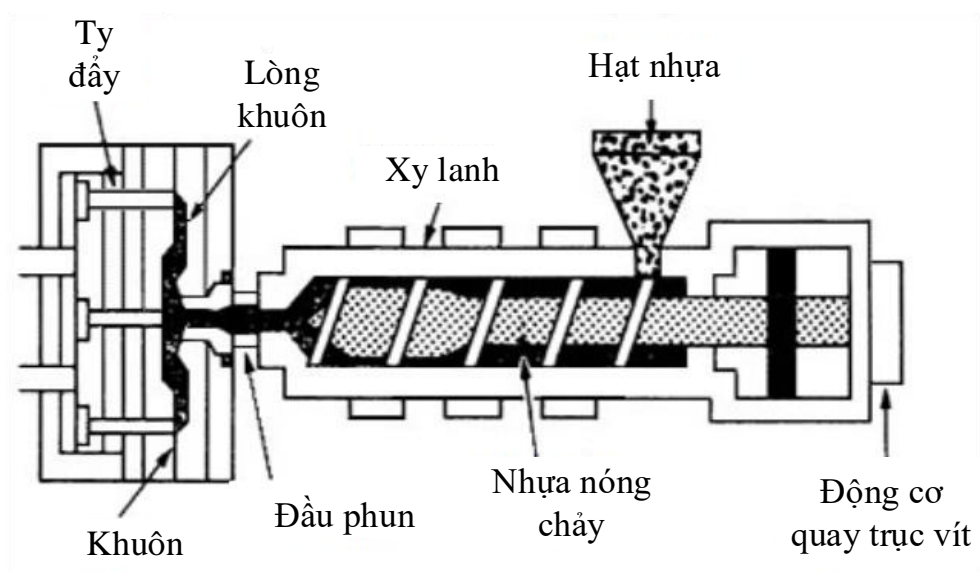
Bảng 2.1: Thông số kích thước mẫu thử.....	43
Bảng 3.1: Đặc tính vật liệu mô phỏng quá trình gia nhiệt bề mặt khuôn.....	49
Bảng 3.2: Số phần tử của mô hình thanh thử kéo	53
Bảng 3.3: Thông số vật liệu PA6 và PA6+30%GF.....	54
Bảng 3.4: Thông số kỹ thuật của máy phun ép SW-120B.....	57
Bảng 3.5: Thông số kỹ thuật của tay máy gia nhiệt	58
Bảng 4.1: Nhiệt độ nóng chảy và nhiệt độ đóng rắn của một số loại nhựa.....	63
Bảng 5.1: Thông số mô phỏng quá trình gia nhiệt cho tấm insert	71
Bảng 5.2: Áp suất của sản phẩm có chiều dày lưới 0,4 mm (nhựa PA6).....	77
Bảng 5.3: Áp suất của sản phẩm có chiều dày lưới 0,6 mm (nhựa PA6).....	78
Bảng 5.4: Áp suất của sản phẩm có chiều dày lưới 0,8 mm (nhựa PA6).....	78
Bảng 5.5: Áp suất của sản phẩm có chiều dày lưới 0,4 mm (nhựa PA6+30%GF)..	79
Bảng 5.6: Áp suất của sản phẩm có chiều dày lưới 0,6 mm (nhựa PA6+30%GF)..	80
Bảng 5.7: Áp suất của sản phẩm có chiều dày lưới 0,8 mm (nhựa PA6+30%GF)..	81
Bảng 5.8: Giá trị nhiệt độ tại tâm tấm insert trong quá trình gia nhiệt với các nguồn khí nóng khác nhau	85
Bảng 5.9: Thông số phun ép vật liệu nhựa PA6 và PA6+30%GF	88
Bảng 5.10: Kết quả thử độ bền kéo của sản phẩm bằng nhựa PA6	90
Bảng 5.11: Kết quả thử độ bền kéo sản phẩm bằng nhựa PA6+30%GF	92

Chương 1

TỔNG QUAN

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

Trong quá trình sản xuất các sản phẩm nhựa, phun ép nhựa là một trong những phương pháp thông dụng nhất hiện nay. Các bước cơ bản của phun ép nhựa được trình bày như hình 1.1. Đầu tiên, hạt nhựa được sấy để loại bỏ hơi ẩm, sau đó, hạt nhựa được đưa vào phễu cấp liệu trên máy ép. Từ đây, hạt nhựa được trục vít vận chuyển tới bộ phận gia nhiệt để gia nhiệt làm cho nhựa từ trạng thái rắn chuyển qua trạng thái lỏng. Khi nhựa đã chảy lỏng hoàn toàn sẽ được trục vít phun ép qua hệ thống kênh dẫn nhựa vào điền đầy lòng khuôn. Sau khi lòng khuôn được điền đầy hoàn toàn thì sản phẩm nhựa được làm nguội để nhựa từ dạng lỏng chuyển về lại dạng rắn ban đầu và lấy ra khỏi khuôn, kết thúc một chu kỳ sản xuất sản phẩm nhựa.



Hình 1.1: Quá trình phun ép sản phẩm nhựa [1]

Song song với quá trình phát triển của qui trình sản xuất các sản phẩm nhựa, các khuyết tật cũng sẽ xuất hiện ngày càng nhiều. Hiện nay, các khuyết tật thường gặp trong quá trình sản xuất sản phẩm theo phương pháp phun ép như đường hàn (weld line), rỗ khí (air trap), cong vênh (warpage) do co rút không đồng đều... [1]. Ngoài ra, độ bền sản phẩm cũng là một tiêu chí ngày càng được yêu cầu nhiều hơn từ phía khách hàng [2 – 4]. Do đó, trong lĩnh vực khuôn phun ép nhựa, các nghiên

cứu trong những năm gần đây chủ yếu tập trung vào 04 hướng chính (hình 1.2) như sau:

- Nghiên cứu vật liệu mới: trong hướng nghiên cứu này, chất phụ gia thường được nghiên cứu nhằm cải thiện các vấn đề phun ép hiện có [5, 6]. Ngoài ra, tại các phòng thí nghiệm chuyên về polymer, các loại vật liệu mới hoàn toàn cũng là mục tiêu nghiên cứu [8, 9]. Các hướng nghiên cứu này chủ yếu tập trung vào cơ tính của sản phẩm sau phun ép, nhằm tăng độ bền [10], khả năng chịu va đập [11 – 14], hoặc khả năng dẫn điện [15 – 16] (với vật liệu composite nền nhựa). Hiện nay, ưu điểm của hướng nghiên cứu này là khả năng tạo ra vật liệu mới, có những ưu điểm nổi bật hơn so với các vật liệu phun ép truyền thống. Tuy nhiên, so với thị trường công nghệ tại Việt Nam, hướng nghiên cứu này vẫn chưa thích hợp do yêu cầu về thiết bị phục vụ nghiên cứu khá cao. Ngoài ra, với các vật liệu mới, thị trường sản xuất ở Việt Nam chưa có nhu cầu lớn.
- Nghiên cứu kết cấu và vật liệu chế tạo khuôn phun ép: Trong quá trình phun ép các sản phẩm nhựa, khuôn phun ép là một trong những chi tiết yêu cầu kỹ thuật khá cao cả về độ chính xác hình dáng hình học, lẫn cơ tính. Chất lượng của khuôn sẽ ảnh hưởng đến độ co rút của sản phẩm [17 – 19], khả năng giải nhiệt [20 – 22] và thời gian chu kỳ phun ép [23 – 25]. Ngoài ra, vật liệu làm khuôn là một trong những yếu tố chính ảnh hưởng đến độ bền của khuôn. Do đó, các nghiên cứu về khuôn phun ép hiện nay có các hướng chính như sau:
 - Vật liệu làm khuôn [26 – 29]: Với vật liệu làm khuôn, các vật liệu mới đang được nghiên cứu gồm các dạng kim loại nhẹ, dẫn nhiệt tốt và độ bền cơ học cao. Tuy nhiên, việc nghiên cứu các vật liệu khuôn này chủ yếu phụ thuộc vào công nghệ luyện kim, đây là một trong những lĩnh vực cần yêu cầu rất nhiều kinh phí để có thể đạt được những kết quả nghiên cứu khả quan, đặc biệt trong điều kiện kinh tế ở Việt Nam.
 - Vật liệu gia công khuôn [30 – 36]: Hiện nay, công nghệ gia công kim loại đang được nghiên cứu khá mạnh ở các nước phát triển như Đức, Mỹ, Thụy Điển,... Tuy nhiên, so với mặt bằng tại Việt Nam, các loại

công nghệ này còn khá cao, mặc dù nhu cầu đang ngày càng tăng. Ngoài ra, tương tự như những hướng nghiên cứu trên, việc nghiên cứu về vật liệu gia công khuôn cũng sẽ đòi hỏi các trang thiết bị khá tốn kém, cũng như chi phí thử nghiệm vật liệu khá cao. Do đó, hướng nghiên cứu này gần như rất khó tiến hành tại Việt Nam.

- Phương pháp và công nghệ gia công khuôn [37 – 42]: Hiện nay, tại Việt Nam, công nghệ gia công khuôn chủ yếu tập trung vào công nghệ bóc tách vật liệu với những phương pháp thông dụng như: Tiện, phay, mài, cắt dây, gia công điện cực,... Đây cũng là những phương pháp gia công phổ biến trên thế giới. Ngoài những phương pháp này, phương pháp in 3D kim loại cũng đang được nghiên cứu, phát triển nhằm đưa vào qui trình chế tạo khuôn. Hiện nay, thị trường gia công tại Việt Nam đang có nhiều công ty có thể làm chủ các công nghệ về bóc tách vật liệu với độ chính xác khá tốt. Tuy nhiên, với phương pháp in 3D kim loại, hầu như chưa có công ty hoặc phòng thí nghiệm tại Việt Nam có thể ứng dụng công nghệ này. Đây có thể là hướng nghiên cứu trong tương lai tại Việt Nam.
- Qui trình thiết kế khuôn: Hiện nay, qui trình thiết kế khuôn được thực hiện chủ yếu trên các phần mềm 3D phổ biến như: Inventor, Catia, SolidWork, NX, CreO... Các qui trình và các công cụ hỗ trợ này chủ yếu được phát triển bởi các công ty phần mềm ở nước ngoài. Vì vậy, việc nghiên cứu cải tiến qui trình gần như không được thực hiện tại Việt Nam.
- Nghiên cứu về máy phun ép: Trong các thiết bị phun ép nhựa, máy phun ép là thiết bị quan trọng nhất, quyết định trực tiếp đến độ chính xác, chất lượng, cũng như sản lượng phun ép các sản phẩm nhựa. Hiện nay, trong quá trình phát triển, máy phun ép ngày càng được nghiên cứu nhằm đưa ra nhiều loại phù hợp với các loại/nhóm sản phẩm nhựa như: sản phẩm có kích thước micro [43 – 47], sản phẩm kích thước thông thường, sản phẩm có kích thước siêu lớn. Hoặc các loại máy phun ép chuyên biệt được sử dụng cho các loại vật liệu đặc biệt như composite, vật liệu nhớ hình,... Tuy

nhiên, nhìn chung, các thông số và yêu cầu kỹ thuật chính của các máy phun ép đều tập trung vào các lĩnh vực như: vít-me, điều khiển áp suất phun, vận tốc ép, độ chính xác của các cơ cấu,...[48 – 53]. Các kết quả nghiên cứu trong hướng này cho ra các thể hệ máy phun ép mới, nhưng chi phí của các máy này sẽ cao hơn, dẫn đến chi phí sản xuất cũng sẽ tăng theo. Hiện nay, các nghiên cứu về máy phun ép hầu như rất khó thực hiện tại Việt Nam do điều kiện thực nghiệm yêu cầu các thiết bị tối tân và chi phí thử nghiệm rất lớn.

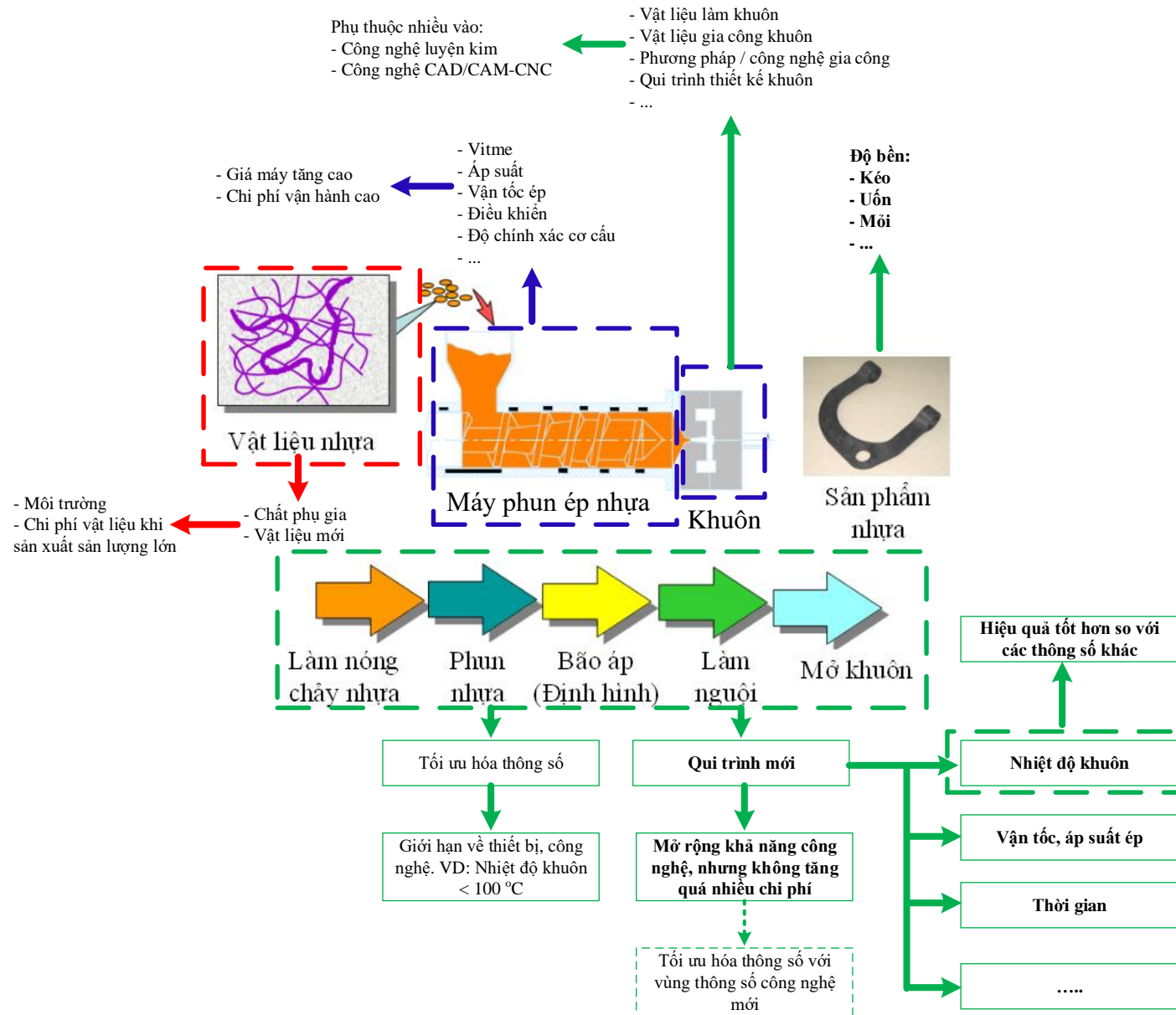
- Nghiên cứu công nghệ hoặc qui trình ép nhựa mới nhằm nâng cao chất lượng nhựa lỏng, cũng như khả năng điều khiển nhiệt độ và áp suất nhựa lỏng trong quá trình ép. Trong các qui trình phun ép hiện nay, hạt nhựa sau khi được hóa lỏng sẽ được ép vào lòng khuôn, sau đó, khi thể tích nhựa này nguội đến nhiệt độ mở khuôn, hai nửa khuôn sẽ mở ra và sản phẩm sẽ được đẩy ra khỏi khuôn. Với qui trình này, hiện nay có hai hướng nghiên cứu chính như sau:

- o Hướng nghiên cứu về tối ưu hóa các thông số phun ép: Hướng nghiên cứu này thường được thực hiện với các dạng sản phẩm như: micro [43 – 47], thành mỏng [54 – 56], composite [57 – 60],... với các phương pháp tối ưu hóa như: Taguchi [61 – 64], ANOVA [65 – 67], mạng neuron [68 – 70],... Thông qua quá trình tối ưu hóa, chất lượng sản phẩm phun ép được cải thiện đáng kể. Tuy nhiên, một trong những giới hạn của phương pháp tối ưu hóa là các thông số phun ép chỉ giới hạn trong mức thông thường, ví dụ: nhiệt độ khuôn trong vùng tham khảo của nhựa, áp suất phun ép, áp suất định hình tùy thuộc vào khả năng của máy phun ép,... Chính những giới hạn này, phương pháp tối ưu hóa hiện tại chỉ dừng lại ở bước nâng cao chất lượng sản phẩm, chứ chưa thể mở rộng khả năng của thiết bị nhằm chế tạo được những sản phẩm phức tạp và yêu cầu kỹ thuật cao.
- o Hướng nghiên cứu về qui trình phun ép mới: Hiện nay, các qui trình phun ép mới được đề xuất bởi các nghiên cứu với các mục

tiêu như: nâng cao nhiệt độ khuôn trong quá trình nhựa điền đầy lòng khuôn [71 – 74], tăng vận tốc và áp suất phun ép [75 – 76], rút ngắn thời gian phun ép,... Đến nay, các hướng nghiên cứu này bước đầu cho thấy những lợi thế về mặt ứng dụng như:

- Dễ dàng ứng dụng cho các thiết bị hiện có tại các công ty
- Nâng cao khả năng phun ép khá rõ ràng
- Có thể ứng dụng cho một số dạng sản phẩm khó phun ép với thể hệ máy phun ép thông thường.

Nhìn chung, trong các hướng trên, các đề tài về nghiên cứu qui trình mới cho phương pháp phun ép và nghiên cứu về vật liệu nhựa, kết cấu khuôn, máy phun ép thường được thực hiện tại các nước phát triển như Mỹ, Châu Âu, Nhật... do điều kiện cơ sở vật chất, cũng như các trang thiết bị hiện đại. Ngược lại, nghiên cứu về tối ưu hóa các thông số thuộc quá trình phun ép hoặc điều kiện phun ép thường được các nước như Trung Quốc, Đài Loan, Hàn Quốc chú ý do nhu cầu sản xuất từ các khu công nghiệp cho phép hướng nghiên cứu này phát triển mạnh.



Hình 1.2: Các hướng nghiên cứu chính trong lĩnh vực khuôn phun ép nhựa

Hiện nay, với điều kiện sản xuất và nhu cầu cải tiến công nghệ như Việt Nam, đa số các công ty sản xuất nhựa hoạt động trên cơ sở nhận hợp đồng sản xuất từ phía khách hàng với các yêu cầu về vật liệu nhựa, chất lượng sản phẩm, năng suất,... Do đó, việc thay đổi, cải tiến vật liệu nhựa, hoặc ứng dụng các qui trình mới vào sản xuất sẽ không mang tính khả thi cao. Vì vậy, tại Việt Nam, hướng nghiên cứu về qui trình phun ép mới: là một trong những hướng nghiên cứu khả thi và hiệu quả nhất hiện nay.

Trong các nghiên cứu về các qui trình phun ép mới, các qui trình can thiệp đến thông số về nhiệt độ thường có ảnh hưởng lớn đến qui trình cũng như chất lượng sản phẩm [91, 93 – 95]. Thông thường, các nghiên cứu về nhiệt độ khuôn tập trung vào nhiệt độ nhựa nóng chảy (melt temperature) và nhiệt độ khuôn (mold temperature). Trong đó, nhiệt độ nhựa nóng chảy thường được nhà sản xuất qui định trong khoảng cho phép. Do đó, đây gần như là thông số rất khó thay đổi. Ngược lại, nhiệt độ khuôn là yếu tố ảnh hưởng đến:

- Dòng chảy nhựa khi điền vào lòng khuôn [82, 92]
- Quá trình giải nhiệt cho sản phẩm [78 – 81]
- Độ co rút và ứng suất dư của sản phẩm [81]
- ...

Trong quá trình xác định các thông số phun ép, giá trị nhiệt độ khuôn thường được nhà sản xuất vật liệu nhựa qui định trong khoảng nhiệt độ cho phép. Tuy nhiên, khác với nhiệt độ nhựa nóng chảy, nhiệt độ khuôn có thể được phân thành hai thời điểm khác nhau: *nhiệt độ khuôn khi nhựa chảy vào lòng khuôn (filling step)* và *nhiệt độ khuôn sau khi nhựa đã điền đầy lòng khuôn (full fill)*.

- Nhiệt độ khuôn trong quá trình nhựa điền đầy lòng khuôn: Nếu trong quá trình này, nhiệt độ khuôn càng cao (nhưng phải thấp hơn nhiệt độ nhựa – melt temperature) thì quá trình điền đầy lòng khuôn càng dễ, và nhiều lợi ích khác có thể đạt được như: ứng suất dư trên sản phẩm thấp, độ chính xác về kích thước và hình dáng càng cao,... [1]
- Nhiệt độ khuôn sau khi nhựa đã điền đầy lòng khuôn: Nếu trong quá trình này, nhiệt độ khuôn càng thấp, quá trình giải nhiệt cho sản

phẩm sẽ càng thuận lợi hơn, và kết quả là độ cong vênh của sản phẩm sẽ giảm đáng kể [1].

Do đó, với phân tích như trên, qui trình phun ép truyền thống như hình 1.1 được đề xuất thêm bước gia nhiệt cho bề mặt lòng khuôn nhằm tăng nhiệt độ bề mặt khuôn lên mức cao hơn. Sau đó, quá trình giải nhiệt sẽ được tiến hành nhằm giảm nhiệt độ khuôn và nhiệt độ sản phẩm đến giá trị nhiệt độ mở khuôn.

Ngoài khả năng nâng cao cơ tính của sản phẩm nhựa, tối ưu hóa quá trình điều khiển nhiệt độ khuôn là một trong những cách hiệu quả nhất nhằm nâng cao chất lượng bề mặt sản phẩm nhựa [93 – 98]. Nhìn chung, nếu nhiệt độ bề mặt lòng khuôn cao, quá trình điền đầy nhựa sẽ thuận lợi hơn, và trong hầu hết các trường hợp, chất lượng bề mặt sản phẩm sẽ được cải thiện đáng kể [94, 96, 99]. Tuy nhiên, nếu nhiệt độ của các tấm khuôn tăng cao, quá trình giải nhiệt của khuôn sẽ bị kéo dài và chu kỳ phun ép sẽ tốn nhiều thời gian, giá thành sản phẩm cũng sẽ gia tăng [1]. Vì vậy, mục tiêu quan trọng của quá trình điều khiển nhiệt độ khuôn phun ép là: *gia nhiệt cho bề mặt khuôn đến nhiệt độ yêu cầu, nhưng vẫn đảm bảo thời gian chu kỳ phun ép không quá dài.*

1.2 Tình hình nghiên cứu ngoài nước

Nhìn chung, dựa vào ảnh hưởng nhiệt độ lên tấm khuôn, quá trình gia nhiệt cho khuôn phun ép được chia làm 2 nhóm chính:

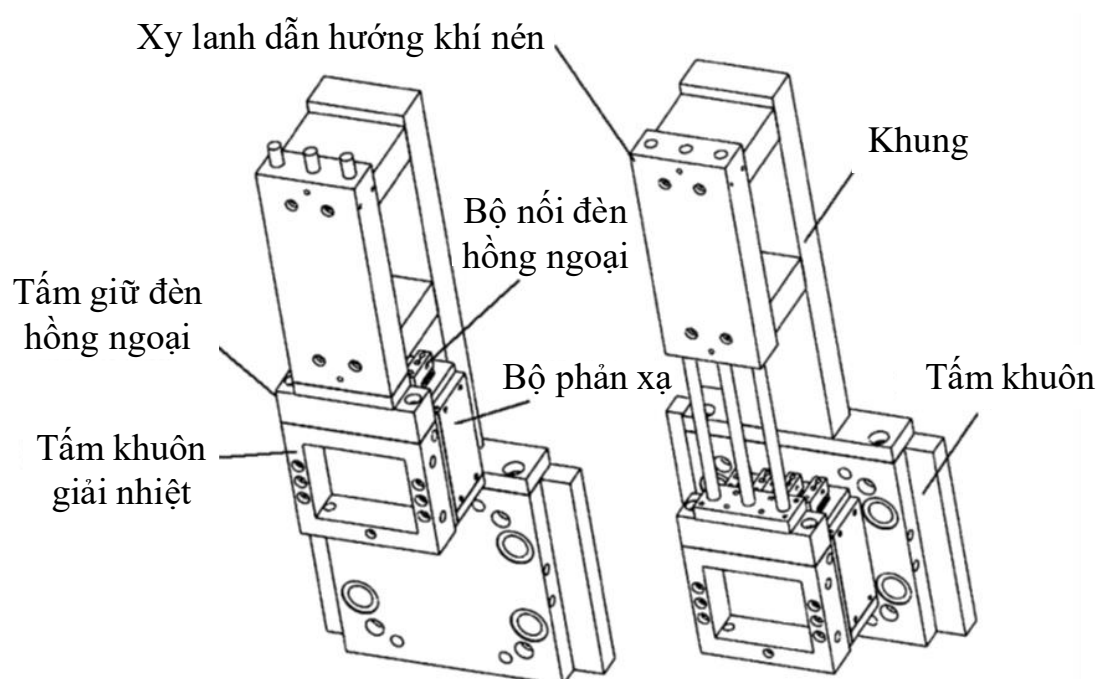
- Nhóm I: Gia nhiệt cả tấm khuôn (volume heating).
- Nhóm II: Gia nhiệt cho bề mặt khuôn (surface heating).

Trong các nghiên cứu gần đây, tốc độ gia nhiệt được cải tiến đáng kể khi phương pháp gia nhiệt cho bề mặt khuôn được sử dụng (Nhóm II). Khi sử dụng các phương pháp này, quá trình điền đầy của nhựa vào lòng khuôn được cải thiện khi bề mặt khuôn được phủ một lớp cách nhiệt. Nhìn chung, nhóm các phương pháp này có thể tăng nhiệt độ bề mặt khuôn lên khoảng 25 °C [79, 96]. Hệ thống gia nhiệt bằng tia hồng ngoại (infrared heating), hình 1.3, được nghiên cứu và ứng dụng cho khuôn phun ép nhựa [97, 98]. Hệ thống gia nhiệt bằng tia hồng ngoại đã được ứng dụng cho khuôn phun ép sản phẩm dạng micro. Thiết kế khuôn và sản phẩm dạng micro được trình bày ở hình 1.4. Sau quá trình phun ép, sản phẩm được scan 3D nhằm kiểm tra khả năng điền đầy khuôn cho các kết cấu micro (hình 1.5). Nghiên

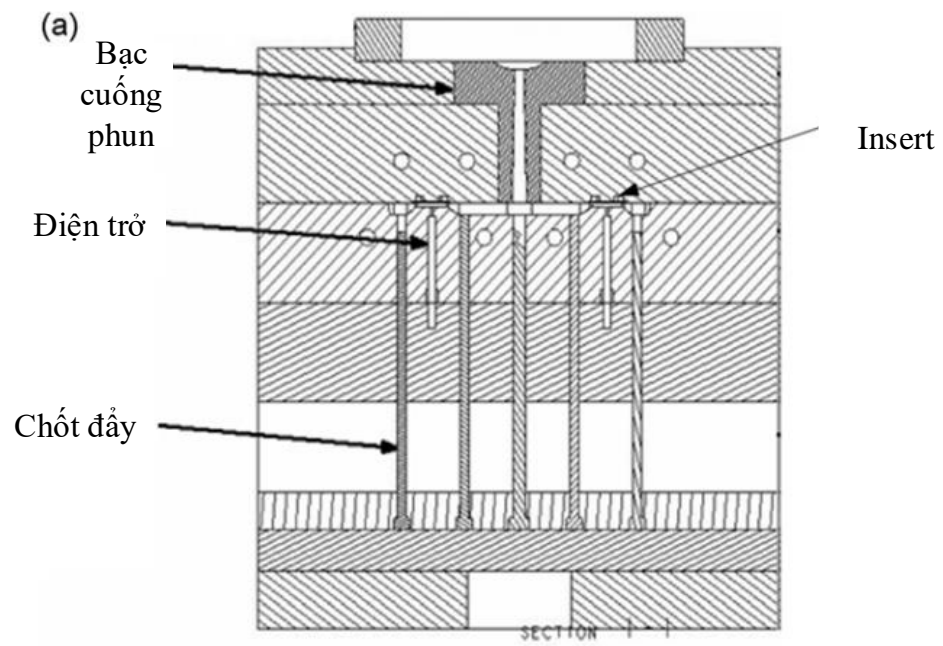
cứu này cho thấy với nhiệt độ khuôn 80 °C, và 10 s gia nhiệt, toàn bộ các kết cấu micro được điền đầy nhựa.

Phương pháp gia nhiệt bằng cảm ứng từ (induction heating), hình 1.6, đã được ứng dụng nhằm hạn chế độ cong vênh, co rút, làm mờ đường hàn (welding line), cũng như các khuyết tật khác của sản phẩm nhựa [99, 100]. Phương pháp gia nhiệt bằng cảm ứng từ gồm hai nhóm thiết kế chính:

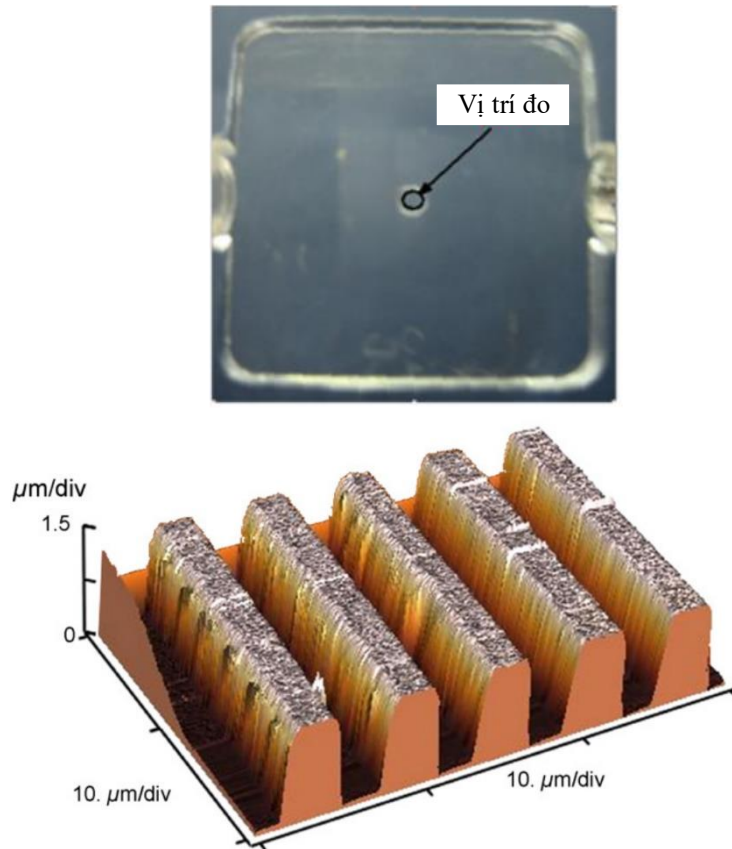
- Nhóm 1: Cuộn dây gia nhiệt được tích hợp vào kết cấu khuôn (hình 1.6)
- Nhóm 2: Bộ phận gia nhiệt độc lập với khuôn (hình 1.7)



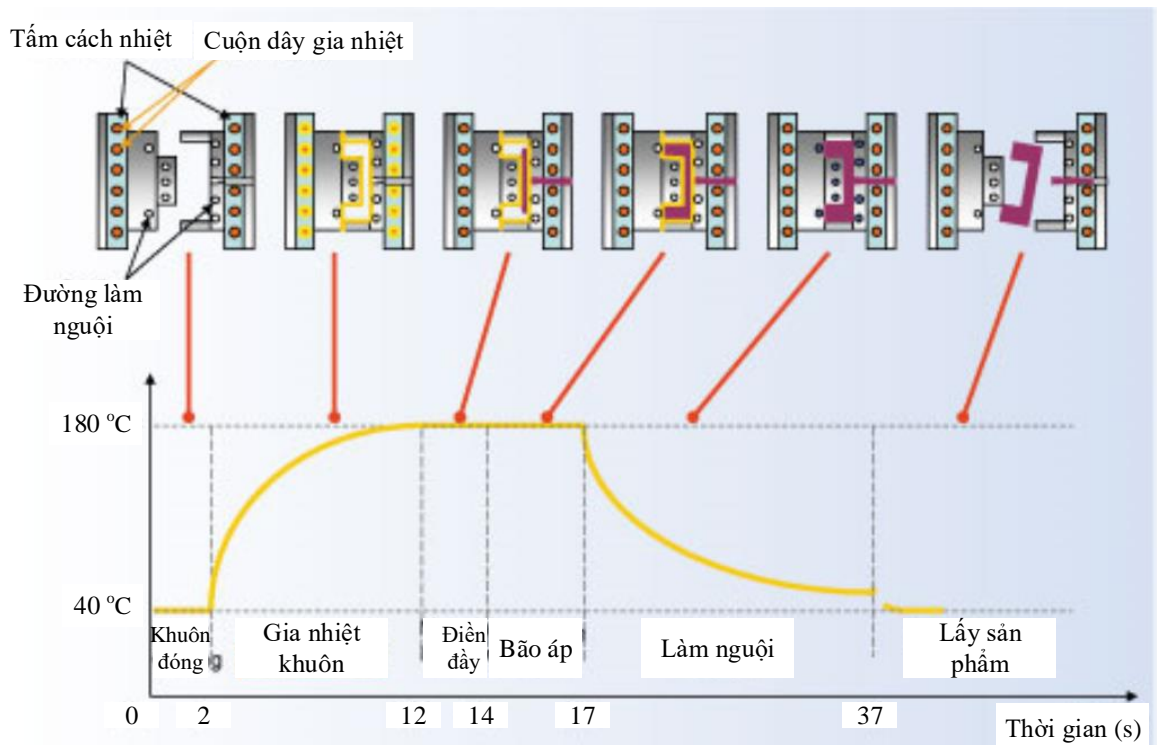
Hình 1.3: Hệ thống gia nhiệt cho khuôn bằng tia hồng ngoại [97]



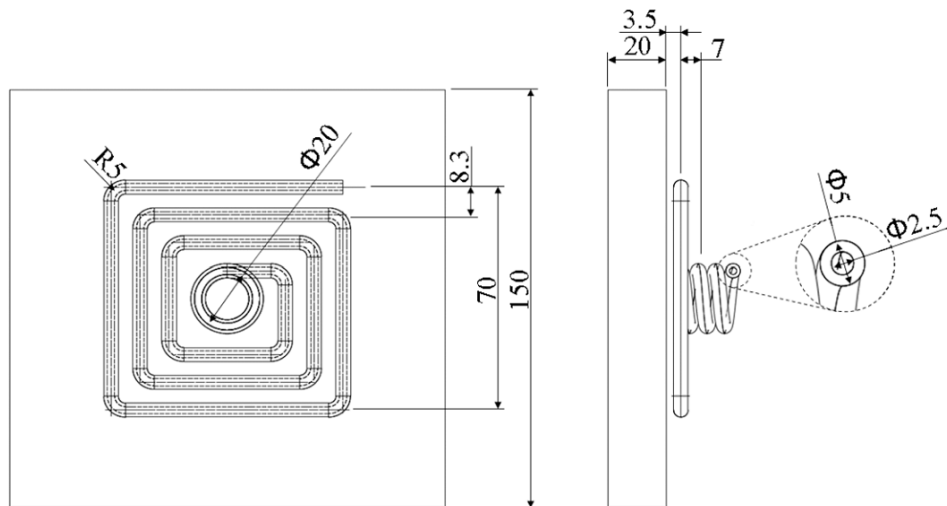
Hình 1.4: Thiết kế khuôn cho sản phẩm phun ép nhựa dạng micro, (a) khuôn phun ép, (b) sản phẩm dạng micro [98]



Hình 1.5: Các kết cấu dạng micro của sản phẩm được đo bằng phương pháp micro scan 3D [98]



Hình 1.6: Phương pháp gia nhiệt cho khuôn bằng cảm ứng từ với cuộn dây gia nhiệt được tích hợp vào khuôn [99]

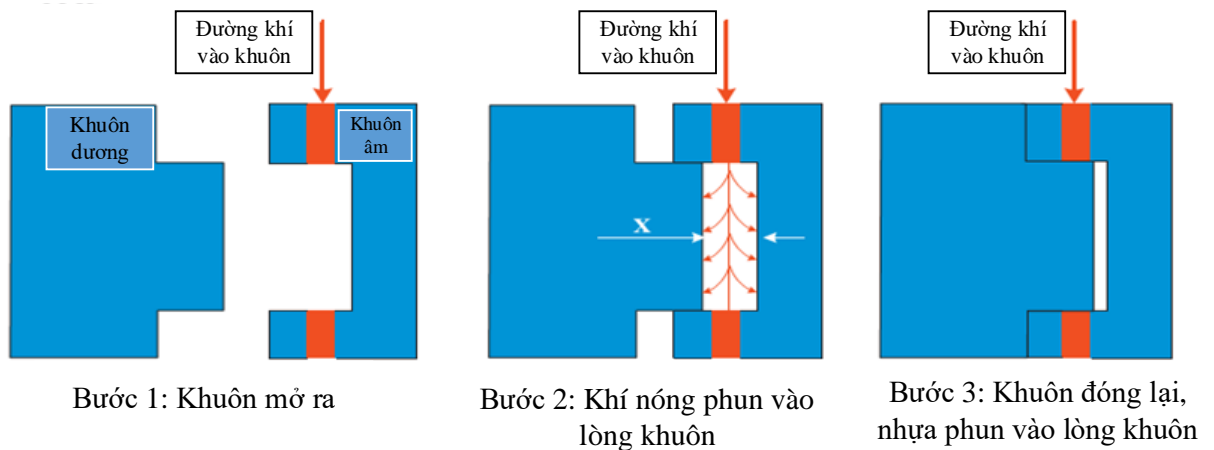


Hình 1.7: Phương pháp gia nhiệt cho khuôn bằng cảm ứng từ với cuộn dây gia nhiệt độc lập với khuôn [100]

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

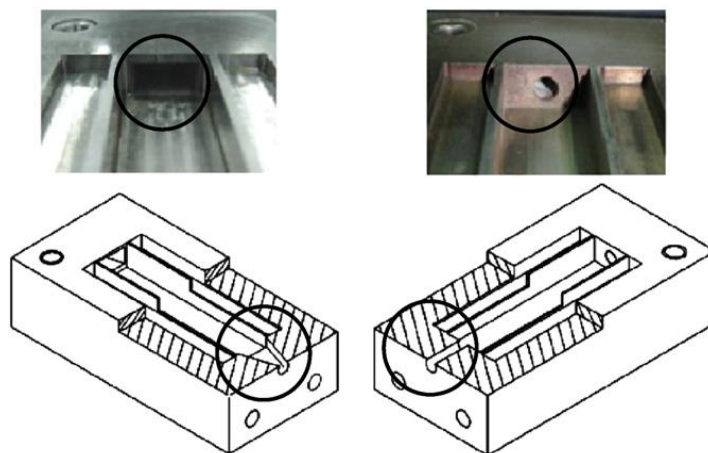
- Tốc độ gia nhiệt cao.
- Thời gian gia nhiệt có thể kéo dài đến 20 s
- Có thể ứng dụng cho khuôn phun ép như một module đính kèm, nghĩa là không cần thay đổi kết cấu khuôn có sẵn.

Ngoài ra, nhằm đáp ứng yêu cầu gia nhiệt cho các bề mặt phức tạp, phương pháp phun khí nóng vào lòng khuôn (gas heating) đã được nghiên cứu và đánh giá hiệu quả [94, 95]. Qui trình gia nhiệt cho khuôn phun ép bằng khí nóng đang được tiến hành như hình 1.8. Cuối chu kỳ phun ép, hai tấm khuôn mở ra và sản phẩm sẽ được lấy ra ngoài (hình 1.8 - Bước 1). Sau đó, tấm khuôn di động sẽ được di chuyển đến vị trí gia nhiệt (hình 1.8 - Bước 2). Tại bước này, khí nóng sẽ được phun vào lòng khuôn. Qua quá trình truyền nhiệt đối lưu giữa khí nóng và bề mặt khuôn, nhiệt năng của khí nóng sẽ làm bề mặt khuôn tăng nhiệt độ đến giá trị cần thiết. Cuối cùng, khí nóng sẽ dừng phun, và hai tấm khuôn sẽ đóng hoàn toàn (hình 1.8 – Bước 3). Tiếp theo, nhựa nóng chảy sẽ được ép vào lòng khuôn.



Hình 1.8: Quy trình gia nhiệt bằng khí nóng cho khuôn phun ép nhựa [94]

Với phương pháp này, nhiệt độ bề mặt khuôn có thể được tăng từ 60 °C đến 120 °C trong thời gian 2 s. Tuy nhiên, quá trình gia nhiệt này sẽ đạt tới trạng thái bão hòa khi thời gian gia nhiệt kéo dài hơn 4 s. Ưu điểm của phương pháp “gas heating” là tốc độ gia nhiệt rất cao, và thời gian chu kỳ của sản phẩm sẽ được rút ngắn. Tuy nhiên, thiết kế của khuôn phun ép (hình 1.9) cần được thiết kế lại để tích hợp thêm hệ thống gia nhiệt vào khuôn.



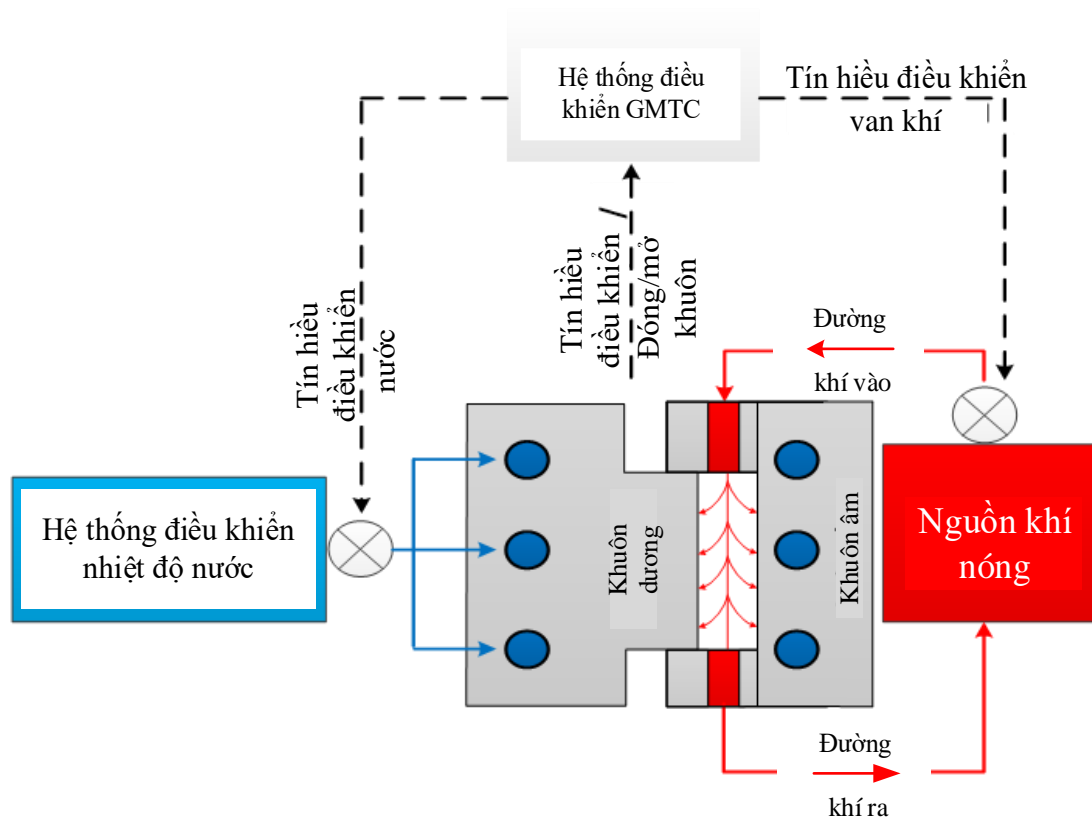
Hình 1.9: Mô hình thực nghiệm khả năng gia nhiệt cho lòng khuôn [95]

Qua các nghiên cứu về điều khiển nhiệt độ cho khuôn phun ép, quá trình gia nhiệt ảnh hưởng tích cực đến chất lượng sản phẩm nhựa. Do đó, các phương pháp gia nhiệt nêu trên đều được ứng dụng trong các quy trình phun ép sản phẩm nhựa với các yêu cầu kỹ thuật cao như: micro – injection molding, high aspect ratio injection molding,

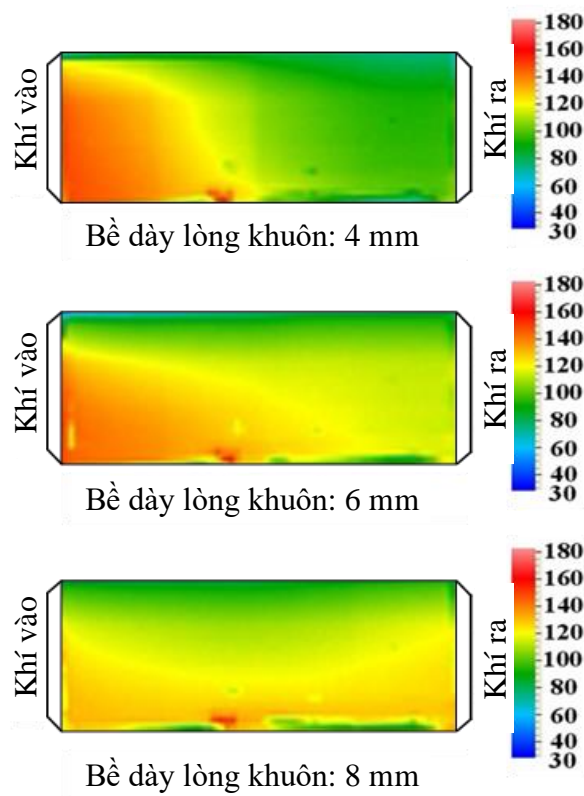
Ngoài ra, với các phương án gia nhiệt khác nhau, để quá trình gia nhiệt cho khuôn mang tính khả thi trong thực tiễn, hệ thống tay máy gia nhiệt luôn được sử

dụng như giải pháp hữu hiệu nhất. Hệ thống tay máy này đã được sử dụng trong nghiên cứu của nhóm tác giả S. C. Chen [95 – 100], W. Wu [84], P. C. Chang [93], ...

Với những ưu điểm trong quá trình phun ép nhựa như trên, phương pháp gia nhiệt cho bề mặt khuôn bằng khí nóng đã bước đầu chứng minh tính khả thi cho việc ứng dụng trong qui trình sản xuất thực tế. Hiện nay, mô hình được nghiên cứu cho phương pháp gia nhiệt bằng khí nóng tích hợp trong khuôn đã được nghiên cứu như hình 1.10.



Hình 1.10: Hệ thống điều khiển nhiệt độ khuôn bằng khí nóng được tích hợp trong khuôn [95]



Hình 1.11: Phân bố nhiệt độ tại bề mặt khuôn ứng với bề dày khuôn khác nhau của phương pháp gia nhiệt bằng khí nóng được tích hợp trong khuôn [100]

Hệ thống gia nhiệt được tích hợp trong lòng khuôn (hình 1.10): Với hệ thống này, tác giả S. C. Chen [95 – 100] đã chứng minh khả năng gia nhiệt cho lòng khuôn với nguồn nhiệt được cấp bằng khí nóng. Tuy nhiên, với mô hình này, kết cấu khuôn cần được thiết kế đặc biệt nhằm tích hợp cổng phun khí nóng. Với các kết cấu khuôn dạng này, nhiệt độ khuôn có thể được điều chỉnh với tốc độ gia nhiệt dao động từ 5 °C/s đến 8 °C/s, tuy nhiên, chi phí sản xuất khuôn sẽ tăng cao. Ngoài ra, với thiết kế của hệ thống gia nhiệt từ bên trong, phân bố nhiệt độ khuôn sẽ không được cân bằng như hình 1.11. Tại vị trí gần cổng phun khí, nhiệt độ sẽ rất cao, ngược lại, càng xa cổng phun khí nóng, nhiệt độ bề mặt khuôn sẽ càng thấp, riêng với trường hợp bề dày lòng khuôn 8 mm thì chênh lệch nhiệt độ ít, khoảng 3 °C.

1.3 Tình hình nghiên cứu trong nước

Hiện nay, tại các doanh nghiệp Việt Nam, các đề tài nghiên cứu về lĩnh vực nhựa đã có định hướng về nghiên cứu tối ưu hóa quá trình giải nhiệt cho khuôn phun ép nhằm giải quyết bài toán về chi phí sản xuất trong ngành nhựa. Trong quá trình tìm

hiểu, các doanh nghiệp Việt Nam đang trong quá trình khai thác một số phần mềm chuyên dùng cho mô phỏng quá trình gia công nhựa như: C-Mold, Moldflow, Moldex3D, ... Đã có một số đề tài được tiến hành như sau:

- Luận văn Thạc sỹ năm 2003 của học viên Nguyễn Văn Thành (Đại học Bách Khoa Tp. HCM): “*Nghiên cứu xây dựng qui trình thiết kế hệ thống làm nguội cho khuôn ép phun nhựa theo công nghệ CAD/CAE*”. Luận văn này đã đề cập đến lý thuyết truyền nhiệt và ứng dụng nó trong khuôn ép phun, nhằm xác định kích thước và phân bố hệ thống làm nguội, xây dựng được qui trình thiết kế hệ thống làm nguội cho khuôn ép phun theo công nghệ CAD/CAE, áp dụng qui trình này cho sản phẩm là khuôn vỏ bình nước nóng.

- Luận văn Thạc sỹ năm 2005 của học viên Lê Minh Trí (Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp. HCM): “*Tối ưu hóa giải nhiệt khuôn ép phun*”. Luận văn này đã đề cập đến cơ sở của việc thiết kế hệ thống giải nhiệt của khuôn ép phun dựa trên lý thuyết truyền nhiệt, ứng dụng phương pháp này để tính toán hệ thống giải nhiệt cho sản phẩm là một tấm mỏng, sau đó, sử dụng phần mềm Moldflow để mô phỏng, kiểm tra kết quả. Tuy nhiên, nội dung đề tài này chưa đưa ra được phương pháp tối ưu cho việc thiết kế hệ thống giải nhiệt, và việc tính toán, mô phỏng chỉ dừng lại ở một chi tiết quá đơn giản, chưa phù hợp với yêu cầu thực tế.

- Đề tài nghiên cứu khoa học – công nghệ, PGS.TS. Đoàn Thị Minh Trinh đã thực hiện đề tài: “*Ứng dụng công nghệ CAD/CAM/CAE, xác định thông số miệng phun, vùng dòn nén khí, kích thước kênh dẫn nhựa, hệ thống giải nhiệt hợp lý cho khuôn ép phun nhựa*” (thuộc chương trình “Nghiên cứu tự động hóa” của Thành phố Hồ Chí Minh), thực hiện trong thời gian 9-2003 đến 8-2004, nghiệm thu ngày 30-8-2004.

- Đồ án tốt nghiệp Đại học năm 2012 của nhóm sinh viên Bùi Thanh Tuấn, Vòng Viễn Giang, Phan Doãn Lợi, và Trần Văn Dũng (Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp. HCM) với đề tài: “*Thiết kế và chế tạo khuôn ép dùng trong nghiên cứu đường hàn trên sản phẩm nhựa*”. Trong đồ án này, nhóm nghiên cứu đã bước đầu nâng cao nhiệt độ của bề mặt khuôn đến 90 °C và quan sát sự thay đổi của đường hàn, cũng như hiện tượng tụ khí (air trap) tại đường hàn. Kết quả cho thấy khi tăng nhiệt độ

khuôn, tính thẩm mỹ của đường hàn được cải thiện, đường hàn sẽ mờ đi. Tuy nhiên, khi nhiệt độ cao hơn 80 °C, hiện tượng tụ khí sẽ xuất hiện càng rõ hơn.

- Đề tài nghiên cứu trọng điểm cấp quốc gia KC.03.22/11-15 của PGS. TS. Đặng Văn Nghìn: “*Nghiên cứu thiết kế và chế tạo hệ thống khuôn ép phun nhựa nhiệt dẻo kỹ thuật với kênh dẫn nóng có điều khiển*”. Trong đề tài này, nhóm nghiên cứu đã sử dụng kỹ thuật kênh dẫn nóng (hot runner) nhằm hạn chế hiện tượng giảm áp suất của dòng nhựa nóng chảy trong quá trình chảy qua hệ thống kênh dẫn. 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 nghiên cứu của đề tài này, phương pháp “Kênh dẫn nóng – Hot runner” là một trong những phương pháp điều khiển nhiệt độ khuôn với bước gia nhiệt bằng thể tích – Volume heating (gia nhiệt cả tấm chia nhựa – manifold). Do đó, để phát triển thêm công nghệ điều khiển nhiệt độ cho 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 (manifold) lên giá trị cao và giữ nhiệt độ trong suốt quá trình vận hành phun ép).

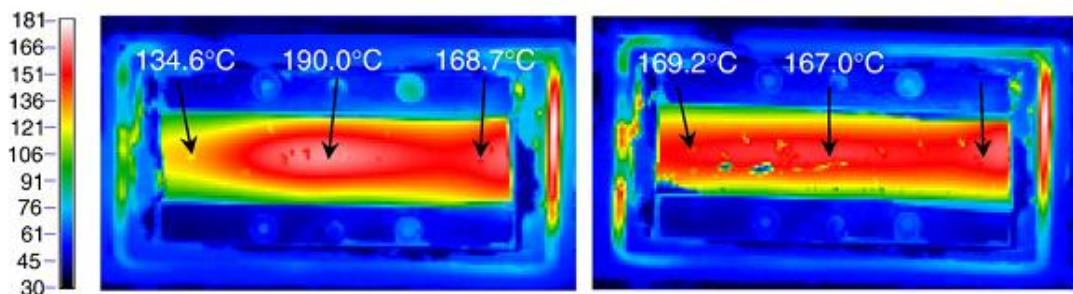
* Kết cấu khuôn cần được thiết kế đặc biệt nhằm tích hợp hệ thống kênh dẫn nóng. Do đó, với các khuôn thông thường, phương pháp này hầu như không thể áp dụng được.

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

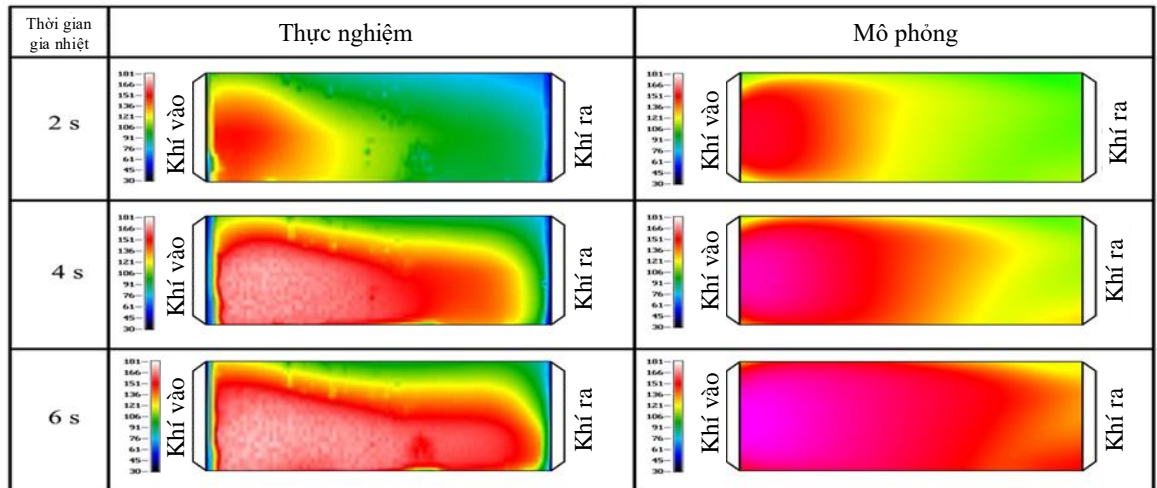
1.4 Vấn đề khoa học còn tồn tại

Qua các nghiên cứu như trên, phương pháp gia nhiệt bằng khí nóng có tốc độ gia nhiệt cao nhất. Bên cạnh đó, nguồn cung cấp khí có nhiệt độ cao tương đối dễ chế tạo, đặc biệt trong điều kiện tại Việt Nam [94, 95]. Ngoài ra, đây là một trong những phương pháp mới nhất được trình bày trong các nghiên cứu gần đây. Tuy nhiên, phương pháp này còn những hạn chế như sau:

- Trong các nghiên cứu này, kết cấu khuôn cần được thiết kế lại, nhằm tích hợp hệ thống cổng phun khí và cổng thoát khí. Với yêu cầu này, khả năng ứng dụng phương pháp này cho các khuôn hiện tại sẽ bất khả thi.
- Quá trình điều khiển dòng khí nóng được thực hiện khá tốt với các mô hình thực nghiệm như hình 1.8 và hình 1.9. Tuy nhiên, với kết cấu khuôn thực tế, kết quả gia nhiệt cho bề mặt khuôn vẫn chưa tốt (hình 1.12, và hình 1.13). Trong trường hợp gia nhiệt cho khuôn thực tế, do lòng khuôn thường không đối xứng. Vì vậy, dòng khí nóng sẽ bị lệch về phía cổng phun nhựa. Đến nay, nhược điểm này vẫn chưa được cải thiện.



Hình 1.12: Phân bố nhiệt độ bề mặt khuôn với mô hình thực nghiệm đơn giản [94]



Đơn vị: °C

Hình 1.13: Phân bố nhiệt độ bề mặt khuôn ứng với thời gian khác nhau của phương pháp gia nhiệt bằng khí nóng tích hợp bên trong khuôn [95]

Do yêu cầu của thị trường và người tiêu dùng, các sản phẩm nhựa ngày càng có các kết cấu, hình dạng phức tạp hơn. Song song với quá trình phát triển các thiết kế này, các phương pháp điều khiển nhiệt độ khuôn cũng cần được nghiên cứu nhằm nâng cao khả năng ứng dụng với các bề mặt phức tạp.

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

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

1.5 Tính cấp thiết của đề tài

Hiện nay, với đà phát triển của công nghệ khuôn, các thiết bị chính xác được chế tạo từ nhựa nhiệt dẻo ngày càng phổ biến. Trong đó, các chi tiết trong ngành điện tử và công nghiệp micro chip có nhu cầu sử dụng ngày càng cao. Trước đây, các sản phẩm dạng này được chế tạo bằng nhiều công nghệ khác nhau như: Cắt laser (laser ablation), dập nổi (hot embossing), chạm khắc (soft lithography)... với

các loại vật liệu khác nhau như silicon, thủy tinh, thạch anh, ... Tuy nhiên, với nhu cầu sử dụng ngày càng nhiều của các thiết bị có yêu cầu độ chính xác cao, các công nghệ và vật liệu trên ngày càng không phù hợp với yêu cầu thực tế vì giá thành cao, thời gian chế tạo chậm, đặc biệt là tính kinh tế của các phương pháp này hoàn toàn không phù hợp cho các qui trình sản xuất với sản lượng lớn.

Từ những nhược điểm trên, thời gian gần đây, công nghệ phun ép với vật liệu nhựa được ứng dụng trong việc chế tạo các sản phẩm nhựa kỹ thuật nói riêng và các sản phẩm yêu cầu độ chính xác cao nói chung đã bước đầu đạt được kết quả tích cực. Bên cạnh những ưu điểm hiện có, trong quá trình ứng dụng phương pháp phun ép cho việc chế tạo sản phẩm nhựa kỹ thuật thường gặp phải những trở ngại như sau:

- Các thông số phun ép: Với các sản phẩm thông thường, các thông số phun ép hiện nay được xác định dựa theo kinh nghiệm. Tuy nhiên, với các sản phẩm yêu cầu độ chính xác cao, vấn đề chọn thông số phù hợp đang là một thách thức lớn.

- Hiện tượng đông đặc nhanh của dòng nhựa tạo hình cho sản phẩm: Với các sản phẩm thông thường, hiện tượng đông đặc nhanh của dòng nhựa khi chảy vào khuôn không ảnh hưởng lớn đến chất lượng sản phẩm. Tuy nhiên, với các sản phẩm yêu cầu độ chính xác cao, đây là một thách thức lớn cho quá trình phun ép. Trong qui trình phun ép nhựa, khi nhựa lỏng được ép vào lòng khuôn, hiện tượng đông đặc sẽ xuất hiện tại lớp tiếp xúc giữa nhựa lỏng và thành khuôn. Do đó, dòng chảy nhựa sẽ bị cản trở lớn. Với các kết cấu micro, đây là nguyên nhân chính làm giảm độ chính xác, cũng như gây ra hiện tượng không điền đầy khuôn.

Từ những phân tích trên, việc nghiên cứu công nghệ và chế tạo thiết bị phun ép nhựa phục vụ cho quá trình sản xuất sản phẩm nhựa kỹ thuật yêu cầu độ chính xác cao là một hướng đi đầy tiềm năng trong lĩnh vực khuôn mẫu nói riêng và các ngành công nghiệp chính xác nói chung. Công nghệ này sẽ góp phần nâng cao chất lượng sản phẩm, mở rộng khả năng công nghệ của phương pháp phun ép nhựa, cũng như tạo tiền đề công nghệ sản xuất các sản phẩm nhựa kỹ thuật phát triển nhiều hơn nữa trên địa bàn Thành phố Hồ Chí Minh.

1.6 Ý nghĩa khoa học

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

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

1.7 Giá trị thực tiễn

Theo số liệu từ Tổng cục Hải quan Việt Nam cho thấy, từ tháng 1-2015 đến tháng 5-2015, xuất khẩu của ngành nhựa đã thu về 706,4 triệu USD, tăng 12,23% so với cùng kỳ năm 2012. Các quốc gia nhập nhiều sản phẩm nhựa của Việt Nam có thể kể đến như: Nhật, Đức, Anh, Hà Lan, Pháp, Mỹ, ... Cụ thể, Việt Nam đã xuất sang Nhật 163,6 triệu USD, tăng 17,77%, tiếp đó, Mỹ đứng thứ hai với 76,6 triệu USD. Theo báo cáo tại Hội nghị (Tổng kết ngành nhựa năm 2019, triển khai hoạt động năm 2020), tổng kim ngạch xuất khẩu của ngành nhựa Việt Nam năm 2019 ước đạt 4,69 tỉ đô la, tăng 17% về trị giá so với năm 2018. Trong đó, chất dẻo nguyên liệu ước trên 1,28 tỉ đô la, sản phẩm nhựa khoảng 3,418 tỉ đô la, với 9 thị trường xuất khẩu có kim ngạch nhập khẩu đạt trên 100 triệu đô la [107]. Cũng theo VPA, trong qui hoạch đến năm 2020, ngành nhựa đã tính đến việc chuyển dịch cơ cấu nhóm sản phẩm nhựa theo hướng giảm tỉ trọng các sản phẩm nhựa bao bì và nhựa gia dụng, tăng tỷ trọng nhóm nhựa xây dựng và nhựa kỹ thuật.

Đến nay, các sản phẩm nhựa xuất khẩu khá đa dạng, từ các sản phẩm dân dụng như túi nhựa, đến các sản phẩm nhựa công nghiệp. Đặc biệt, các sản phẩm nhựa kỹ thuật đang ngày càng được chú ý nhiều. Theo ý kiến từ các doanh nghiệp, nhóm các sản phẩm nhựa kỹ thuật được đặt hàng nhiều thuộc nhóm các chi tiết đơn lẻ dùng cho quá trình lắp ráp, chế tạo các sản phẩm mới trong ngành điện tử hoặc dùng cho các phụ tùng thay thế.

Với những số liệu và phân tích như trên, việc nâng cao chất lượng sản phẩm nhựa, cũng như việc tìm các công nghệ mới nhằm nâng cao chất lượng và sản lượng của sản phẩm nhựa đang là một trong những yêu cầu cấp thiết cho ngành nhựa tại

Việt Nam. Do đó, đề tài “*Nghiên cứu ảnh hưởng của gia nhiệt khuôn phun ép bằng khí nóng đến độ bền sản phẩm nhựa dạng thành mỏng*” được đề xuất nhằm góp phần nâng cao chất lượng sản phẩm nhựa kỹ thuật, đặc biệt với nhóm sản phẩm được sản xuất từ công nghệ phun ép.

1.8 Mục đích nghiên cứu

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

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

1.9 Đối tượng nghiên cứu

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

1.10 Nhiệm vụ nghiên cứu và giới hạn đề tài

- Nhiệm vụ nghiên cứu:
 - Luận án chỉ tập trung vào nghiên cứu phương pháp gia nhiệt bằng khí nóng với nguồn khí được cấp từ ngoài khuôn.
 - Quá trình gia nhiệt, nhiệt độ và trường nhiệt độ được khảo sát thông qua thực nghiệm và mô phỏng bằng phần mềm ANSYS.
 - Quá trình phun ép nhựa vào lòng khuôn được nghiên cứu thông qua thực nghiệm và mô phỏng bằng phần mềm Moldex3D.
- Giới hạn đề tài:
 - Nhiệt độ khí nóng thay đổi trong khoảng 200 °C đến 400 °C.
 - Nghiên cứu ứng dụng cho mô hình sản phẩm nhựa thành mỏng có chiều dày từ 0,4 mm đến 0,8 mm.
 - Vật liệu nhựa được nghiên cứu là PA6 và PA6+30%GF.

- Trong giới hạn thời gian và kinh phí của luận án nên tác giả chỉ tập trung nghiên cứu độ bền kéo của sản phẩm nhựa.

- Các thiết bị thí nghiệm được cung cấp bởi phòng thí nghiệm khuôn mẫu thuộc Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp. HCM.

1.11 Phương pháp nghiên cứu

Trong quá trình thực hiện luận án, tác giả đã sử dụng các phương pháp chính là:

- Thu thập và phân tích dữ liệu.

- Mô phỏng quá trình gia nhiệt và quá trình nhựa điền đầy lòng khuôn.

- Thực nghiệm quá trình gia nhiệt và tạo các mẫu sản phẩm ứng với các qui trình phun ép để khảo sát ảnh hưởng của bước gia nhiệt lòng khuôn đến độ bền kéo sản phẩm nhựa thành mỏng.

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 Tp.HCM như: máy phun ép nhựa, thiết bị đo nhiệt (camera hồng ngoại, cảm biến nhiệt,...) và các loại khuôn phun ép thông dụng tại Việt Nam. 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 cũng như của luận án này là chưa thể sử dụng các thiết bị kiểm tra hiện đại trên thế giới như các phương pháp chụp STEM, siêu âm thể tích khuôn,...

1.12 Bố cục luận án

Luận án gồm 6 chương:

Chương 1: Tổng quan

Chương 2: Cơ sở lý thuyết

Chương 3: Mô tả mô phỏng và thực nghiệm

Chương 4: Ảnh hưởng của thông số gia nhiệt đến phân bố nhiệt độ bề mặt lòng khuôn

Chương 5: Ảnh hưởng của phương pháp gia nhiệt bằng khí nóng đến độ bền sản phẩm nhựa dạng thành mỏng

Chương 6: Kết luận

Chương 2

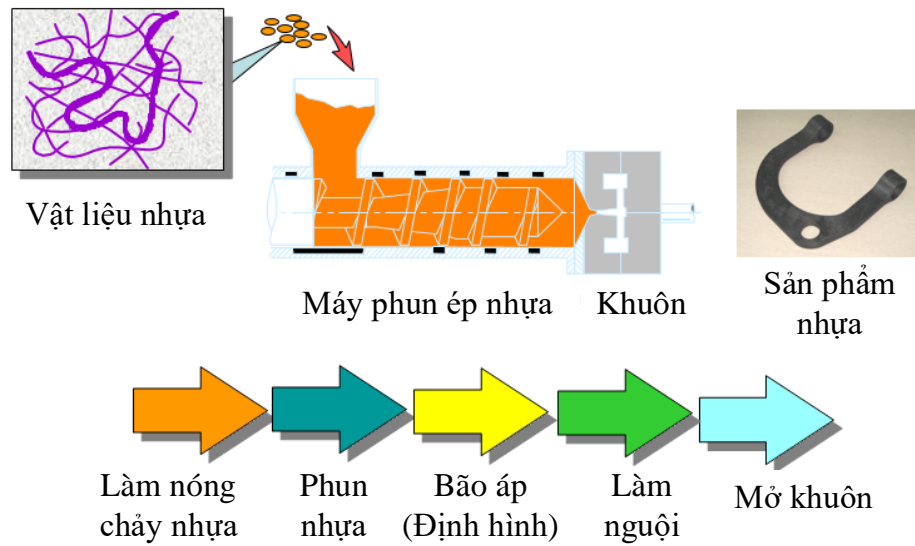
CƠ SỞ LÝ THUYẾT

Như trình bày ở chương 1, luận án này sẽ tập trung làm rõ các vấn đề liên quan đến quá trình gia nhiệt cho lòng khuôn phun ép nhựa bằng khí nóng phun từ bên ngoài. Quá trình thiết kế các thực nghiệm, cũng như phân tích các kết quả của đề tài sẽ được tiến hành trên cơ sở các lý thuyết sau:

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

2.1 Qui trình phun ép nhựa

Các bước cơ bản của quy trình phun ép được trình bày như hình 2.1. Vật liệu thô dạng hạt được cho vào phễu và rơi vào xi lanh. Trong xi lanh, với chuyển động xoay và tịnh tiến của vít-me, kết hợp với các điện trở gia nhiệt bên ngoài xi lanh, vật liệu nhựa từ dạng hạt sẽ được gia nhiệt đến trạng thái dẻo và nóng chảy thành dạng lỏng ở nhiệt độ từ 150 °C đến 320 °C. Thông qua chuyển động tịnh tiến của vít-me, nhựa nóng chảy trong xi lanh sẽ được ép vào lòng khuôn thông qua đầu phun. Tại vị trí cổng phun, nhựa hoàn toàn ở thể lỏng. Sau khi toàn bộ lòng khuôn được điền đầy, quá trình định hình (packing step) sẽ tiến hành. Trong quá trình này, nhựa sẽ tiếp tục được ép vào lòng khuôn nhằm bù vào phần thể tích bị thiếu hụt do hiện tượng co ngót vật liệu. Quá trình định hình sẽ kết thúc khi vật liệu nhựa tại vị trí cổng phun đông đặc hoàn toàn. Sau đó, nhiệt độ của sản phẩm sẽ tiếp tục giảm qua quá trình giải nhiệt (cooling step). Khi toàn bộ sản phẩm đạt đến nhiệt độ mở khuôn (rejection temperature), khuôn sẽ mở ra và sản phẩm sẽ được lấy ra ngoài [1].



Hình 2.1: Quy trình phun ép nhựa [1]

Trong công nghệ gia công sản phẩm nhựa bằng phương pháp phun ép, đối với hầu hết các sản phẩm có bề dày thông thường, nhiệt độ bề mặt lòng khuôn là một trong những thông số quan trọng, có ảnh hưởng trực tiếp đến chất lượng sản phẩm nhựa. Sau khi nhựa điền đầy khuôn hoàn toàn thì tiến hành làm nguội khuôn, làm nguội sản phẩm (giai đoạn cooling) để lấy sản phẩm ra khỏi khuôn. Riêng đối với các sản phẩm thành mỏng hoặc sản phẩm có kích thước micro thì phải gia nhiệt cho khuôn (hoặc bề mặt khuôn) trước và trong khi nhựa điền đầy khuôn, để giúp cho nhựa điền đầy khuôn hoàn toàn. Theo các nghiên cứu trên thế giới về lĩnh vực điều khiển nhiệt độ cho khuôn phun ép, nếu phun ép với nhiệt độ bề mặt khuôn cao, chất lượng sản phẩm sẽ được nâng cao, tuy nhiên, thời gian làm nguội, cũng như thời gian gia công sản phẩm sẽ tăng đáng kể. Ngược lại, nếu giảm nhiệt độ bề mặt khuôn trong quá trình phun ép, thời gian làm nguội có thể được rút ngắn, nhưng chất lượng bề mặt sẽ giảm hoặc các khuyết tật của sản phẩm phun ép sẽ xuất hiện nhiều hơn. Do đó, việc rút ngắn thời gian chu kỳ phun ép nhưng vẫn đảm bảo chất lượng sản phẩm là vấn đề được đặt ra cho các nghiên cứu về khuôn phun ép nói chung và quá trình điều khiển nhiệt độ cho khuôn nói riêng.

Do yêu cầu của thị trường và người tiêu dùng, qui trình phun ép nhựa cần được nghiên cứu nhằm rút ngắn thời gian gia công nhưng vẫn đáp ứng chất lượng cho các sản phẩm có kết cấu, hình dạng phức tạp. Song song với quá trình phát triển các thiết kế này, các khuyết tật của sản phẩm nhựa cũng sẽ xuất hiện ngày càng

nhieu. Hiện nay, các khuyết tật phổ biến có thể kể đến như: đường hàn (weld line), bọt khí (air trap), cong vênh (warpage) do co rút không đồng đều... Nhìn chung, các lỗi này đều liên quan đến quá trình gia - giải nhiệt cho khuôn nói chung và điều khiển nhiệt độ cho khuôn nói riêng. Trong các nghiên cứu về chất lượng sản phẩm nhựa, nguyên nhân chính gây cản trở quá trình điền đầy lòng khuôn và giảm chất lượng sản phẩm là “Hiện tượng đông đặc nhanh của vật liệu nhựa khi tiếp xúc với thành khuôn” [102]. Vì đặc điểm này, các khuôn phun ép cho sản phẩm nhựa thường có số lòng khuôn ít. Do đó, hầu như sản lượng của khuôn phun ép sẽ giảm rất nhiều khi sản xuất các sản phẩm có chiều dày lớn hoặc mỏng, kết cấu phức tạp.

Để khắc phục các nhược điểm này, qui trình phun ép được vận hành với áp suất phun cao (high injection pressure) và nhiệt độ khuôn được giữ ở mức cao. Tuy nhiên, khi áp suất phun và nhiệt độ khuôn được chọn ở giá trị cao, các vấn đề khác sẽ xuất hiện như: hiện tượng bavaria 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...

Nhằm tăng khả năng điền đầy khuôn của quá trình phun ép, cũng như nâng cao tuổi thọ của máy và chất lượng sản phẩm, phương pháp gia nhiệt độ khuôn được sử dụng nhằm giảm sự mất nhiệt của nhựa do truyền ra khuôn.

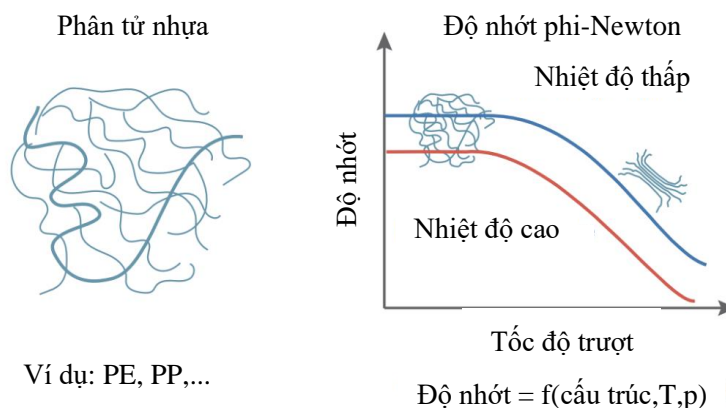
2.2 Mô phỏng dòng chảy nhựa trong khuôn

Các mô hình vật liệu sẽ được sử dụng nhằm diễn tả cho các đặc điểm, tính chất của các vật liệu thực ở các điều kiện khác nhau. Với các mô hình vật liệu này, phần mềm Moldex3D tính toán các quá trình động học một cách chính xác, phù hợp với thực tế. Có 2 loại chất dẻo là: nhựa nhiệt dẻo (thermoplastic) và nhựa nhiệt rắn (thermoset). Đối với nhựa nhiệt dẻo, cần mô tả các đặc điểm về tính dẻo của loại vật liệu đó, đồ thị PVT (mối quan hệ giữa áp suất, thể tích và nhiệt độ), tính dẫn nhiệt, nhiệt dung và các đặc tính cơ của nhựa nhiệt dẻo đó [109].

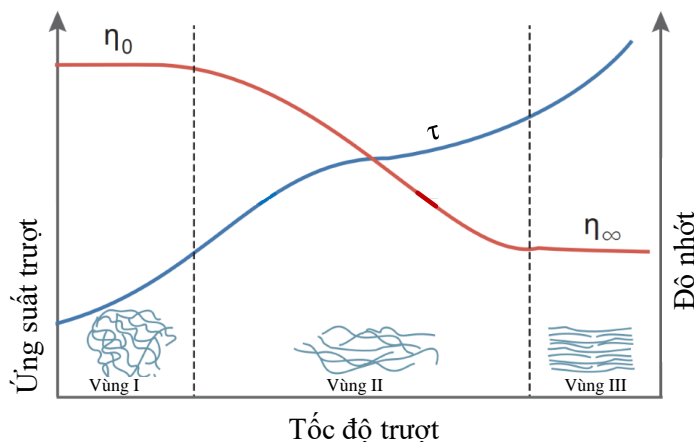
2.2.1 Độ nhớt của nhựa nhiệt dẻo

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

Newton [109]. Không giống như những chất dẻo thông thường khác, độ nhớt của các nhựa nhiệt dẻo phụ thuộc vào cấu trúc hoá học, nhiệt độ (T) và áp suất (p) của chúng như hình 2.2. Ứng với một cấu trúc và công thức hoá học cho trước, độ nhớt của các nhựa nhiệt dẻo phụ thuộc chủ yếu vào nhiệt độ, tốc độ trượt (shear rate) và áp suất. Để hiểu bản chất độ nhớt của nhựa nhiệt dẻo, cần định nghĩa rõ ứng suất trượt và tốc độ trượt như hình 2.3.



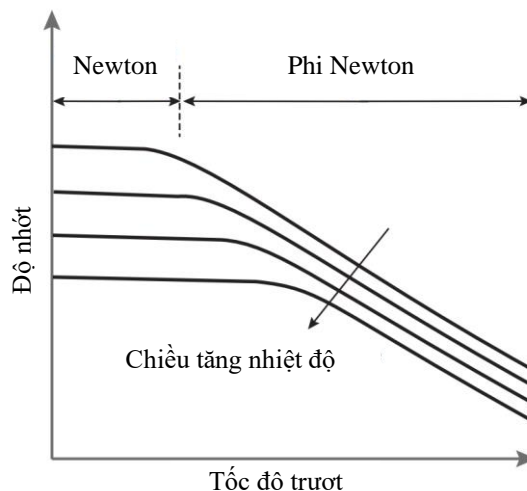
Hình 2.2: Cấu trúc phân tử (bên trái) và độ nhớt của nhựa (bên phải) [109]



Hình 2.3: Đường đặc tính dẻo của nhựa nhiệt dẻo [109]

Khi tốc độ trượt nhỏ, độ nhớt của vật liệu gần như là hằng số (ứng với vùng I). Các chuỗi polymer gần như thẳng hàng khi tốc độ trượt tiếp tục gia tăng, do đó, độ nhớt của vật liệu sẽ giảm (Ứng với vùng 2). Khi tất cả các chuỗi polymer sắp xếp thẳng hàng, độ nhớt của vật liệu đạt giá trị cực tiểu (Ứng với vùng III). Ở vùng I và II, có thể quan sát được ở hầu hết các vật liệu nhựa. Tuy nhiên, vùng III thì hầu như không thể quan sát được do sự tan rã của các phân tử ở điểm cực đại của tốc độ trượt.

Độ nhớt của các nhựa nhiệt dẻo phụ thuộc rất nhiều vào nhiệt độ. Một hiện tượng điển hình cho tính chất này là: Độ nhớt của nhựa nhiệt dẻo sẽ giảm mạnh khi nhiệt độ của lưu chất đó tăng như hình 2.4.



Hình 2.4: Mối quan hệ độ nhớt và nhiệt độ [109]

Để mô tả ảnh hưởng của nhiệt độ đến độ nhớt đối với mô hình dòng chảy Phi Newton, sử dụng hệ số a_T :

$$a_T = \frac{\eta_0(T)}{\eta_0(T_0)} \quad (2.1)$$

Trong đó, η_0 là độ nhớt tương ứng với nhiệt độ T và T_0 . Độ nhớt với nhiệt độ và tốc độ trượt khác nhau được biểu thị bằng độ nhớt ở nhiệt độ tham chiếu [108]:

$$\eta(T, \dot{\gamma}) = a_T \eta(T_0, \dot{\gamma} \cdot a_T) \quad (2.2)$$

Thông thường, có hai mô hình để mô tả mối quan hệ giữa a_T và nhiệt độ:

- Một là, phương trình Arrhenius-type

$$a_T = \exp\left(\frac{\Delta H}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)\right) \quad (2.3)$$

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.

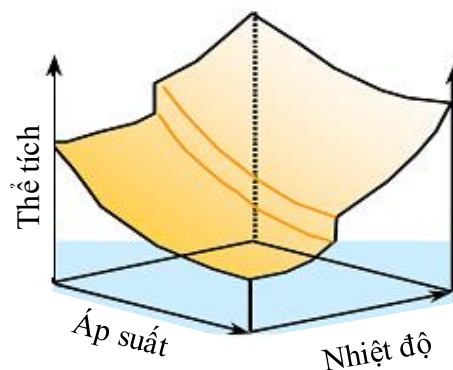
- Hai là, phương trình Williams-Landel-Ferry

$$\log a_T = \frac{-C_1(T - T_0)}{C_2 + (T - T_0)} \quad (2.4)$$

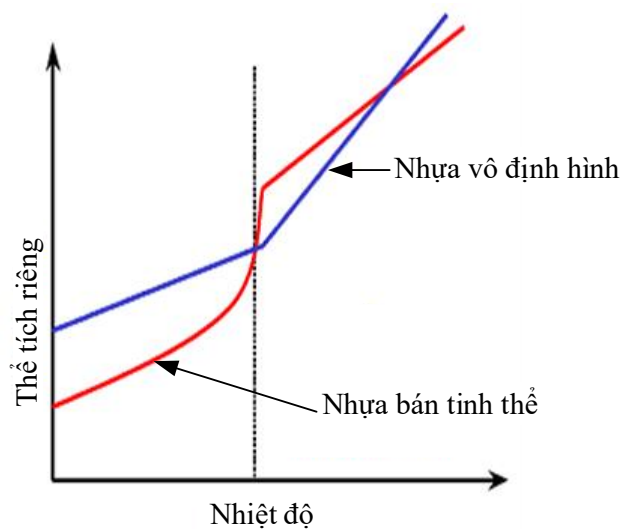
Trong đó, C_1 và C_2 là hằng số ($C_1 = 17,44 \text{ K}$; $C_2 = 51,6 \text{ K}$).

2.2.2 Mô hình PVT (Pressure-Volume-Temperature)

Hầu hết tất cả các loại nhựa nhiệt dẻo đều thay đổi đáng kể về thể tích khi thay nhiệt đổi nhiệt độ hoặc áp suất. Do đó, cần nắm rõ mối quan hệ về áp suất (Pressure) – thể tích (Volume) – nhiệt độ (Temperature) để tính toán hệ số nén của vật liệu trong quá trình định hình, độ co rút và cong vênh của sản phẩm sau khi ra khỏi khuôn.



Hình 2.5: Sự phụ thuộc của thể tích riêng vào áp suất và nhiệt độ [109]



Hình 2.6: Sự phụ thuộc của thể tích riêng và nhiệt độ ứng với nhựa vô định hình và bán kết tinh [109]

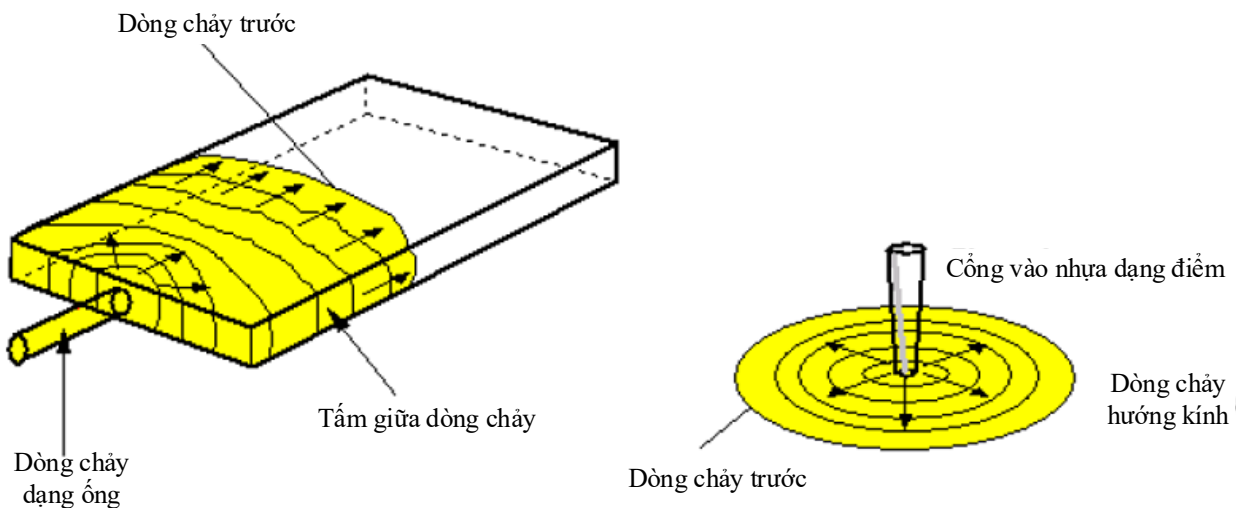
Ứng với mỗi loại nhựa nhiệt dẻo khác nhau, sẽ có các mối quan hệ giữa áp suất – thể tích – nhiệt độ (PVT) khác nhau. Đối với nhựa bán tinh thể, hệ số góc trong đường cong quan hệ giữa thể tích riêng và nhiệt độ sẽ thay đổi đột ngột, nhanh chóng. Trong khi đó, đối với nhựa vô định hình, hệ số góc của đường biểu

điển này chỉ thay đổi 1 lần. Đồ thị như hình 2.6 cho thấy sự khác nhau giữa 2 loại nhựa bán tinh thể và nhựa vô định hình.

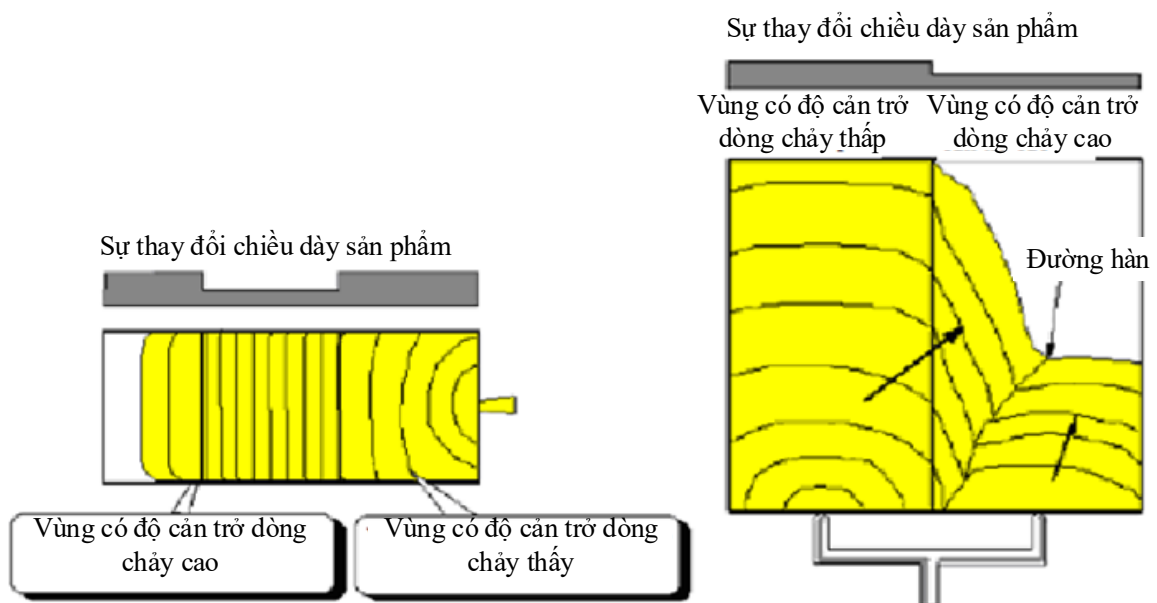
2.3 Dòng chảy nhựa trong chi tiết dạng tấm/hộp

2.3.1 Đặc điểm của quá trình

Trong các quá trình phun ép, quá trình điền đầy khuôn là bước quan trọng đầu tiên. 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 của nhựa lỏng. Bài toán về dòng chảy phi Newton và sự trao đổi nhiệt bao gồm các quá trình phức tạp, được biểu diễn trong hình 2.7. 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 2.7: Quá trình điền đầy [105]

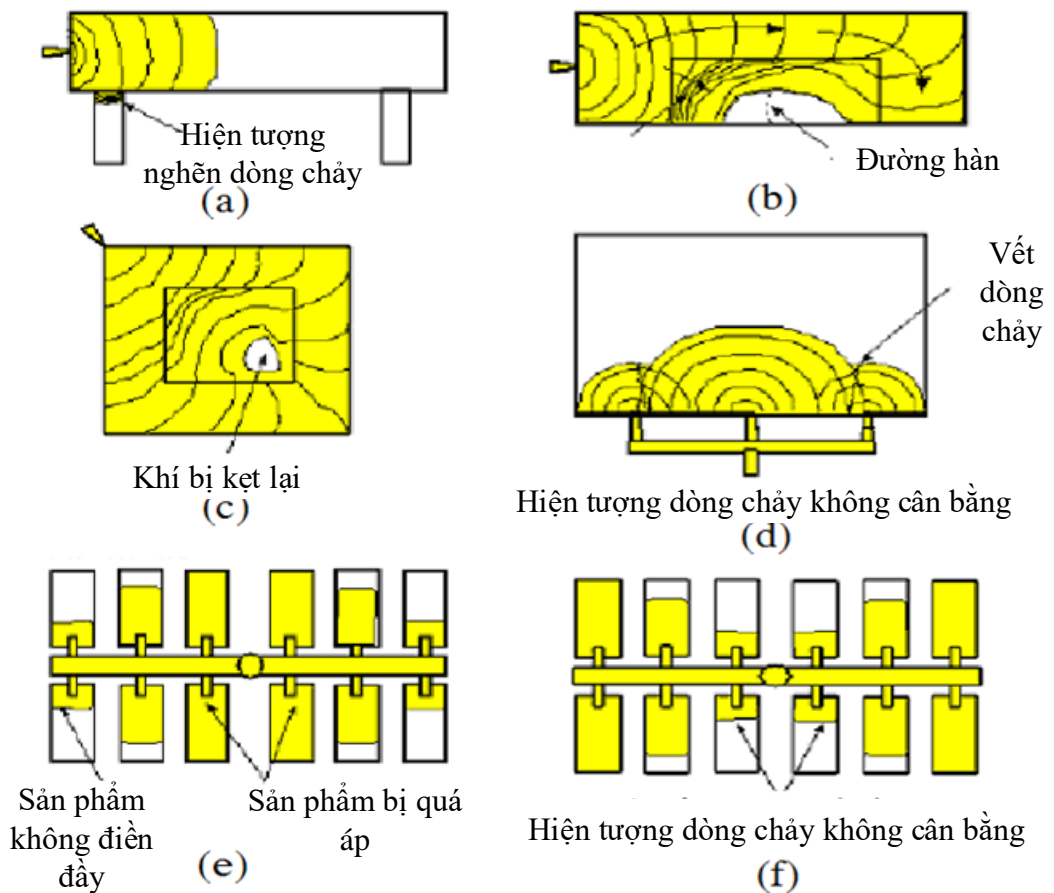


Hình 2.8: Phản ứng của dòng chảy trong quá trình điền đầy sản phẩm [105]

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

❖ **Các vấn đề cần nghiên cứu trong quá trình điền đầy sản phẩm:**

- Có xảy ra hiện tượng không điền đầy không?
- Vị trí của đường hàn và các điểm tụ khí như thế nào và ở vị trí nào?
- Sự cân bằng dòng chảy với trường hợp có nhiều miệng phun trong một lòng khuôn?
- Sự cân bằng dòng chảy trong trường hợp nhiều lòng khuôn trong một hệ thống kênh dẫn nhựa?
- Sự phân bố và cân bằng nhiệt độ trong suốt quá trình này như thế nào?
- Áp suất tại kênh dẫn như thế nào và lực đóng khuôn tương ứng với áp suất đó như thế nào?



Hình 2.9: Vấn đề nghiên cứu quá trình điền đầy và định hình sản phẩm [105]

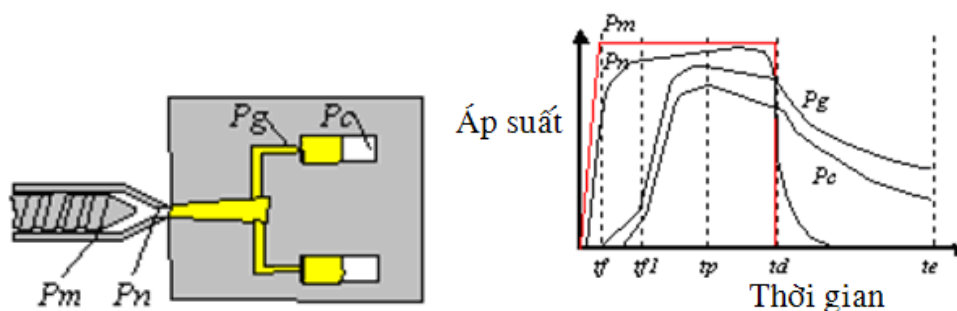
Ngoài ra, kết quả về trường phân bố áp suất rất hữu ích trong việc nghiên cứu quá trình điền đầy lòng khuôn. Sự thay đổi áp suất trong suốt quá trình phun được trình bày như hình 2.10. Các thông số áp suất chính của quá trình:

- P_m : Áp suất tại đầu trực vít.
- P_n : Áp suất tại đầu vòi phun.
- P_g : Áp suất tại các điểm nối của kênh dẫn nhựa.
- P_c : Áp suất tại điểm cuối/điểm xa nhất của lòng khuôn.

Trong quá trình điền đầy lòng khuôn, nhựa nóng chảy được ép vào lòng khuôn bằng áp suất ép thông qua đầu phun (ở phía đầu trực vít), qua cuống phun, hệ thống kênh dẫn, cổng phun và vào lòng khuôn. Tổng quát, quá trình điền đầy có thể chia làm 2 giai đoạn:

1/ t_f đến t_{f1}: Nhựa sẽ bắt đầu điền đầy lòng khuôn, duy trì trạng thái dòng chảy và áp suất trong lòng khuôn sẽ gia tăng từ từ.

2/ tf1 đến tp: Trong quá trình đông đặc của nhựa lỏng, áp suất trong lòng khuôn sẽ gia tăng nhanh chóng và thể tích dòng chảy sẽ bắt đầu giảm.



Hình 2.10: Sự thay đổi áp suất trong quá trình điền đầy [105]

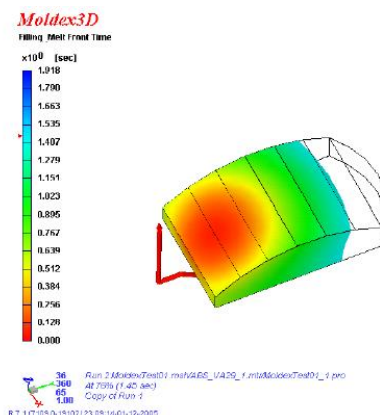
2.3.2 Phương pháp số

Phương pháp số ứng dụng để mô phỏng chi tiết dạng tấm/hộp là sự kết hợp giữa phương pháp phần tử hữu hạn và phương pháp sai phân hữu hạn. Phần mềm sẽ xử lý theo các hướng dọc bề mặt chi tiết bằng phương pháp phần tử hữu hạn và tính toán theo hướng chiều dày sản phẩm bằng phương pháp sai phân hữu hạn.

2.3.3 Định nghĩa các kết quả mô phỏng

Thời gian điền đầy/Sự thay đổi của đường giới hạn về khả năng điền đầy theo thời gian:

Dường giới hạn về khả năng điền đầy là vị trí cho thấy sự dịch chuyển, thay đổi của đường giới hạn này trong quá trình nhựa điền đầy lòng khuôn. Từ kết quả mô phỏng này, người sử dụng có thể kiểm tra khả năng điền đầy để biết được quá trình này xảy ra như thế nào ứng với một thiết kế nhất định. Đặc biệt, kết quả mô phỏng này rất hữu dụng khi người sử dụng muốn biết sản phẩm có được điền đầy hay không.



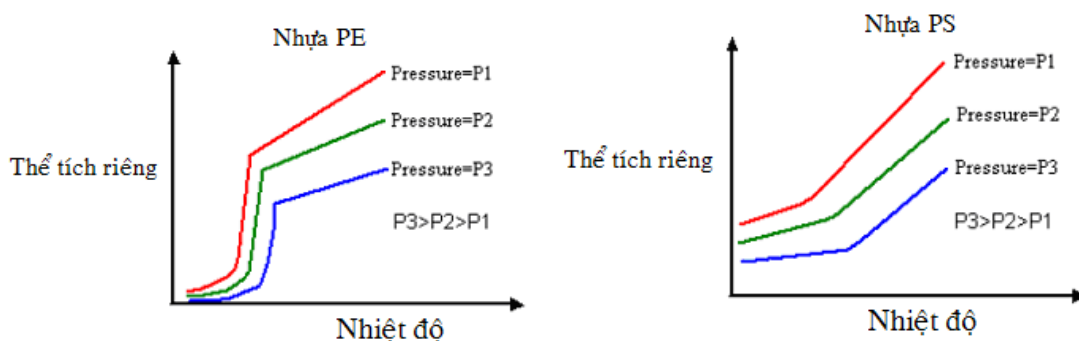
Hình 2.11: Kết quả mô phỏng quá trình điền đầy [105]

Nhiệt độ của lớp giữa:

Kết quả mô phỏng sẽ cho thấy miền nhiệt độ cao của nhựa lỏng theo chiều dày của sản phẩm trong suốt quá trình điền đầy khuôn. Trong quá trình này, nhựa lỏng sẽ được ép vào lòng khuôn. Tại một thời điểm nhất định, năng lượng của nhựa bị ảnh hưởng bởi: năng lượng do ma sát trượt giữa nhựa và thành khuôn gây ra, sự tỏa nhiệt của nhựa vào thành khuôn và hệ thống làm nguội, và sự đối lưu nhiệt trong lòng nhựa lỏng. Nhiệt độ của lớp giữa có thể được sử dụng để dự báo khả năng làm nguội của nhựa tại những vị trí khác nhau có thuận tiện hay không. Tuy nhiên, khi xuất hiện một vùng rộng lớn có phân bố nhiệt độ lớp giữa thấp, nó sẽ rất dễ dàng cho quá trình làm nguội, nhưng nó cũng dễ dẫn đến hiện tượng sản phẩm bị co ngấn lại.

Áp suất:

Những khái niệm chính đã được đề cập đến trong những phần trước và được mô tả trong hình 2.12. Kết quả phân tích về phân bố áp suất là một công cụ hữu ích để nghiên cứu về sự giảm áp trong quá trình điền đầy từ kênh dẫn nhựa đến cổng phun và lòng khuôn. Dựa vào kết quả này, người sử dụng có thể xem xét kỹ hơn về thiết kế các phần của sản phẩm và kết cấu của khuôn để có được kết quả tốt nhất. Ngoài ra, trong các loại khuôn có nhiều miệng phun cho một sản phẩm, hoặc hệ thống có nhiều sản phẩm, kết quả phân bố áp suất là một công cụ rất hiệu quả để nghiên cứu về sự cân bằng dòng chảy trong các kênh dẫn hoặc trong sản phẩm có nhiều miệng phun.



Hình 2.12: Đặc tính PVT của nhựa kết tinh (bên trái) và nhựa vô định hình (bên phải) [109]

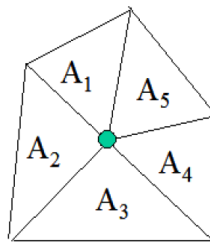
Ứng suất trượt:

Trong quá trình chảy, ứng suất trượt sẽ xuất hiện do các đặc điểm của tính dẻo của vật liệu. Tổng quát, dựa vào phân bố ứng suất trượt, có thể dự đoán trước chất lượng, độ cong vênh, sự biến dạng của sản phẩm sau khi ép. Ngoài ra, khi ứng suất trượt quá lớn nó sẽ gây ảnh hưởng không tốt đến các mắt xích giữa các phân tử nhựa, làm các mắt xích này bị giãn ra hoặc thậm chí bị đứt. Người ta đã chứng minh được rằng khi các mắt xích phân tử nhựa bị kéo căng quá mức sẽ dẫn đến hiện tượng cong vênh sản phẩm [105].

Cụ thể, ứng suất trượt được xác định theo công thức sau:

$$\sigma = \frac{\sum A_i \tau_{w,i}}{\sum A_i} \quad (2.5)$$

Trong đó, $\tau_{w,i}$ là ứng suất trượt của phần tử thứ i ; A_i là diện tích của phần tử thứ i .



Hình 2.13: Diện tích của phần tử [105]

Tốc độ trượt:

Tốc độ trượt là tốc độ của sự biến dạng theo lớp của vật liệu. Tốc độ trượt càng cao sẽ gây ra sự biến dạng càng nhanh và các mắt xích giữa các phân tử sẽ bị biến dạng nghiêm trọng. Do đó, phân bố tốc độ trượt có mối quan hệ đến giá trị gradient tốc độ dòng chảy và sự định hướng giữa các phân tử.

Cụ thể, tốc độ trượt được xác định theo công thức sau:

$$\dot{\gamma} = \frac{\sum A_i \dot{\gamma}_{\max,i}}{\sum A_i} \quad (2.6)$$

Trong đó, $\dot{\gamma}_{\max,i}$ là tốc độ trượt lớn nhất của phần tử thứ i theo hướng z ; A_i là diện tích của phần tử thứ i .

Thông thường, tốc độ trượt cao xuất hiện tại vị trí miệng phun và các vị trí có chiều dày thành mỏng. Nếu ứng suất trượt quá cao (ví dụ $> 10,000/s$), nó có thể

làm biến dạng các mắt xích phân tử và thậm chí làm đứt các mắt xích này, và kết quả là sản phẩm sẽ bị giảm độ bền.

Nhiệt độ nhựa khi phun đến một điểm bất kỳ trong lòng khuôn:

Đây là giá trị nhiệt độ của nhựa khi chảy đến một điểm bất kỳ trong lòng khuôn. Giá trị nhiệt độ này cho thấy nhiệt lượng được truyền như thế nào trong quá trình ép nhựa.

Hệ số ổn định nhiệt giữa các lớp:

Kết quả phân tích này cho thấy tỉ lệ phần trăm lớp đã được làm nguội so với chiều dày sản phẩm tại một thời điểm nhất định trong suốt quá trình ép. Giá trị này sẽ đạt đến 100% khi quá trình làm nguội kết thúc.

Sự tăng nhiệt do gia nhiệt nhót:

Kết quả phân tích cho thấy sự khác biệt giữa nhiệt độ trung bình của nhựa tại thời điểm cuối của quá trình điền đầy và nhiệt độ của nhựa tại cổng phun. Nhiệt độ của nhựa nóng chảy sẽ gia tăng do độ nhót của vật liệu (nhiệt do ma sát giữa các lớp trượt với nhau).

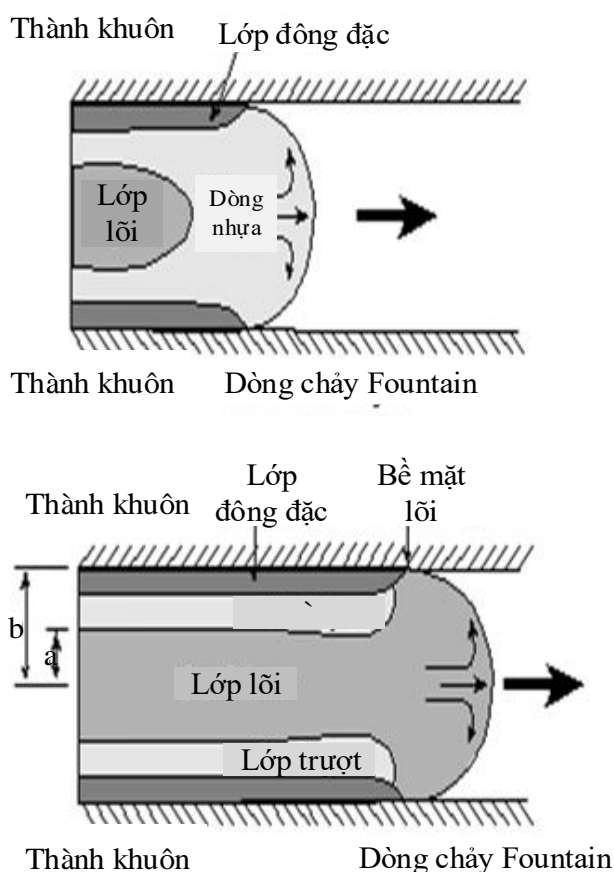
2.4 Ảnh hưởng lớp bề mặt “frozen-layer” đến dòng chảy nhựa

Trong quá trình nhựa điền đầy lòng khuôn, do ảnh hưởng của quá trình truyền nhiệt giữa nhựa nóng và lòng khuôn, lớp bề mặt của dòng chảy nhựa sẽ bị mất nhiệt, giảm nhiệt độ [102]. Do đó, tại bề mặt tiếp xúc giữa nhựa và lòng khuôn sẽ hình thành lớp nguội (Frozen layer). Chính hiện tượng đông đặc nhanh này, dòng chảy nhựa sẽ có những đặc điểm không giống như dòng chảy thông thường. Trong lĩnh vực phun ép nhựa, dòng chảy nhựa trong lòng khuôn tuân thủ theo các tính chất của dòng chảy Fountain Flow với các đặc điểm như: Phần nhựa tại tâm dòng chảy sẽ chảy nhanh hơn phần nhựa gần với lòng khuôn. Trong đó, tại vị trí tiếp xúc với lòng khuôn, nhựa được xem như không chảy. Nhựa tại đầu dòng chảy được ép về phía trước và bị cuốn về phía lòng khuôn (hình 2.16).

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.

Trong quá trình phát triển của ngành công nghệ khuôn mẫu, độ bền sản phẩm nhựa là một trong những vấn đề quan trọng, luôn được quan tâm trong sản xuất.

Tuy nhiên, các yếu tố ảnh hưởng đến chất lượng sản phẩm, đặc biệt với độ bền sản phẩm, vẫn chưa được nghiên cứu đầy đủ. Các nghiên cứu trước đây cho thấy độ bền sản phẩm nhựa sẽ được cải thiện nếu làm tốt các bước như: thiết kế sản phẩm, thiết kế khuôn, lựa chọn vật liệu, phun ép với các thông số phù hợp, ... [103]. Tuy nhiên, cho đến nay, việc tối ưu hóa các vấn đề này vẫn đang là một thách thức lớn trong lĩnh vực phun ép nhựa.



Hình 2.14: Dòng chảy của nhựa trong khuôn [102]

Qua các nghiên cứu trước đây, độ bền của sản phẩm nhựa được cải thiện rõ rệt với các trường hợp có chiều dày lớp bề mặt mỏng. Hiện tượng này được giải thích dựa trên ứng suất dư và độ giảm áp trong suốt quá trình điền đầy lòng khuôn. Trong quá trình này, nếu lớp bề mặt mỏng, tiết diện của dòng chảy nhựa sẽ lớn, do đó, nhựa sẽ dễ dàng chảy về phía trước, kết quả là ứng suất dư của sản phẩm sau khi được lấy ra khỏi lòng khuôn sẽ giảm rất nhiều [103]. Trong những năm gần đây, nhiều nghiên cứu đã tập trung nghiên cứu độ bền của sản phẩm nhựa thông qua yếu tố lớp bề mặt (Frozen layer). Kết quả cho thấy đặc điểm dòng chảy [103] và cấu trúc bên trong

của vật liệu là các yếu tố phức tạp, ảnh hưởng lớn đến độ bền sản phẩm. Ngoài ra, với cùng vật liệu nhựa, sự hình thành lớp bề mặt sẽ quyết định bởi đặc tính nhiệt tại bề mặt khuôn, trong đó, hệ số trao đổi nhiệt giữa nhựa và lòng khuôn là một trong những thông số quan trọng, đặc biệt với sản phẩm nhựa thành mỏng. Muốn giảm thất thoát nhiệt của dòng chảy nhựa (nhằm giảm chiều dày của lớp bề mặt), cách duy nhất là giảm chênh lệch nhiệt độ giữa nhựa và lòng khuôn.

2.5 Phương trình dòng chảy nhựa và dòng khí

2.5.1 Các phương trình chính

❖ **Đối với dòng nhựa [109]:**

Phương trình liên tục:

$$\frac{\partial}{\partial t} \rho_1 + \nabla \cdot (\rho_1 \mathbf{u}_1) = 0 \quad (2.7)$$

Phương trình bảo toàn động lượng:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho_1 \mathbf{u}_1) + \nabla \cdot (\rho_1 \mathbf{u}_1 \mathbf{u}_1) = -\nabla p_1 + \rho_1 \mathbf{g} + \nabla \cdot \tau_1 \quad (2.8)$$

Phương trình bảo toàn năng lượng:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho_1 C_{p,1} T_1) + \nabla \cdot (\rho_1 C_{p,1} \mathbf{u}_1 T_1 - \lambda_1 \nabla T_1) = \eta_1 \dot{\gamma}_1^2 + \Delta H_1 \quad (2.9)$$

Trong đó, t là thời gian, \mathbf{u}_1 là véc tơ vận tốc dòng nhựa, $\rho_1 \mathbf{g}$ là lực trọng trường, ρ_1 là khối lượng riêng của nhựa, τ_1 là ứng suất trượt của nhựa, p_1 là áp suất của nhựa, $C_{p,1}$ là nhiệt dung riêng của nhựa, η_1 là độ nhớt của nhựa, $\dot{\gamma}_1$ là tốc độ trượt của nhựa, λ_1 là hệ số truyền nhiệt của nhựa, T_1 là nhiệt độ của nhựa và H_1 là nguồn nhiệt ngoài.

❖ **Đối với tấm insert khuôn:**

Phương trình bảo toàn năng lượng:

$$\rho_2 C_{p,2} \frac{\partial T_2}{\partial t} + \nabla \cdot (-\lambda_2 \nabla T_2) = 0 \quad (2.10)$$

Trong đó, t là thời gian, ρ_2 là khối lượng riêng của vật liệu làm khuôn, $C_{p,2}$ là nhiệt dung riêng của vật liệu làm khuôn, λ_2 là hệ số truyền nhiệt của vật liệu làm khuôn, T_2 là nhiệt độ của khuôn.

❖ **Đối với dòng khí:**

Phương trình liên tục:

$$\frac{\partial \rho_3}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho_3 \mathbf{u}_3) = 0 \quad (2.11)$$

Phương trình bảo toàn động lượng:

$$\frac{\partial (\rho_3 \mathbf{u}_3)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho_3 \mathbf{u}_3 \mathbf{u}_3) = -\nabla p_3 + \nabla \cdot \tau_3 \quad (2.12)$$

Mối quan hệ giữa τ_3 ứng suất trượt và δ độ biến dạng:

$$\tau_3 = \eta_3 \left(\nabla \mathbf{u}_3 + (\nabla \mathbf{u}_3)^T - \frac{2}{3} \delta \nabla \cdot \mathbf{u}_3 \right) \quad (2.13)$$

Phương trình bảo toàn năng lượng:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho_3 C_{p,3} T_3) + \nabla \cdot (\rho_3 C_{p,3} \mathbf{u}_3 T_3 - \lambda_3 \nabla T_3) = \eta_3 \dot{\gamma}_3^2 + \Delta H_3 \quad (2.14)$$

Trong đó, t là thời gian, \mathbf{u}_3 là véc tơ vận tốc dòng khí, ρ_3 là khối lượng riêng của khí, τ_3 là ứng suất trượt của khí, p_3 là áp suất của khí, $C_{p,3}$ là nhiệt dung riêng của khí, η_3 là độ nhớt của khí, $\dot{\gamma}_3$ là tốc độ trượt của khí, λ_3 là hệ số truyền nhiệt của khí, T_3 là nhiệt độ của khí và H_3 là nguồn nhiệt ngoài.

2.5.2 Điều kiện biên

❖ **Tại bề mặt chuyển tiếp nhựa – tấm insert khuôn:**

$$\mathbf{n} \cdot (\lambda_2 \nabla T) = \alpha_p (T_w - T_{f,1}) \quad (2.15)$$

Trong đó, vế trái tượng trưng cho thông lượng nhiệt từ bên trong khuôn truyền đến bề mặt dòng nhựa thông qua quá trình dẫn nhiệt, vế phải tượng trưng cho thông lượng nhiệt từ dòng nhựa nóng truyền đến bề mặt lòng khuôn thông qua quá trình đối lưu; \mathbf{n} là véc tơ pháp tuyến bề mặt lòng khuôn, α_p là hệ số tỏa nhiệt của nhựa, T_w là nhiệt độ bề mặt lòng khuôn, $T_{f,1}$ là nhiệt độ nhựa.

Điều kiện không trượt:

$$\mathbf{u} = \mathbf{u}_w \quad (2.16)$$

Vận tốc của các phân tử nhựa tại bề mặt tấm insert lòng khuôn bằng với vận tốc của tấm insert khuôn, trong trường hợp này, do tấm insert khuôn đứng yên trong quá trình nhựa điền đầy lòng khuôn nên:

$$\mathbf{u} = 0 \quad (2.17)$$

❖ **Tại bề mặt dòng khí - tấm insert khuôn:**

$$\mathbf{n} \cdot (\lambda_2 \nabla T) = \alpha_G (T_w - T_{f,3}) \quad (2.18)$$

Trong đó, vế trái tượng trưng cho thông lượng nhiệt từ bên trong khuôn truyền đến bề mặt lòng khuôn thông qua quá trình dẫn nhiệt, vế phải tượng trưng cho thông lượng nhiệt từ dòng khí nóng truyền đến bề mặt lòng khuôn thông qua quá trình đối lưu.

Điều kiện không trượt:

$$\mathbf{u} = \mathbf{u}_w \quad (2.19)$$

Vận tốc của các phân tử khí tại bề mặt tấm insert lòng khuôn bằng với vận tốc của tấm insert khuôn, trong trường hợp này, do tấm insert khuôn đứng yên trong quá trình phun khí nóng nên:

$$\mathbf{u} = 0 \quad (2.20)$$

Trong đó, α_G là hệ số tỏa nhiệt của khí, $T_{f,3}$ là nhiệt độ khí.

❖ **Tại đầu phun khí:**

$$T = T_K \quad (2.21)$$

(Trong nghiên cứu này, T_K là nhiệt độ của dòng khí ứng với các giá trị nghiên cứu là 200 °C, 250 °C, 300 °C, 350 °C, 400 °C; nhiệt độ tấm insert khuôn ban đầu là 30 °C và nhiệt độ không khí ban đầu là 30 °C).

2.5.3 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 [106]. 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 hành vi của dòng chảy. Tấm insert khuôn được chia theo lưới hex dominant do cấu tạo đơn giản của tấm insert khuôn; trong khi, khối khí được chia lưới terahedrons 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 trong luận án này 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 [106], là một trong những mô hình chảy rối phổ biến nhất, là một mô hình hai phương trình, gồm có thêm 2 phương trình đối lưu để mô tả tính rối của dòng chảy. Biến đối lưu đầu tiên là động năng chảy rối k, biến đối lưu thứ 2 trong trường hợp này là tiêu tán rối ϵ là biến xác định quy mô chảy rối, và biến k xác định năng lượng chảy rối cho dòng khí.

2.6 Kiểm tra độ bền kéo

2.6.1 Tiêu chuẩn độ bền kéo ASTM D638

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

- Độ bền kéo: Là khả năng chịu lực lớn nhất của mẫu thử.
- Mô đun đàn hồi: Là khả năng chống biến dạng đàn hồi của mẫu thử.
- Độ giãn dài: Là phần trăm dài ra của mẫu thử khi chịu tác dụng của lực kéo. Độ giãn dài lớn hơn cho thấy độ dẻo cao hơn.
- Hệ số Poisson: Là tỉ số giữa biến dạng ngang tương đối và biến dạng dọc tương đối (theo phương tác dụng lực).

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

2.6.2 Công thức tính độ bền kéo

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

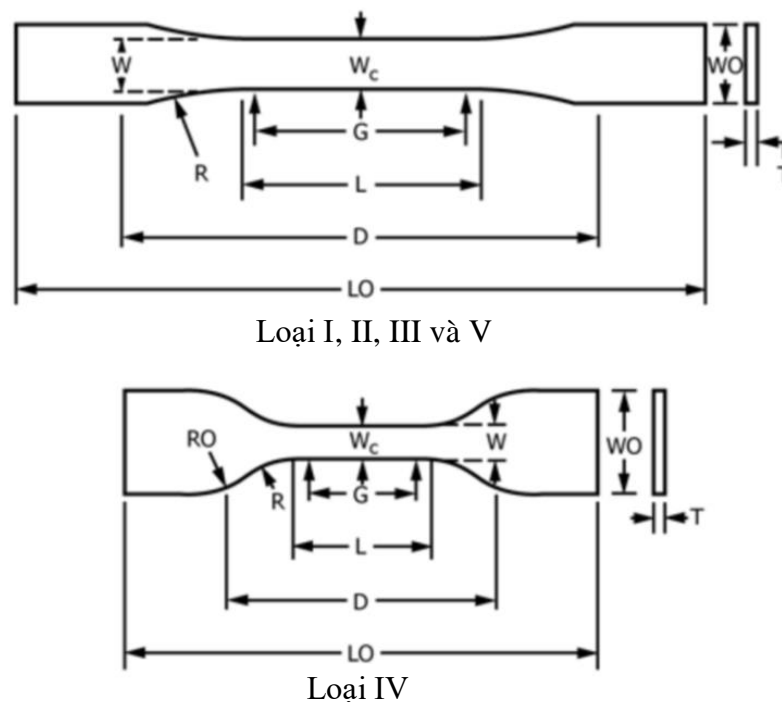
$$\sigma_t = \frac{F_{max}}{A} \quad (2.22)$$

Trong đó, σ_t là độ bền kéo cần tìm, F_{max} là lực kéo lớn nhất, A là diện tích mặt cắt ngang ban đầu của mẫu thử.

2.6.3 Cách tiến hành thử nghiệm

Mẫu thử được chế tạo bằng công nghệ phun ép như hình 2.15.

Quá trình thử nghiệm độ bền kéo được thực hiện trên máy thử kéo, mẫu thử được đặt ở tâm ngàm kẹp để lực có thể truyền từ máy qua mẫu thử đến vùng thử bền kéo mà không có lực ngang tác dụng. Tốc độ kéo đối với mẫu thử thành mỏng theo tiêu chuẩn ASTM D638 có thể chọn 5 mm/phút cùng với điều kiện thử nghiệm ở nhiệt độ phòng. Đồng thời, số lượng lần thử nghiệm là ít nhất 5 mẫu cho mỗi mẫu trong 1 trường hợp. Kết quả đo được là giá trị lực tương ứng với giá trị giãn dài của mẫu thử cho đến khi phá hủy. Sau đó, căn cứ vào công thức (2.22) để xác định độ bền kéo của mẫu thử.



Hình 2.15: Mẫu thử kéo theo tiêu chuẩn ASTM D638 [108]

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

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

Chương 3

MÔ TẢ MÔ PHÒNG VÀ THỰC NGHIỆM

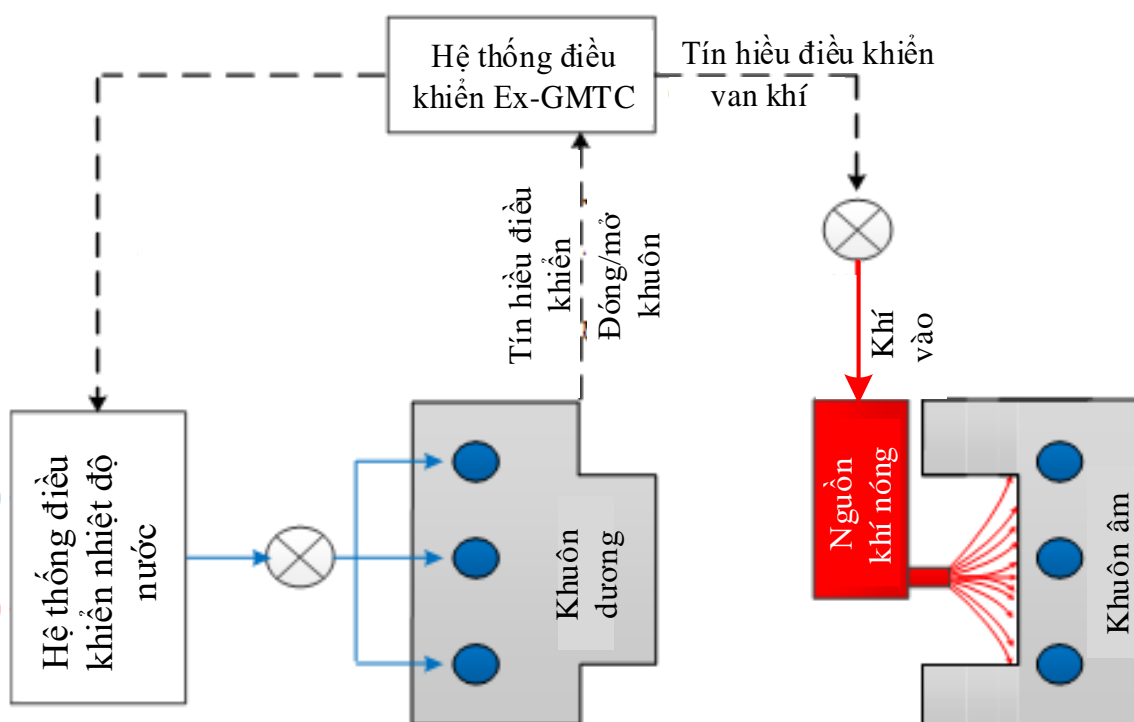
Trong chương này, qui trình gia nhiệt khuôn bằng khí nóng bên ngoài khuôn, mô hình mô phỏng, mô hình thực nghiệm và các thiết bị sử dụng trong thực nghiệm sẽ được mô tả cụ thể. Trong đó, phân bố nhiệt độ và phân bố áp suất trong lòng khuôn sẽ được phân tích thông qua mô phỏng bằng phần mềm Ansys và Moldex3D. Ngoài ra, quá trình gia nhiệt khuôn, phun ép và đánh giá mẫu thử cũng được thực hiện với vật liệu PA6 và PA6+30%GF.

3.1. Qui trình gia nhiệt khuôn bằng khí nóng ngoài khuôn

Trong quá trình nhựa điền vào khuôn với sản phẩm thành mỏng, những lớp nhựa tiếp xúc với thành của khuôn (bề mặt khuôn ở nhiệt độ thấp) sẽ đông đặc nhanh. Quá trình đông lại ở bề mặt tiếp xúc với khuôn sẽ làm giảm áp lực của dòng nhựa và gây khó khăn cho quá trình chảy của nhựa lỏng vào lòng khuôn. Đây cũng là một trong những nguyên nhân chính làm giảm chất lượng về độ bền của sản phẩm nhựa. Để khắc phục được tình trạng đó, một trong những phương pháp hiệu quả nhất hiện nay là tăng nhiệt độ bề mặt lòng khuôn tiếp xúc với nhựa đến giá trị nhiệt độ tối ưu, qua đó, quá trình đông đặc lớp nhựa tiếp xúc với khuôn sẽ giảm và không làm cho quá trình giải nhiệt sau quá trình ép tăng lên.

Các bước cơ bản của quy trình phun ép nhựa có hỗ trợ gia nhiệt khuôn bằng khí nóng bên ngoài khuôn được trình bày như hình 3.2. Trong qui trình này, nhằm tăng khả năng chảy của dòng nhựa trong bước điền đầy khuôn, phương pháp gia nhiệt cho bề mặt khuôn đã được đề xuất. Trong luận án này, phương pháp gia nhiệt cho lòng khuôn bằng khí nóng phun từ ngoài (Gas-assisted mold temperature control – Ex-GMTC) là một trong những công nghệ mới được nghiên cứu trong qui trình phun ép nhựa. Phương pháp này giúp gia nhiệt và giải nhiệt cho lòng khuôn nhanh. Hệ thống công nghệ phục vụ cho Ex-GMTC được chuẩn bị gồm các thiết bị chính như: Hệ thống điều khiển GMTC, hệ thống cấp khí nóng (gồm máy nén khí, khối gia nhiệt cho khí, hệ thống điều khiển lưu lượng khí) và hệ thống giải nhiệt cho khuôn, các cụm thiết bị này được mô tả như hình 3.1.

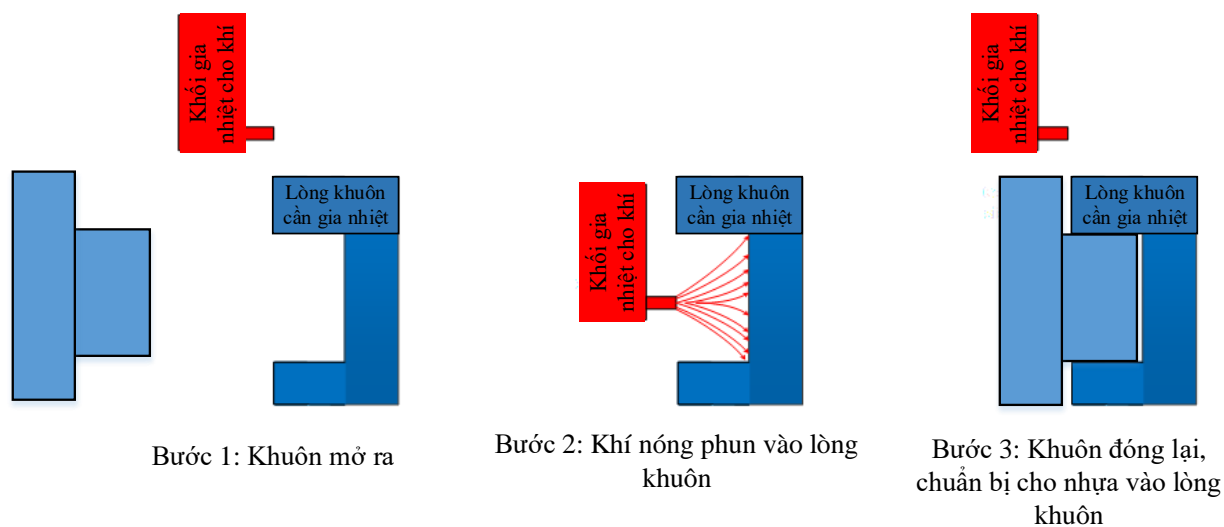
Trong hệ thống Ex-GMTC, khối gia nhiệt cho khí làm nhiệm vụ cung cấp khí nóng với nhiệt độ khí có thể thay đổi từ 200 °C đến 400 °C. Khí nóng này sẽ được phun trực tiếp vào lòng khuôn nhằm gia nhiệt cục bộ cho lòng khuôn. Ngược lại, hệ thống giải nhiệt cho khuôn bằng nước sẽ làm nhiệm vụ giữ nhiệt độ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



Hình 3.1: Hệ thống Ex-GMTC

Trong nghiên cứu này, khí nóng sẽ được sử dụng như nguồn nhiệt nhằm nâng nhiệt độ tại bề mặt khuôn. Hình 3.2 trình bày các bước gia nhiệt cho khuôn bằng khí nóng phun từ ngoài. Trong quá trình gia nhiệt cục bộ này, sau khi hai nửa khuôn mở ra để lấy sản phẩm ra khỏi lòng khuôn, nửa khuôn di động sẽ di chuyển đến vị trí gia nhiệt (hình 3.2 – Bước 1). Sau đó, khối gia nhiệt cho khí sẽ di chuyển đến vị trí gia nhiệt cho khuôn (hình 3.2 - Bước 2). Tại vị trí này, khí nóng từ khối gia nhiệt sẽ phun vào lòng khuôn. Thông qua quá trình truyền nhiệt đối lưu giữa khí nóng và lòng khuôn, nhiệt độ bề mặt lòng khuôn sẽ tăng lên. Khi nhiệt độ lòng khuôn đạt đến giá trị cần thiết, khối gia nhiệt sẽ được di chuyển ra khỏi khu vực

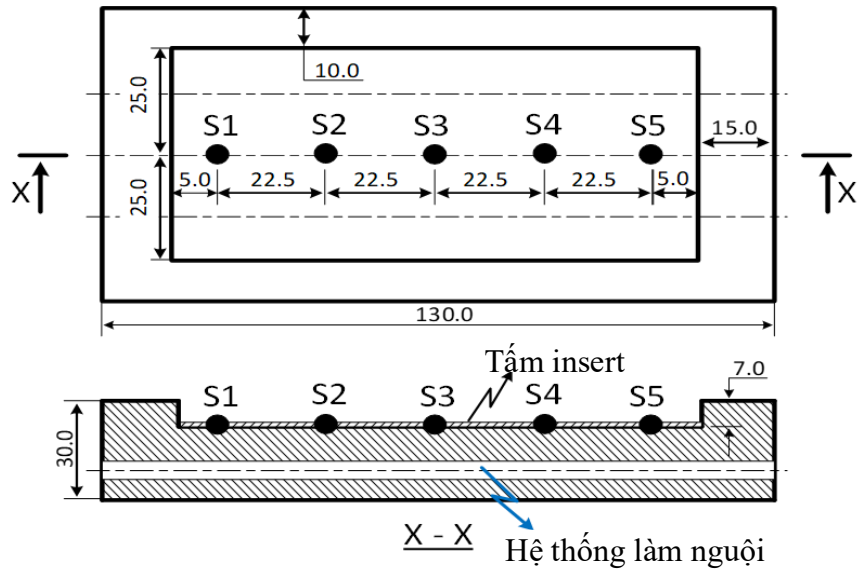
phun ép (hình 3.2 – Bước 3), sau đó, hai nửa lòng khuôn sẽ đóng lại, chu kỳ phun ép sẽ được tiếp tục.



Hình 3.2: Các bước gia nhiệt bề mặt khuôn khi sử dụng hệ thống Ex-GMTC

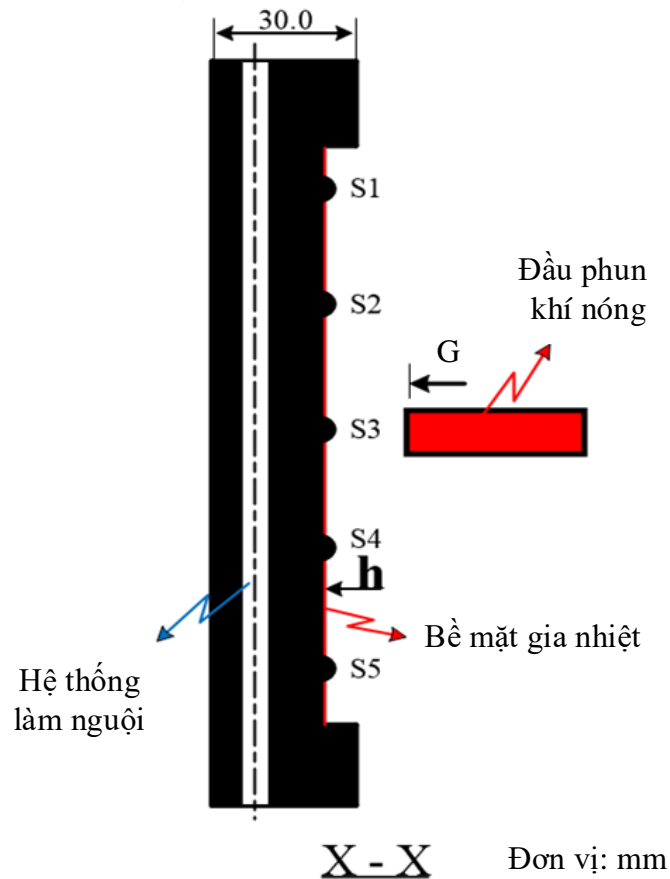
3.2. Mô hình mô phỏng và thực nghiệm

Nhằm đánh giá khả năng gia nhiệt bằng khí nóng phun từ ngoài, mô hình như hình 3.3 và hình 3.4 được sử dụng. Vùng gia nhiệt trên khuôn được thiết kế với chi tiết tấm insert có kích thước 100 mm x 50 mm. Để đánh giá khả năng gia nhiệt của phương pháp Ex-GMTC, 5 cảm biến nhiệt được lắp tại bề mặt khuôn để thu thập các giá trị nhiệt độ thay đổi trong suốt quá trình gia nhiệt. Trong các nghiên cứu trước đây về lĩnh vực gia nhiệt bề mặt khuôn [96 – 99], thiết kế khuôn với tấm insert thường được sử dụng nhằm tăng hiệu suất của quá trình gia nhiệt. Các nghiên cứu này cho thấy chiều dày của tấm insert là một trong những thông số quan trọng, có ảnh hưởng lớn đến kết quả gia nhiệt cho khuôn. Vị trí tương đối của khuôn, tấm insert, đầu phun khí nóng và các cảm biến được trình bày như hình 3.3 và hình 3.4.



Hình 3.3: Vị trí cảm biến, tấm insert so với khuôn

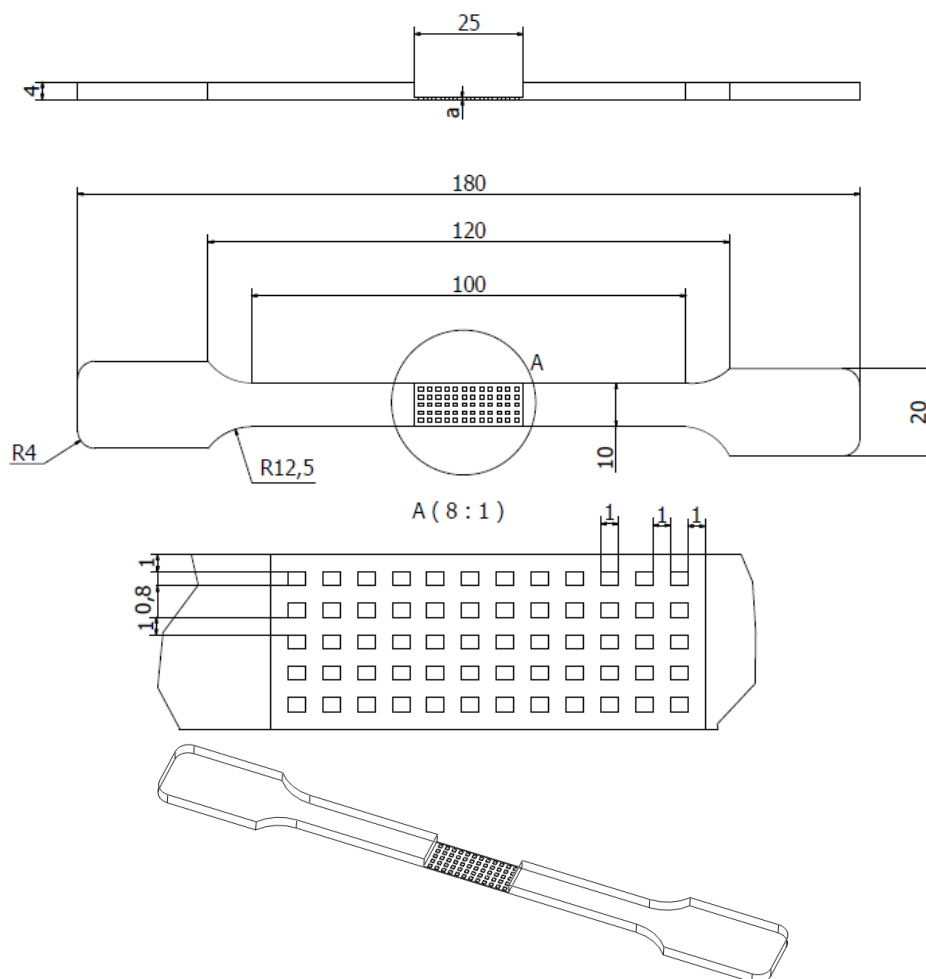
G: Khe hở giữa đầu phun khí và bề mặt tấm insert
 h: Bề dày tấm insert



Hình 3.4: Vị trí gia nhiệt của đầu phun

Sau khi đánh giá khả năng gia nhiệt cho khuôn với qui trình mới này, cho thấy khả năng áp dụng được của quá trình này trong thực tế.

Tiếp theo, chọn mẫu mô phỏng và thực nghiệm trong nghiên cứu này là mẫu thử độ bền kéo theo tiêu chuẩn ASTM D638 với hình dạng và kích thước như hình 3.5. Trong đó, chiều dày của mẫu thử tại vùng phá hủy sẽ được thay đổi lần lượt là 0,4 mm, 0,6 mm và 0,8 mm, đồng thời, vùng gia nhiệt được thiết kế dạng lưới như vùng A, để cho thấy ảnh hưởng của nhiệt độ khuôn và chiều dày mẫu thử đến độ bền kéo được thể hiện rõ rệt hơn.



Hình 3.5: Hình dạng và kích thước của mẫu mô phỏng và thực nghiệm [104]

3.3. Mô phỏng

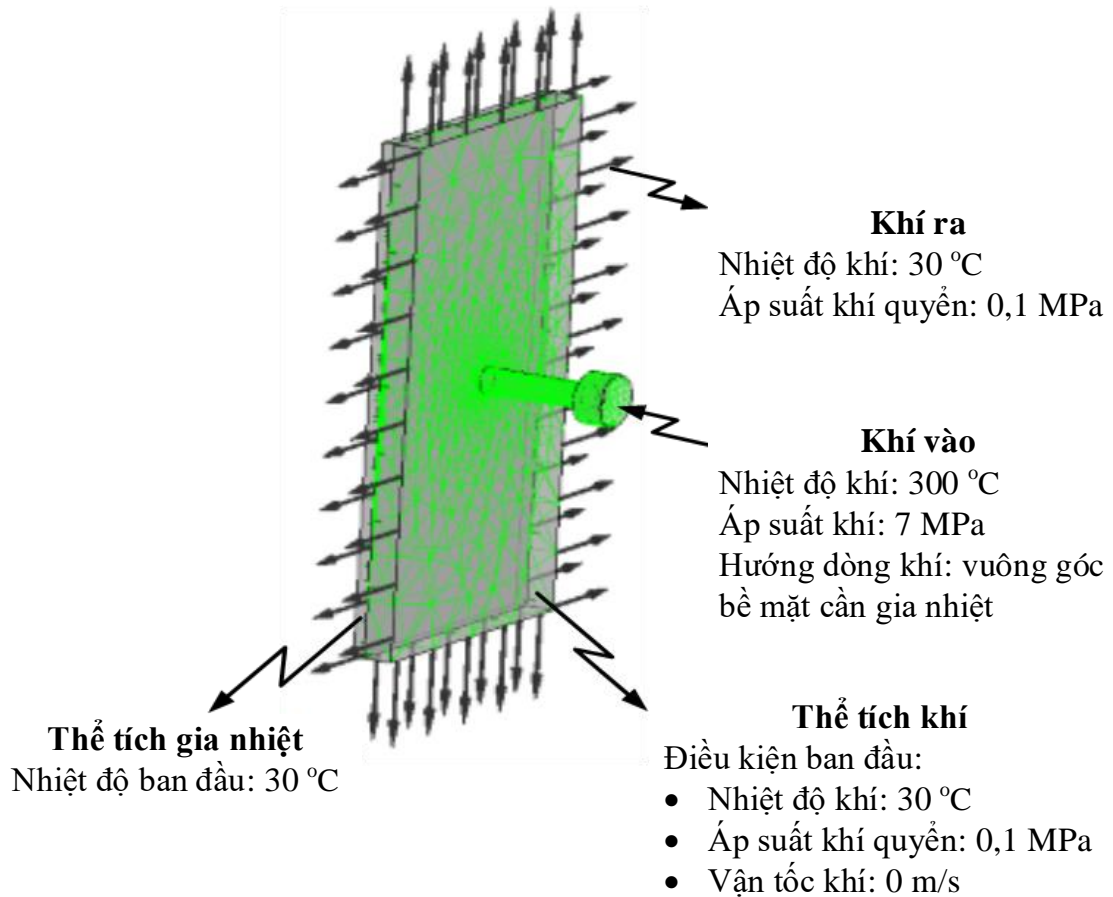
3.3.1 Mô phỏng quá trình gia nhiệt bằng khí nóng ngoài khuôn

Trong luận án này, mô hình mô phỏng quá trình gia nhiệt được xây dựng nhằm quan sát phân bố nhiệt độ tại vùng gia nhiệt. Trong quá trình lắp ráp, giữa tấm insert và khuôn luôn tồn tại khe hở. Trong quá trình gia nhiệt, khe hở này đóng vai trò như một lớp cách nhiệt giữa tấm insert và khuôn. Vì vậy, tương tự như các nghiên cứu trước đây [21, 22], mô hình mô phỏng (hình 3.4) trong luận án này chỉ

bao gồm hai phần chính: thể tích tấm insert và thể tích không khí. Các điều kiện ban đầu được trình bày như hình 3.6 và các thông số mô phỏng, đặc tính vật liệu được trình bày như bảng 3.1. Trong quá trình chia lưới, phần thể tích tấm insert được chia lưới hex dominant với 7 lớp theo chiều dày, còn lại, với thể tích không khí, phần tử lưới dạng tetra được sử dụng, trong đó, các phần tử gần miệng phun khí nóng được chia với kích thước lưới nhỏ hơn. Phương pháp mô phỏng được tiến hành với phần mềm ANSYS thông qua các thông số như quá trình thực nghiệm.

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

Vật liệu	Tên	Đơn vị	Giá trị
Khí	Khối lượng phân tử	kg/kmol	28.96
	Khối lượng riêng	kg/m ³	1.185
	Nhiệt dung riêng	J/kgK	1004.4
	Độ nhớt động lực học	kg/ms	1.831e-5
	Hệ số dẫn nhiệt	W/mK	0.0261
Thép	Khối lượng phân tử	kg/kmol	55.85
	Khối lượng riêng	kg/m ³	7854
	Nhiệt dung riêng	J/kg K	434
	Hệ số dẫn nhiệt	W/mK	60.5

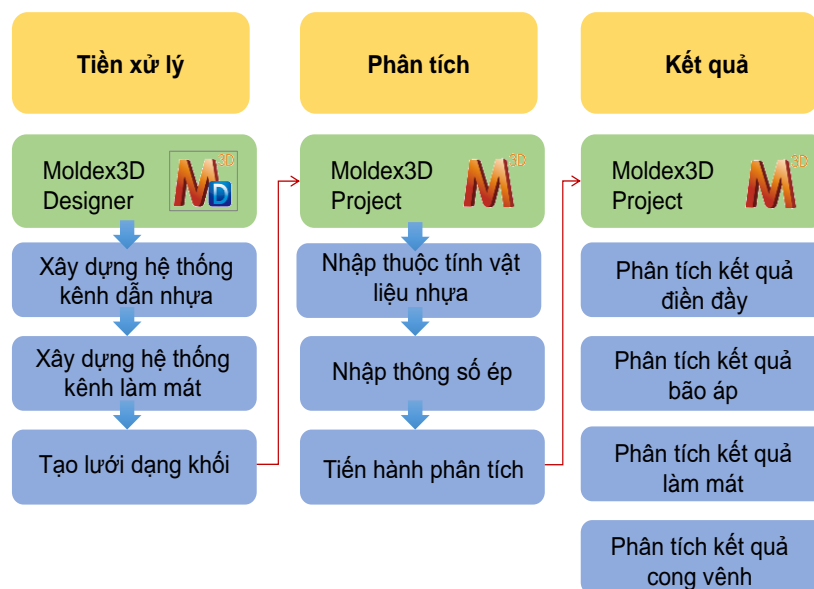


Hình 3.6: Điều kiện ban đầu của quá trình mô phỏng

Áp suất dòng khí dùng để thực nghiệm là 7 MPa vì đây là áp suất phổ biến được sử dụng trong các nhà máy (xưởng cơ khí) và các thiết bị tạo ra nguồn khí có áp suất này rất phổ biến.

3.3.2 Mô phỏng quá trình nhựa điền đầy lòng khuôn

Hiện nay, với qui trình phun ép thông thường, việc lựa chọn bộ thông số phun ép thích hợp cho từng loại sản phẩm hiện nay vẫn thường được thực hiện thông qua kinh nghiệm người đứng máy. Tuy nhiên, khi sử dụng bước gia nhiệt cho bề mặt lòng khuôn cho qui trình phun ép nhựa, việc lựa chọn bộ thông số thích hợp sẽ là một trong những thách thức cho người vận hành máy phun ép nhựa. Do đó, nhằm giúp người vận hành máy có thể lựa chọn bộ thông số thích hợp, luận án này sẽ nghiên cứu và đưa ra qui trình mô phỏng quá trình phun ép có sử dụng bước gia nhiệt cho lòng khuôn.



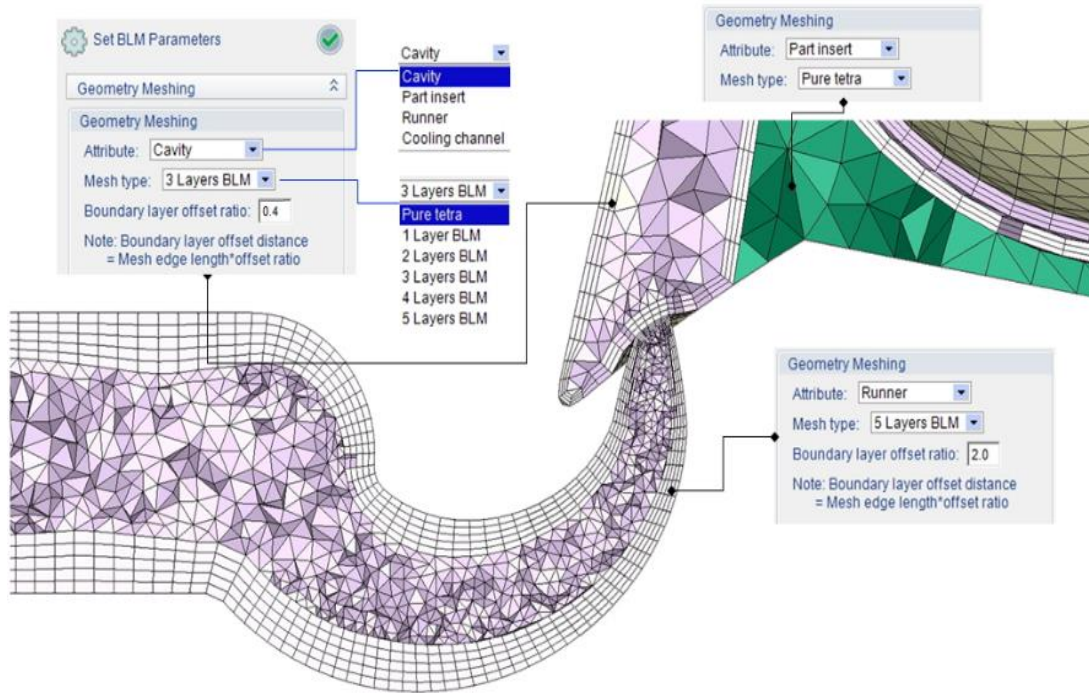
Hình 3.7: Lưu đồ thực hiện quá trình mô phỏng [105]

Với lưu đồ như hình 3.7, qui trình mô phỏng quá trình phun ép có sự hỗ trợ của bước gia nhiệt bằng khí nóng cho bề mặt khuôn được tiến hành với phần mềm Moldex3D thông qua ba giai đoạn như sau:

- Giai đoạn 1 - Tiền xử lý

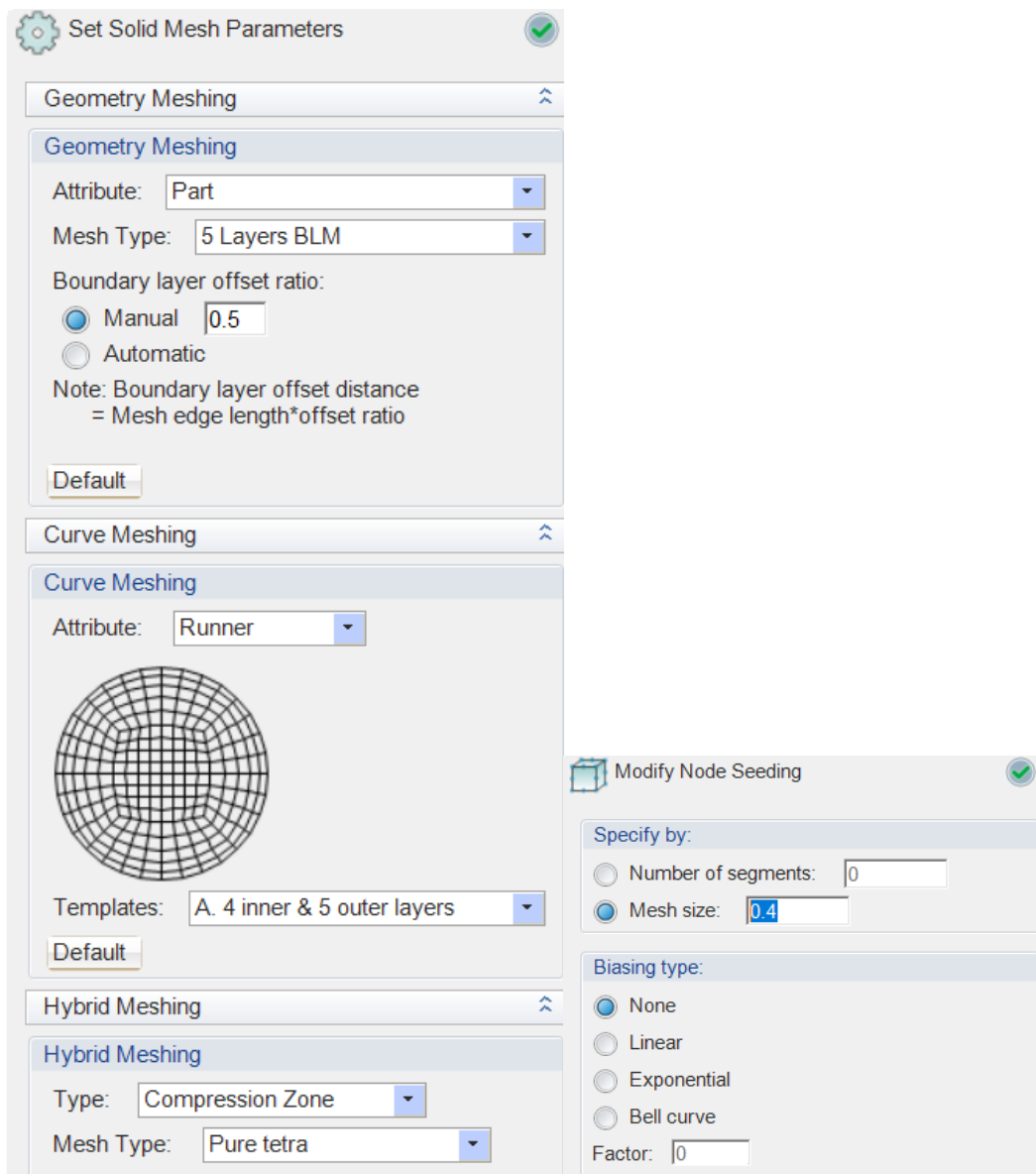
Tại giai đoạn này, mô hình 3D của mẫu thực nghiệm đã được thiết kế từ trước trên các phần mềm CAD để xây dựng mô hình 3D. Mô hình này được nhập vào mô đun Moldex3D Designer. Trong môi trường Moldex3D Designer, hệ thống khuôn sẽ được thiết lập. Tại đây, các bước “Tiền xử lý” sẽ được tiến hành như hình 3.7 cho mẫu thử kéo như hình 3.5. Sau khi xây dựng thành công các hệ thống kênh dẫn nhựa, kênh làm mát, kích thước bộ khuôn. Tiến hành chia lưới mẫu thực nghiệm với tùy chọn chia lưới BLM (Boundary Layer Mesh) như hình 3.8. BLM là một trong những công nghệ chia lưới phù hợp nhất trong ứng dụng CAE đối với ngành phun ép nhựa. 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.



Hình 3.8: Mặt cắt thể hiện vùng được chia lưới bên trong mô hình [105]

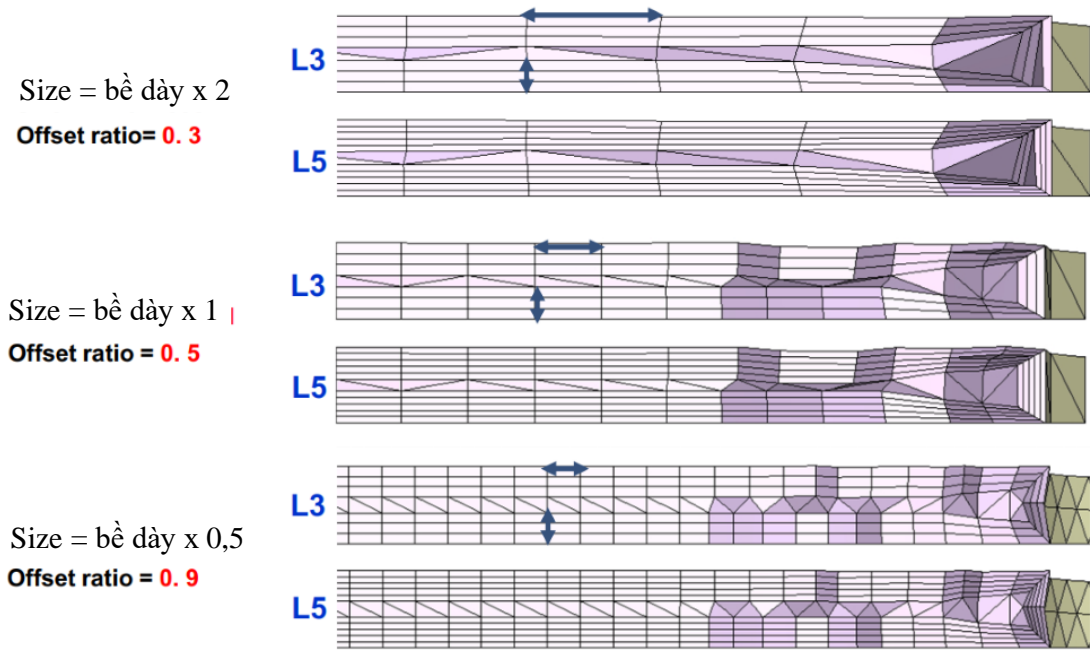
Để bảo đảm quá trình mô phỏng có giá trị đáng tin cậy, mô hình được tiến hành chia lưới với 5 lớp lưới BLM, kích thước lưới tùy chọn là 0,4 như hình 3.9. Sau khi chia lưới cho các chiều dày khác nhau của mô hình thành thử kéo, số phần tử thu được như trong bảng 3.2. Số phần tử này có được từ kết quả chia lưới theo thực nghiệm của phần mềm Moldex3D như hình 3.10, để kết quả mô phỏng đạt độ tin cậy [105].



Hình 3.9: Số lớp và kích thước lưới được chia theo phương pháp BLM [105]

Bảng 3.2: Số phần tử của mô hình thanh thử kéo

Chi tiết	Mô hình		
Chiều dày	0,4 mm	0,6 mm	0,8 mm
Số phần tử chi tiết	692904	701191	711044
Số phần tử kênh dẫn	373414	370506	372557



Hình 3.10: Kích thước phân tử và offset ratio khi chia lưới [105]

- Giai đoạn 2 - Phân tích

Sau khi đã tạo mô hình lưới thành công, tiếp tục thực hiện quá trình mô phỏng trên mô đun Moldex3D Project. Trong phần mềm Moldex3D, mô đun Moldex3D Project phục vụ như một cầu nối giữa người dùng và các phương pháp giải bài toán mô phỏng, cung cấp một hệ thống giúp người dùng thực hiện các phân tích phun ép nhựa và xem các kết quả với rất nhiều thông số. Mô đun này cho phép người dùng thiết lập các thông số ép nhựa, tùy chọn các phương pháp giải, giả lập các thông số của máy ép trong thực tế giúp cho các kết quả mô phỏng đạt độ chính xác cao. Trình tự các bước làm việc được biểu diễn như trong hình 3.7. Trong môi trường này, các thông số thuộc tính vật liệu cho như trong bảng 3.3 được cài đặt cho quá trình mô phỏng.

Bảng 3.3: Thông số vật liệu PA6 và PA6+30%GF

Vật liệu	PA6	PA6+30%GF
Mô đun đàn hồi	2,9 GPa	2 GPa
Tiêu chuẩn ISO	ISO 1874-PA 6, GR, 14-030	ISO 1874-PA 6, GR, 14-100, GF30
Hệ số Poisson	0,38	0,3
Hệ số giãn nở nhiệt tuyến tính	0,00008 (1/K)	0,00002 (1/K)

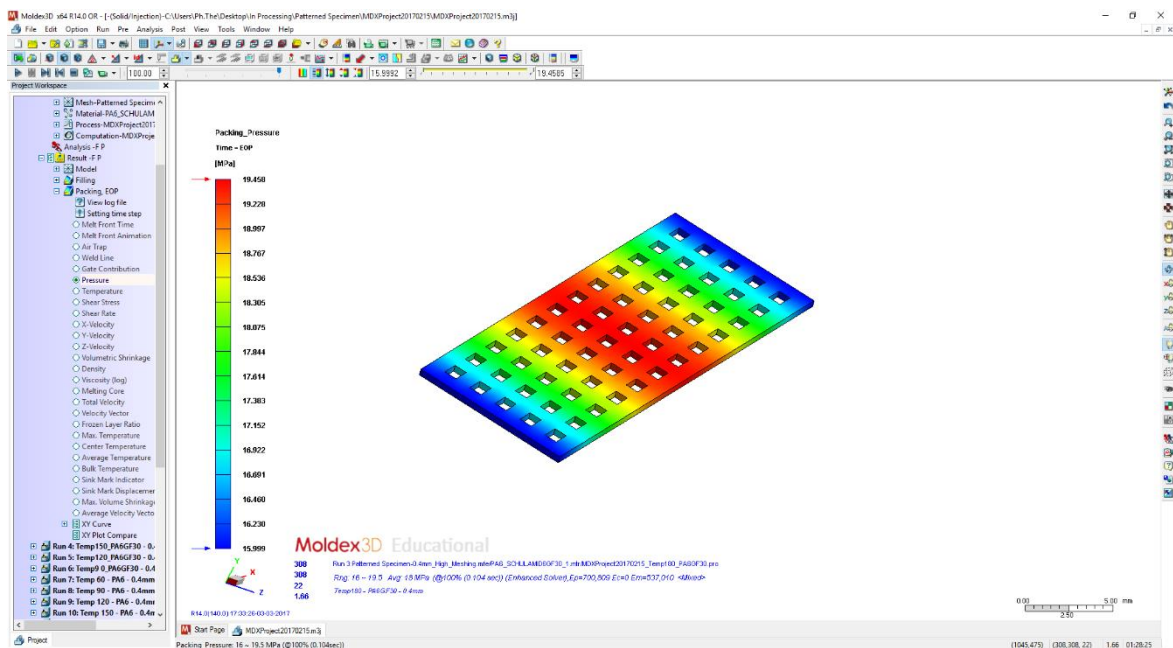
Nhiệt độ nhựa nóng chảy (nhỏ nhất)	250 °C	250 °C
Nhiệt độ nhựa nóng chảy (thông thường)	265 °C	265 °C
Nhiệt độ nhựa nóng chảy (lớn nhất)	280 °C	280 °C
Nhiệt độ nhựa đông đặc	170 °C	170 °C
Nhiệt độ khuôn (nhỏ nhất)	60 °C	60 °C
Nhiệt độ khuôn (thông thường)	80 °C	80 °C
Nhiệt độ khuôn (lớn nhất)	100 °C	100 °C

Giai đoạn 3 – Tiến hành tính toán mô phỏng

Thông số ép mô phỏng:

- Nhiệt độ nhựa nóng chảy: 260 °C.
- Áp suất phun: 65 kg/cm².
- Lưu lượng phun: 58 (cm³/s).
- Thời gian phun: 2 s.
- Bảo áp: 1 s.

Sau khi hoàn tất cài đặt các thông số thuộc tính vật liệu, thông số phun ép, phương pháp giải và các tùy chọn khác. Các mô phỏng sẽ được tiến hành với các mô hình thực nghiệm. Kết quả phân tích sẽ được phần mềm hiển thị như hình 3.11.



Hình 3.11: Kết quả phân tích trên mô đun Moldex3D Project

3.4 Thực nghiệm

Tiến hành thực nghiệm qua hai giai đoạn:

- ✓ Giai đoạn 1: Thực nghiệm gia nhiệt lòng khuôn để đánh giá khả năng gia nhiệt bằng khí nóng phun từ ngoài như mô hình hình 3.3 và hình 3.4.
- ✓ Giai đoạn 2: Các bước thực nghiệm:
 - Bước 1: Thực nghiệm gia nhiệt lòng khuôn mẫu thử ASTM D638 như hình 3.5 để chụp phân bố trường nhiệt độ lòng khuôn bằng camera nhiệt nhằm đánh giá sự phân bố nhiệt độ và giá trị nhiệt độ đạt được.
 - Bước 2: Chọn các giá trị nhiệt độ khuôn, tiến hành phun ép sản phẩm mẫu thử ASTM D638 trên máy phun ép nhựa SW-120B nhằm chế tạo các mẫu thử.
 - Bước 3: Mang mẫu thử đã phun ép tiến hành thử kéo để đánh giá ảnh hưởng của phương pháp gia nhiệt bằng khí nóng từ ngoài khuôn đến độ bền sản phẩm nhựa dạng thành mỏng.

Quá trình thực nghiệm được tiến hành tại phòng thí nghiệm khuôn mẫu thuộc Khoa cơ khí chế tạo máy – Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp. HCM với các vật liệu PA6 và PA6+30%GF (bảng 3.3) và các thiết bị như sau:

3.4.1 Máy ép nhựa Shinewell – 120B (SW-120B)

Tất cả các mẫu thử kéo ASTM D638 được thực hiện chế tạo bằng máy phun ép nhựa Shinewell-120B như hình 3.12, tại phòng thí nghiệm khuôn mẫu thuộc Khoa cơ khí chế tạo máy Trường Đại học sư phạm kỹ thuật TP. HCM.



Hình 3.12: Máy phun ép nhựa SW-120B có tích hợp tay máy gia nhiệt

Bảng 3.4: Thông số kỹ thuật của máy phun ép nhựa SW-120B

Thông tin chung		
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
Thông số khuôn		
1	Khoảng mở khuôn	380 (mm)
2	Khoảng cách các thanh dẫn hướng	395 x 395 (mm)
3	Kích thước bệ máy	595 x 595 (mm)
4	Chiều cao khuôn (Min ~ Max)	180 ~ 440 (mm)
5	Chiều dài – rộng khuôn	295 x 350 (mm)
Thông số máy		
<i>Bộ phận phun ép</i>		
1	Đường kính trục vít	Ø45 (mm)
2	Áp suất phun -max 140 bar (kg/cm ²)	1393 (kgf/cm ²), 136,607 MPa
3	Thể tích 1 lần phun	318 (cm ³)
4	Khối lượng nhựa 1 lần phun (PS)	267 (g)
5	Lưu lượng phun tối đa	131 (cm ³ /s)
6	Khả năng làm dẻo (PS)	74 (kg/hour)
7	Tốc độ quay trục vít	0 ~ 200 (rpm)
8	Khoảng lấy nhựa tối đa	200 (mm)
9	Đường kính-bán kính bo đầu phun	Ø2 and R10 (mm)
<i>Bộ phận kẹp</i>		
1	Lực kẹp tối đa	120 (ton)
2	Khoảng mở tối đa	380 (mm)

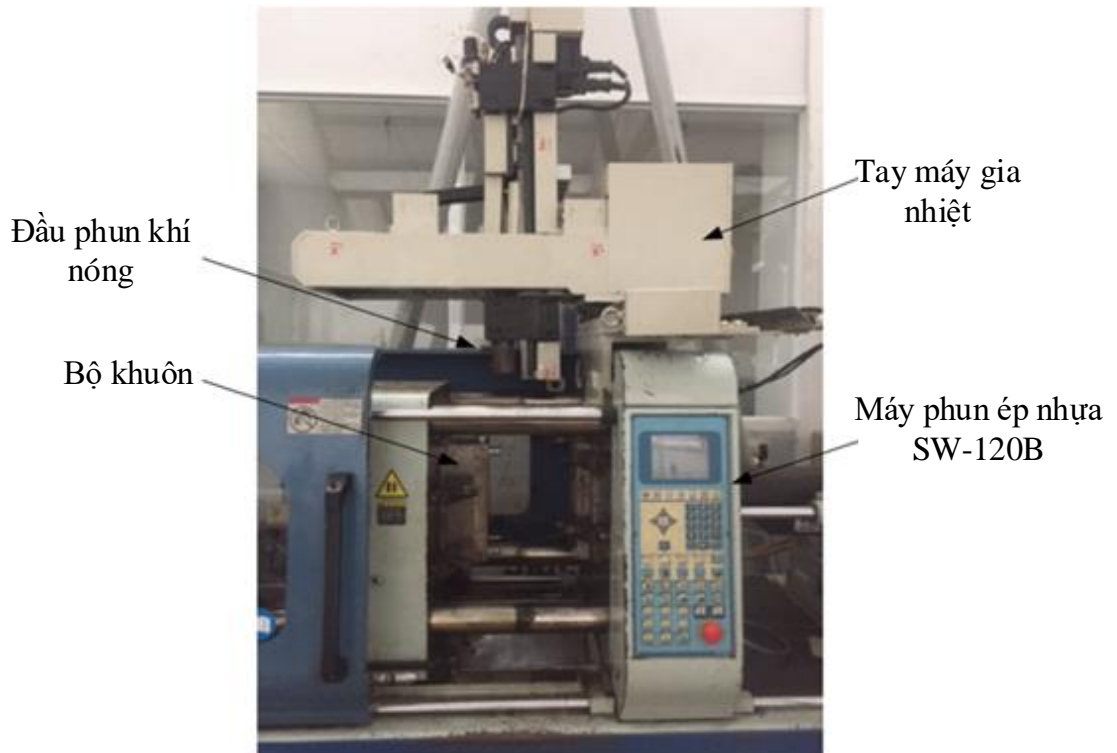
3	Khoảng đẩy sản phẩm tối đa	100 (mm)
4	Lực kẹp tối đa	4.6 (ton)
5	Mô tơ thủy lực	20 (HP/KW)
6	Công suất gia nhiệt điện trở	4.6 (KW)
7	Điện trở gia nhiệt	(0 ~ 399) x 4 (bộ)

3.4.2 Tay máy gia nhiệt

Để gia nhiệt bề mặt khuôn, tay máy được chế tạo và lắp lên máy ép như hình 3.13, vị trí vòi phun khí nóng trên tay máy gia nhiệt, tay máy sẽ di chuyển vòi phun tới vị trí trên khuôn cần gia nhiệt. Việc di chuyển này có thể được thực hiện bằng chế độ di chuyển bằng tay hoặc chế độ tự động (sau khi lập trình vị trí di chuyển).

Bảng 3.5: Thông số kỹ thuật của tay máy gia nhiệt

Tốc độ nội suy phương X , Y, Z	0,25 m/s
Tốc độ di chuyển nhanh theo phương Z	0,75 m/s
Không gian làm việc	500 mm x 500 mm x 500 mm
Khả năng tải của cánh tay máy	< 10 kg
Số bậc tự do	3
Nhiệt độ nguồn gia nhiệt cho khí	từ 200 °C đến 400 °C
Thời gian gia nhiệt bằng khí nóng	Tối đa 60 s
Chức năng điều khiển bằng tay	Có
Chức năng lập trình	Có



Hình 3.13: Tay máy gia nhiệt được lắp lên máy phun ép nhựa

3.4.3 Bộ khuôn thực nghiệm



Hình 3.14: Bộ khuôn chế tạo mẫu thử kéo ASTM D368

Thông số kỹ thuật:

- Kích thước khuôn: 300 mm x 200 mm x 200 mm.
- Số lòng khuôn: 02
- Độ điền đầy lòng khuôn: 100%
- Có thể gia nhiệt cục bộ cho lòng khuôn với tốc độ gia nhiệt: $> 5 \text{ }^{\circ}\text{C/s}$
- Được sử dụng cho qui trình phun ép nhựa có hỗ trợ gia nhiệt bằng khí nóng

3.4.4 Camera đo nhiệt độ



Hình 3.15: Camera hồng ngoại
Flute TiS20

Thông số kỹ thuật:

- Dải đo: $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ đến $650\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Độ chính xác: $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Dải phổ hồng ngoại: $7,5 \pm 14\text{ }\mu\text{m}$
- Camera kỹ thuật số: 5MP
- Khoảng cách lấy nét tối thiểu: 0,45 m

3.4.5 Cảm biến đo nhiệt độ tiếp xúc



Hình 3.16: Cảm biến đo nhiệt độ
Exttech TM100

Thông số kỹ thuật:

- Phạm vi đo nhiệt độ: $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ đến $650\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Độ chính xác: $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Phạm vi đo nhiệt độ rộng với độ phân giải $0,1\text{ }^{\circ}/1\text{ }^{\circ}$
- Đo nhiệt độ dạng: $^{\circ}\text{F}$, $^{\circ}\text{C}$, K
- Giữ giá trị đọc trên màn hình
- Các giá trị đọc: Max/Min/Avg

3.4.6 Máy thử độ bền kéo



Hình 3.17: Máy đo độ bền kéo
Shimadzu AG-X Plus 50kN

Thông số kỹ thuật:

- Khả năng chịu tải lớn nhất: 50 kN
- Tốc độ di chuyển: max 1,000 mm/min
- Chiều dài kiểm tra tối đa: 500 mm
- Độ cứng khung máy: 120 kN/mm
- Tiêu chuẩn máy: ISO 6892 và JIS Z2241
- Nhiệt độ hoạt động: $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ đến $38\text{ }^{\circ}\text{C}$

Chương 4

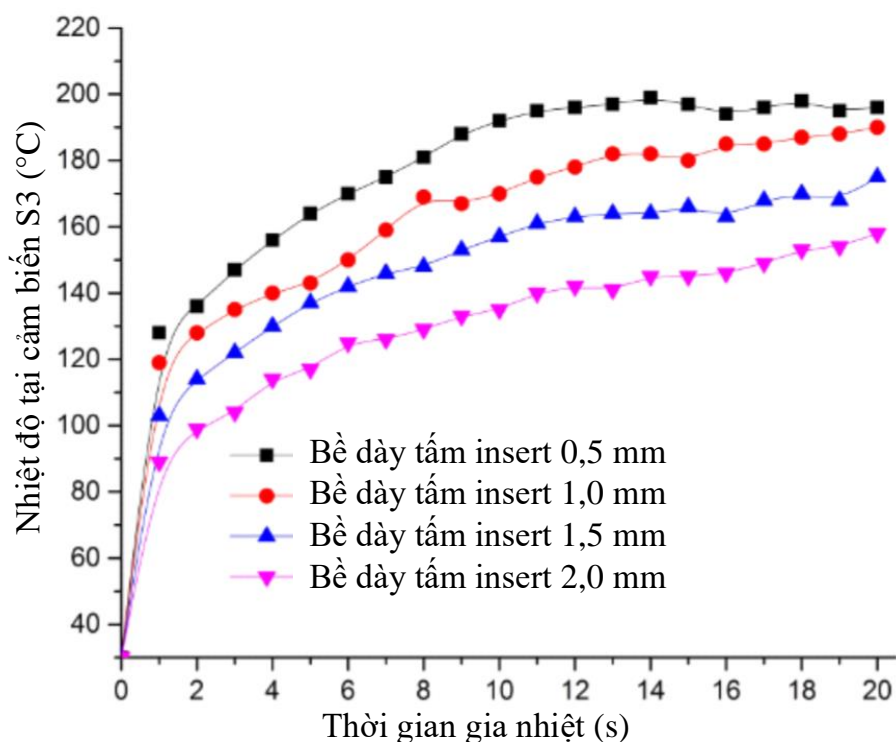
ẢNH HƯỞNG CỦA GIA NHIỆT ĐẾN PHÂN BỐ NHIỆT ĐỘ BỀ MẶT LÒNG KHUÔN

Thông số gia nhiệt là các yếu tố ảnh hưởng tới quá trình gia nhiệt. Chương này sẽ cho thấy ảnh hưởng của các thông số gia nhiệt (gồm bề dày tấm insert và khe hở (khoảng cách) giữa đầu phun khí nóng và bề mặt lòng khuôn) đến kết quả gia nhiệt bằng khí nóng. Thông qua quá trình thực nghiệm và mô phỏng, “chiều dày” và “khe hở” là các yếu tố cơ bản ảnh hưởng chính đến quá trình gia nhiệt. Trong quá trình nghiên cứu, các giá trị nhiệt độ khí nóng khác nhau cũng sẽ được sử dụng. Ngoài ra, kết quả gia nhiệt cũng sẽ được đánh giá thông qua số liệu về tốc độ gia nhiệt và phân bố nhiệt độ của bề mặt lòng khuôn.

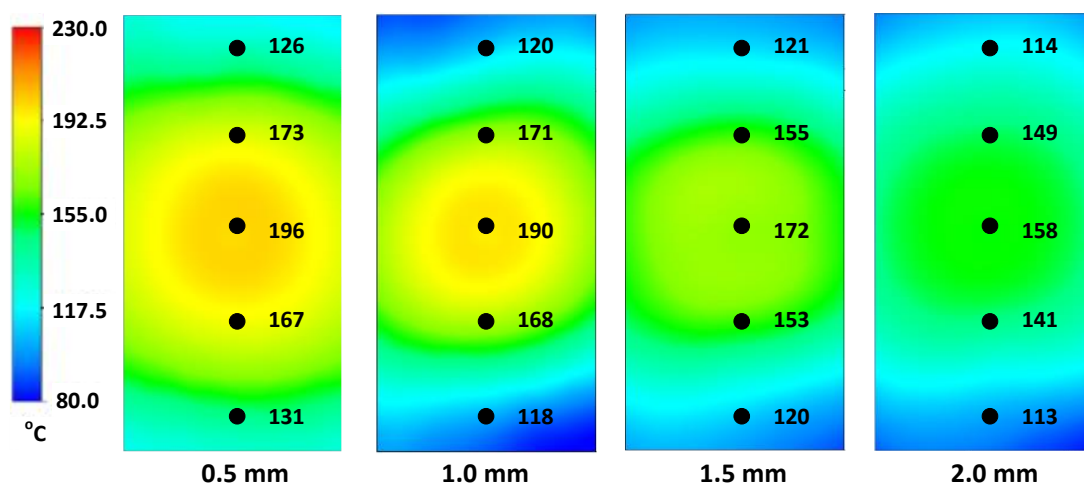
4.1 Ảnh hưởng của chiều dày tấm insert đến nhiệt độ khuôn

Trong các nghiên cứu trước đây về lĩnh vực gia nhiệt bề mặt khuôn [96 – 99], thiết kế khuôn với bộ phận insert thường được sử dụng nhằm tăng hiệu suất của quá trình gia nhiệt. Các nghiên cứu này cho thấy chiều dày của tấm insert là một trong những thông số quan trọng, có ảnh hưởng lớn đến kết quả gia nhiệt cho khuôn. Vì vậy, trong luận án này, để đánh giá khả năng gia nhiệt cho khuôn bằng khí nóng, tấm insert có kích thước chiều dài và chiều rộng là 100 mm x 50 mm, với chiều dày thay đổi lần lượt là 0,5 mm, 1 mm, 1,5 mm và 2 mm; được thiết kế và lắp vào kết cấu khuôn, quá trình gia nhiệt cho khuôn được tiến hành với nhiệt độ khí là 300 °C, và khoảng cách giữa đầu phun khí và bề mặt khuôn là 7 mm. Với các thông số thực nghiệm này, cảm biến S3 (hình 3.3) sẽ thu thập giá trị nhiệt độ của bề mặt khuôn với thời gian gia nhiệt là 20 s ứng với các chiều dày khác nhau của tấm insert. Các kết quả này cũng được mô phỏng bằng phần mềm Ansys và trình bày như hình 4.1 và hình 4.2. Với nhiệt độ ban đầu của khuôn là 30 °C, phương pháp gia nhiệt bằng khí (Ex-GMTC) cho thấy có khả năng nâng nhiệt độ của bề mặt khuôn lên đến 190 °C, giá trị này gần như cao hơn tất cả nhiệt độ chuyển pha của các loại nhựa thông dụng hiện nay (bảng 4.1), ngoài ra, kết quả này cũng cho thấy phương pháp Ex-GMTC có thể đạt được tốc độ gia nhiệt lên đến 8,3 °C/s. So với phương

pháp gia nhiệt bằng khí tích hợp trong khuôn trước đây, tốc độ gia nhiệt của phương pháp Ex-GMTC cao hơn rất nhiều (8,3 °C/s so với 2,2 °C/s) [22]. Vì vậy, xét về mục tiêu nâng nhiệt độ bề mặt khuôn, phương pháp Ex-GMTC cho thấy hiệu quả cao hơn nhiều so với các phương pháp trước đây.



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



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

Bảng 4.1: Nhiệt độ nóng chảy và nhiệt độ đóng rắn của một số loại nhựa [105]

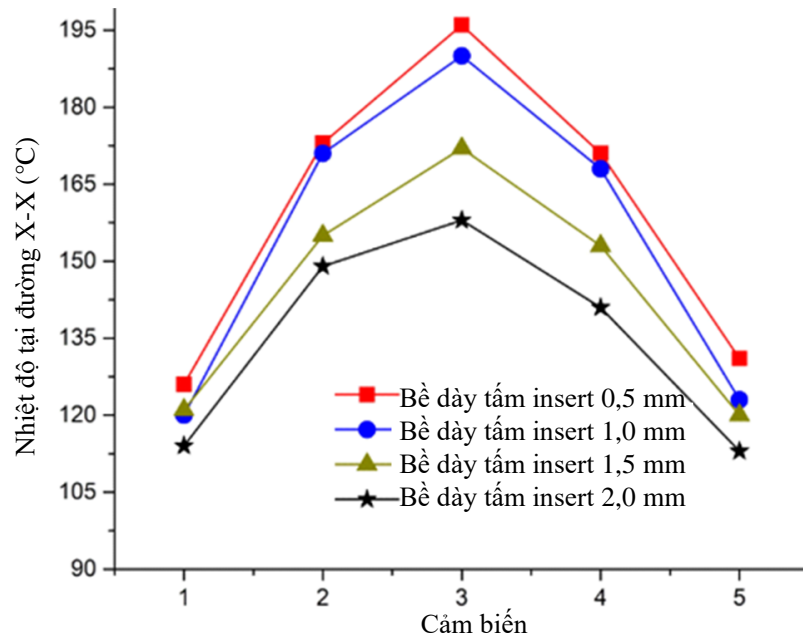
Loại nhựa	Nhiệt độ nóng chảy (°C)	Nhiệt độ đóng rắn (°C)
ABS (Polyflam rabs 90000 UV5)	235	119.85
COC (Apel APL5014DP)	260	169
PA6 (Durethan B 30 S)	260	170
PA6 + 30%GF (Durethan B 30 S)	280	170
PC (Wonderlite PC-110)	290	165
PP (Polyflam Ripp 3625 CS1)	210	121
PS (Polyrex PG-22)	185	105
PVC (Polyvin 6620)	190	110

Thực nghiệm này được lập lại với 4 loại chiều dày khác nhau của tấm insert. Kết quả nhiệt độ từ cảm biến S3 cho thấy tốc độ gia nhiệt là 8,3 °C/s, 8,0 °C/s, 7,1 °C/s and 6,4 °C/s tương ứng với các chiều dày 0,5 mm, 1,0 mm, 1,5 mm, and 2,0 mm. Kết quả này cho thấy với các tấm insert có chiều dày càng lớn, tốc độ gia nhiệt sẽ giảm do cần nhiều nhiệt năng hơn để nâng nhiệt độ của thể tích tấm gia nhiệt.

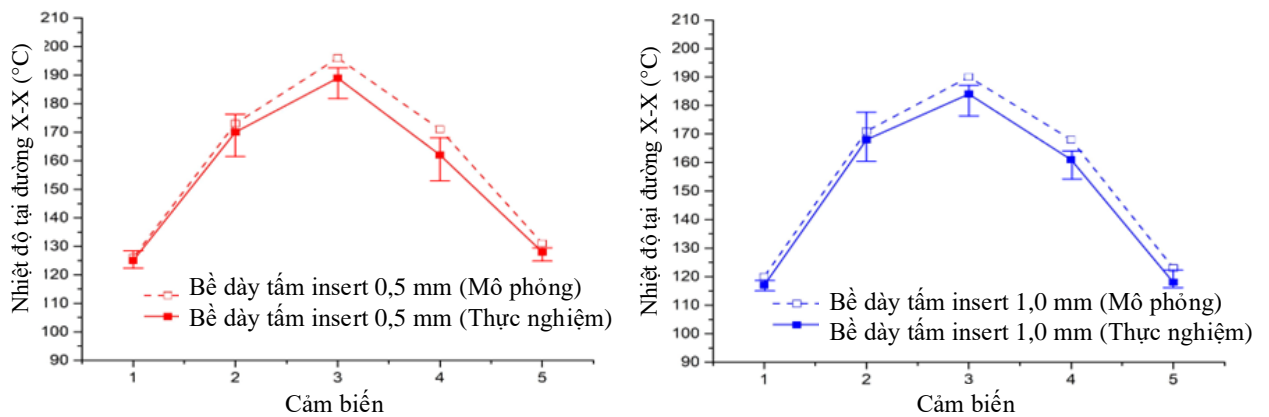
Trong nghiên cứu này, để đánh giá độ đồng đều của nhiệt độ ứng với các chiều dày khác nhau của tấm insert, bằng phương pháp mô phỏng và thực nghiệm, nhiệt độ tại đường X-X (hình 3.6) được thu thập và so sánh thông qua giá trị nhiệt độ của 5 cảm biến. Hình 4.1 trình bày phân bố nhiệt độ có được từ phương pháp mô phỏng. Thông qua thực nghiệm, các kết quả nhiệt độ tại cuối quá trình gia nhiệt được so sánh như hình 4.4 và hình 4.5. Các kết quả này cho thấy nhiệt độ cao nhất đạt được ở vị trí trung tâm của tấm insert, vị trí gần cổng phun khí nóng nhất, trong khí đó, nhiệt độ sẽ giảm dần khi ra gần với biên của tấm insert. Đây là một trong những cải tiến đáng kể so với các dạng phân bố nhiệt độ được công bố trước đây, đặc biệt với phương pháp gia nhiệt bằng khí được tích hợp trong khuôn [96, 97]. Với phân bố nhiệt độ đạt được như hình 4.3, sản phẩm sẽ có khuynh hướng nguội từ phía xa cổng phun đến vị trí gần cổng phun, vì vậy, nhựa sẽ dễ dàng điền đầy lòng

khuôn hơn, đặc biệt với các trường hợp sản phẩm có thành mỏng. Ngoài ra, hình 4.3 còn cho thấy phương pháp Ex-GMTC còn giải quyết được vấn đề nhiệt độ bị giảm tại vị trí trung tâm của lòng khuôn như các trường hợp gia nhiệt bằng từ trường [90, 62, 93]. Kết quả mô phỏng cho thấy khi chiều dày tấm insert tăng từ 0,5 mm đến 2,0 mm, nhiệt độ tại vùng trung tâm (cảm biến S3) sẽ giảm từ 196 °C xuống 158 °C. Sai lệch nhiệt độ giữa các vị trí cảm biến là 70 °C, 72 °C, 52 °C, và 45 °C ứng với chiều dày tấm insert là 0,5 mm, 1,0 mm, 1,5 mm, và 2,0 mm. Sự khác biệt này xảy ra do hiện tượng truyền nhiệt từ vùng có nhiệt độ cao sang vùng có nhiệt độ thấp trong toàn bộ thể tích của tấm insert. Với tấm insert có chiều dày càng nhỏ, nhiệt độ càng tập trung tại vùng trung tâm hơn, tuy nhiên, khi chiều dày tấm insert tăng, nhiệt lượng có khuynh hướng truyền ra các vùng biên của tấm nhanh hơn. Ngoài ra, với tấm insert dày hơn, quá trình gia nhiệt sẽ cần nhiều nhiệt năng hơn để nâng nhiệt độ của tấm tại vùng trung tâm, do đó, với các tấm có chiều dày càng lớn, chênh lệch nhiệt độ sẽ có khuynh hướng thấp hơn các tấm có chiều dày mỏng hơn. Kết quả mô phỏng còn cho thấy tại cuối quá trình gia nhiệt 20 s, nhiệt độ của bề mặt tấm insert nằm trong khoảng 110 °C đến khoảng 200 °C, điều này cũng chứng minh rằng phương pháp Ex-GMTC có thể ứng dụng cho hầu hết các loại nhựa thông dụng hiện nay vì phương pháp này có khả năng nâng nhiệt độ khuôn lên cao hơn nhiệt độ chuyển pha của các loại nhựa này.

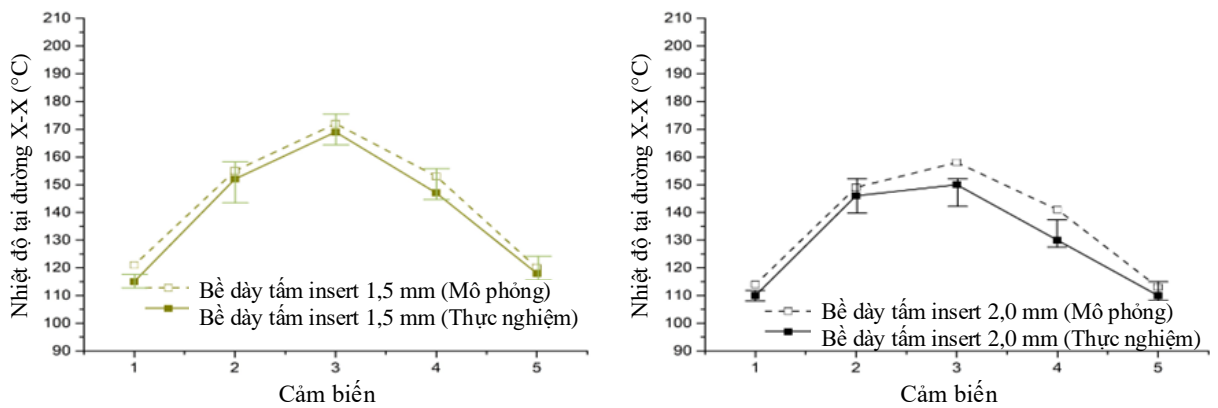
Để đánh giá độ chính xác của kết quả mô phỏng, quá trình thực nghiệm đã được tiến hành với các thông số và điều kiện biên như quá trình mô phỏng. Các thực nghiệm này được tiến hành 10 lần cho mỗi trường hợp chiều dày tấm insert, và giá trị trung bình về nhiệt độ tại các cảm biến được thu thập, tính toán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



Hình 4.3: Nhiệt độ đo tại 5 cảm biến tại đường X – X cuối quá trình gia nhiệt.



Hình 4.4: So sánh kết quả mô phỏng và thực nghiệm với các giá trị nhiệt độ tại đường X – X, bề dày 0,5 mm và 1mm.



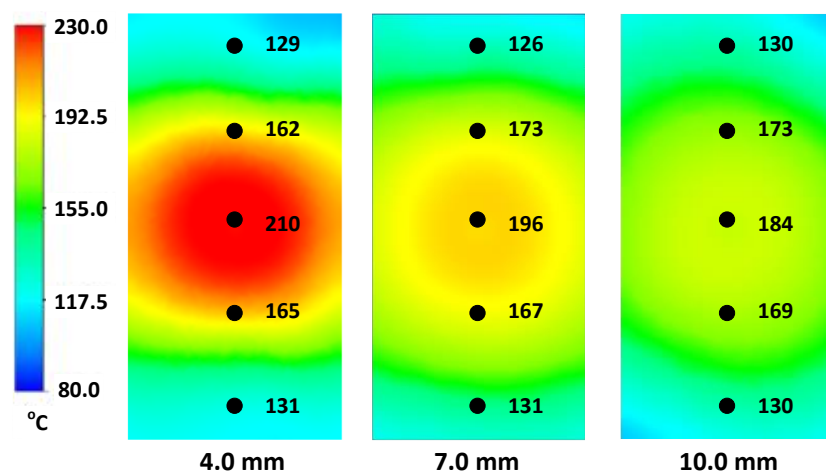
Hình 4.5: So sánh kết quả mô phỏng và thực nghiệm với các giá trị nhiệt độ tại đường X – X, bề dày 1,5 mm và 2 mm.

4.2 Ảnh hưởng của khe hở giữa cổng phun khí nóng và bề mặt khuôn đến nhiệt độ khuôn

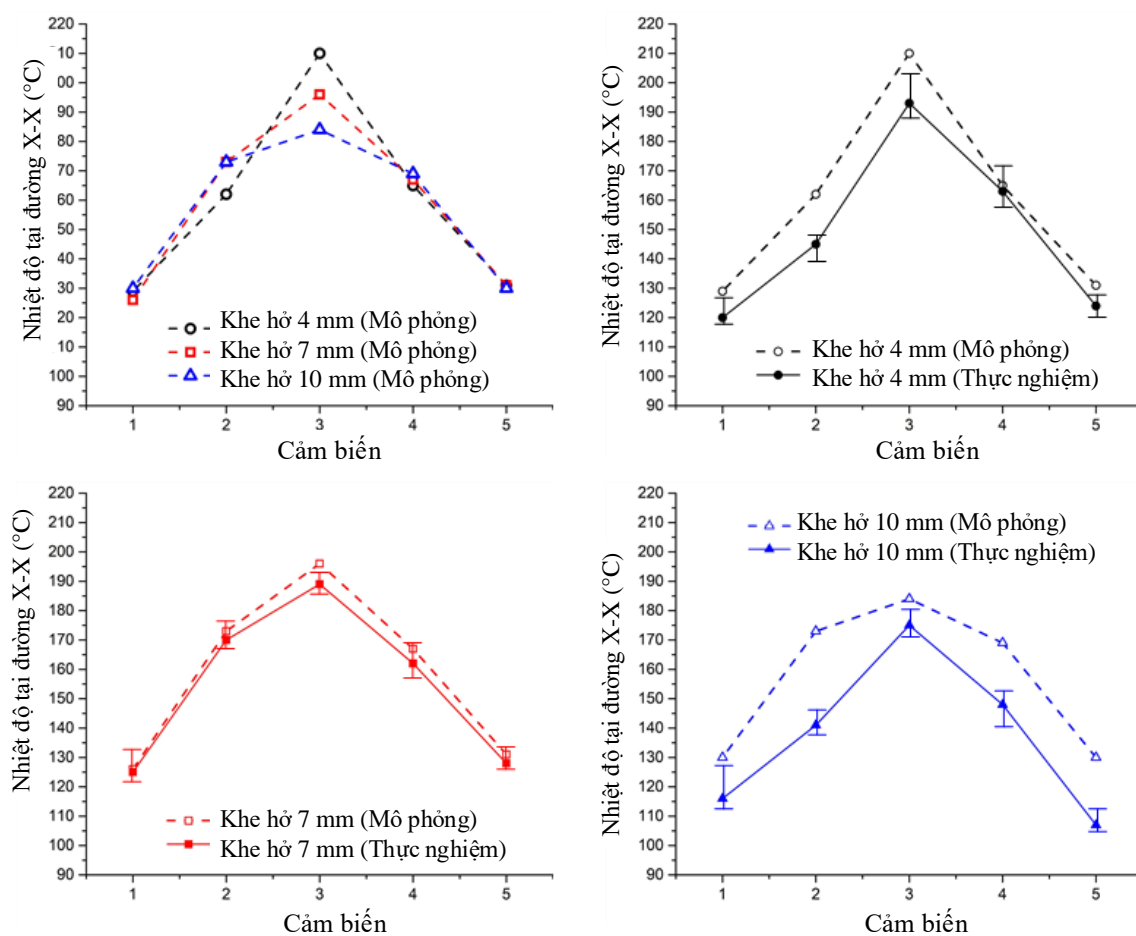
Trong khuôn phun ép nhựa, để gia nhiệt cho bề mặt tấm khuôn dương, bề mặt khuôn thường ở dạng lõm, vì vậy, cổng phun khí nóng có thể dễ dàng tiếp cận với vùng gia nhiệt. Tuy nhiên, các bề mặt thuộc tấm khuôn âm thường có biên dạng lõm và chiều sâu của các bề mặt lõm này phụ thuộc vào chiều cao của sản phẩm. Chính vì vậy, trong nhiều trường hợp, cổng phun khí nóng rất khó có thể tiếp cận với các bề mặt lõm, đặc biệt với lòng khuôn âm. Vì vậy, trong các trường hợp này, khe hở giữa cổng phun khí và bề mặt khuôn sẽ lớn và đây là một trong những thông số sẽ ảnh hưởng lớn đến quá trình gia nhiệt. Do đó, trong luận án này thông số khe hở này sẽ được nghiên cứu với mô hình như hình 3.4 với nhiệt độ khí là 300 °C, chiều dày tấm insert là 0,5 mm và thời gian gia nhiệt là 20 s. Hiện nay, với các sản phẩm nhựa kỹ thuật, chiều cao sản phẩm thường giới hạn đến 10 mm [1], do đó, luận án sẽ nghiên cứu các khe hở thay đổi với các giá trị 4 mm, 7 mm, và 10 mm.

Hình 4.6 trình bày phân bố nhiệt độ của tấm insert ứng với các khe hở từ đầu phun khí đến tấm insert khác nhau. Kết quả này cho thấy với khe hở càng nhỏ, nhiệt độ sẽ tập trung tại vùng trung tâm của tấm insert, kết quả là vùng trung tâm có nhiệt độ cao hơn và chênh lệch nhiệt độ trên bề mặt tấm insert cũng tăng cao. Cụ thể, kết quả mô phỏng cho thấy chênh lệch nhiệt độ tại đường X – X là 81 °C, 70 °C, và 54 °C ứng với các khe hở là 4 mm, 7 mm, và 10 mm. Với tấm insert dày 0,5 mm và thời gian gia nhiệt là 20 s, phân bố nhiệt độ tốt nhất ứng với trường hợp khe hở 10 mm. Kết quả từ hình 4.6 cũng cho thấy với các sản phẩm cần vùng gia nhiệt lớn thì khe hở lớn là một trong những lựa chọn phù hợp hơn. Tuy nhiên, với trường hợp cần vùng gia nhiệt nhỏ, như các sản phẩm dạng micro cho các vi khuôn, khe hở nhỏ sẽ là lựa chọn phù hợp hơn do gia nhiệt nhanh nhờ vào khả năng tập trung nhiệt lượng tại vùng nhỏ hơn. Để kiểm tra độ chính xác của các mô phỏng về khe hở, các thực nghiệm đã được tiến hành với cùng các thông số như mô phỏng. Kết quả so sánh giữa mô phỏng và thực nghiệm được trình bày như hình 4.7. Kết quả này cho thấy thông qua phương pháp mô phỏng, giá trị nhiệt độ, cũng như phân bố nhiệt độ của quá trình gia nhiệt bằng khí nóng từ ngoài (Ex-GMTC) có thể được tính toán và

phân tích được. Từ đó, các thông số phù hợp cho từng loại sản phẩm sẽ được xác định dễ dàng.



Hình 4.6: Phân bố nhiệt độ của tấm insert với khe hở thay đổi từ 4 mm đến 10 mm, thời gian gia nhiệt là 20 s và tấm insert có chiều dày 0,5 mm.



Hình 4.7: Kết quả so sánh nhiệt độ tại đường X – X giữa mô phỏng và thực nghiệm ứng với các khe hở khác nhau.

Với khoảng cách khe hở là 10 mm, sai số giữa mô phỏng và thực nghiệm là khá lớn (khoảng 10%) so với hai trường hợp còn lại là do ảnh hưởng của môi trường trong quá trình thực nghiệm. Khi mô phỏng, điều kiện biên không bao gồm không khí được tạo ra từ các nguồn khác. Tuy nhiên, trong thực nghiệm thực tế, không khí sinh ra từ các nguồn khác đã ảnh hưởng đến dòng chảy của khí nóng làm giảm nồng độ của khí tại bề mặt được gia nhiệt, dẫn đến giảm hiệu suất gia nhiệt. Do đó, nhiệt độ thực tế thấp hơn nhiệt độ thu được trong mô phỏng.

4.3 Kết luận

Thông qua quá trình mô phỏng và thực nghiệm, quá trình gia nhiệt bằng khí nóng cho khuôn phun ép đã được tiến hành nghiên cứu với sự thay đổi của chiều dày tấm insert từ 0,5 mm đến 2 mm và khe hở giữa đầu phun khí nóng và bề mặt khuôn từ 4 mm đến 10 mm. Các kết quả nghiên cứu này cho thấy:

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

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

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

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

- o Tốc độ gia nhiệt: so với phương pháp gia nhiệt bằng điện trở, hơi nước, nước nóng,... tốc độ gia nhiệt của phương pháp phun khí nóng từ ngoài khuôn có thể đạt 8,3 °C/s. Điều này góp phần rút ngắn chu kỳ phun ép [22]

- o Phân bố nhiệt độ: So với các phương pháp gia nhiệt bề mặt, phương pháp được đề xuất trong nghiên cứu này cho thấy khả năng tập trung nhiệt độ tại vùng gia

nhật có kích thước nhỏ (25 mm x 50 mm) khá tốt, đặc biệt với các phương pháp có tốc độ gia nhiệt cao như phương pháp gia nhiệt bằng từ trường [99, 100]. Ngoài ra, so với các phương pháp gia nhiệt thể tích, phương pháp của tác giả còn có ưu thế vượt trội là phần lớn vùng nhiệt độ cao chỉ tập trung tại bề mặt khuôn. Điều này góp phần hạn chế năng lượng cho quá trình gia nhiệt, cũng như hỗ trợ quá trình giải nhiệt (làm nguội) cho khuôn và sản phẩm được dễ dàng hơn.

Chương 5

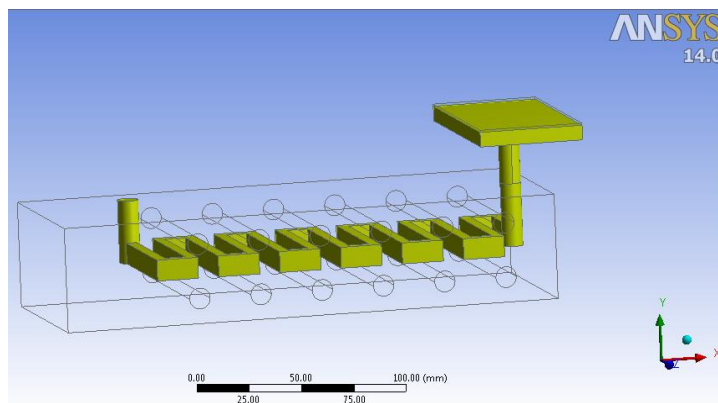
ẢNH HƯỞNG CỦA PHƯƠNG PHÁP GIA NHIỆT BẰNG KHÍ NÓNG ĐẾN ĐỘ BỀN SẢN PHẨM NHỰA DẠNG THÀNH MỎNG

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

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

5.1 Mô phỏng quá trình gia nhiệt cho lòng khuôn.

Quá trình gia nhiệt cho tấm insert bằng khí nóng được tiến hành thông qua việc mô phỏng bằng phần mềm ANSYS CFX với mô hình như hình 5.1. Với mô hình này, khối gia nhiệt được cài đặt ở nhiệt độ 400 °C, không khí được cấp vào khối gia nhiệt có nhiệt độ 30 °C. Tấm insert có nhiệt độ ban đầu là 30 °C. Các thông số mô phỏng khác được trình bày như bảng 5.1.



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

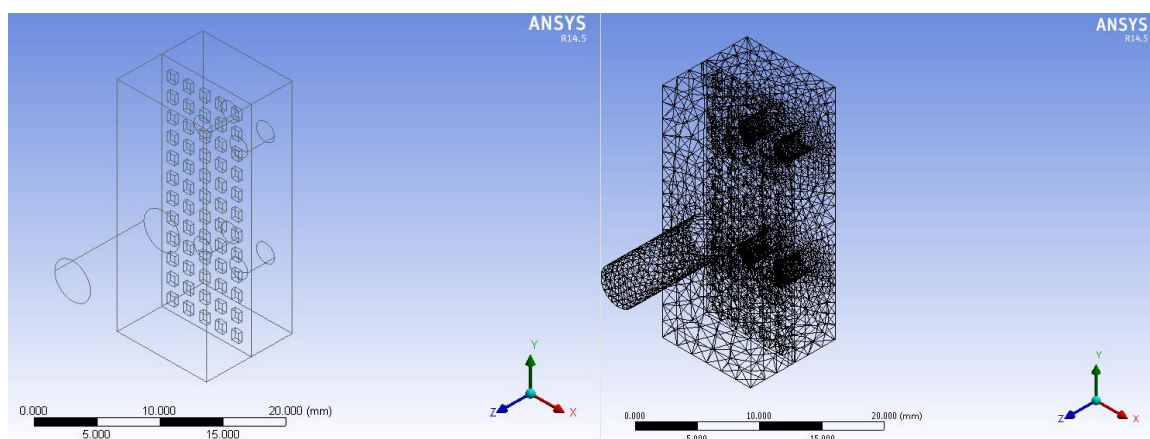
Bảng 5.1: Thông số mô phỏng quá trình gia nhiệt cho tấm insert

Nhiệt độ ban đầu của không khí	30 °C
Nhiệt độ khí phun vào khu vực cần gia nhiệt	400 °C
Khối lượng riêng của khí	1,185 kg/m ³
Nhiệt dung riêng của khí	1004,4 J/kg*K
Hệ số giãn nở vì nhiệt của khí	0,003356 K ⁻¹
Áp suất khí tham khảo	1 atm
Nhiệt độ ban đầu của tấm insert	30 °C
Khối lượng riêng của nhôm	2702 kg/m ³
Nhiệt dung riêng của nhôm	903 J/kg*K
Hệ số dẫn nhiệt của nhôm	237 W/m*K
Hệ số truyền nhiệt từ khối khí sang tấm nhôm	2340 W/m*K
Dạng phân tích nhiệt	Transient (thay đổi theo thời gian)
Các mức thời gian phân tích	0 s • 20 s
Bước tối thiểu cho một mức thời gian phân tích	1 s

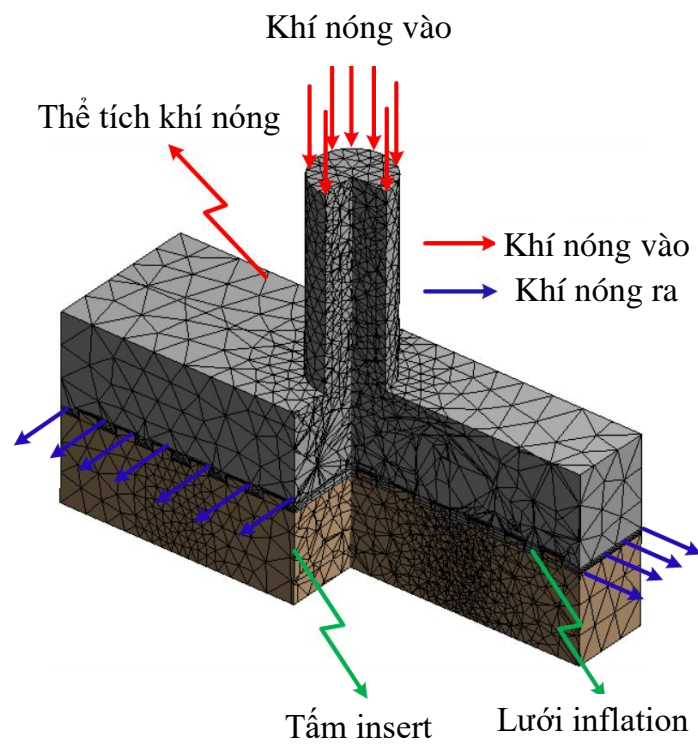
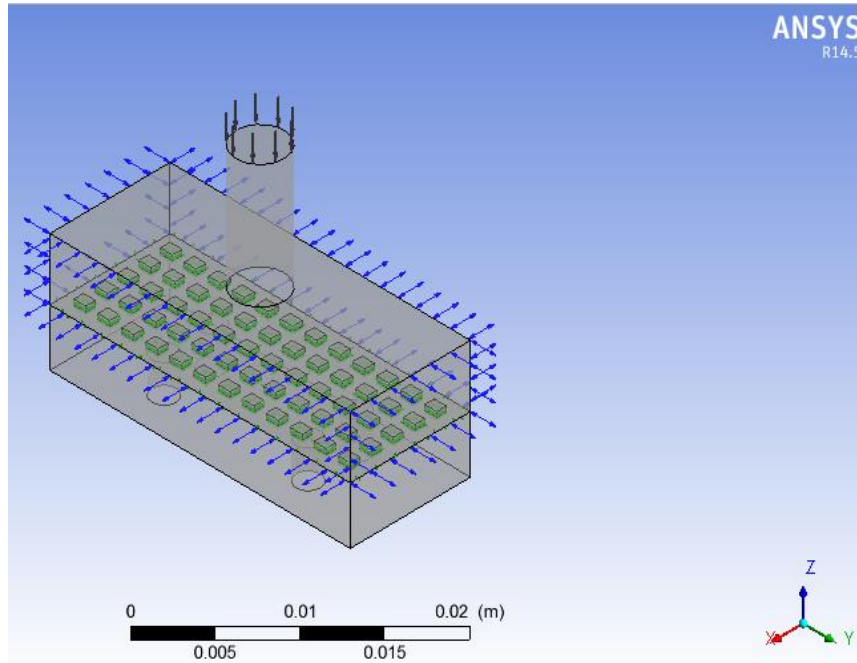
Nhằm kiểm nghiệm khả năng gia nhiệt cho khuôn bằng khí nóng phun từ ngoài, đối với phương pháp này được ứng dụng cho quá trình gia nhiệt lòng khuôn phun ép với sản phẩm là thanh thử độ bền kéo có hình dạng và kích thước như hình 3.5. Với mô hình này, chiều dày của sản phẩm tại vùng phá hủy sẽ được thay đổi với các giá trị lần lượt là 0,4 mm, 0,6 mm và 0,8 mm. Mô hình mô phỏng và mô hình lưới được trình bày như hình 5.2 và hình 5.3. Với mô hình này, quá trình mô phỏng được tiến hành tương tự như mô hình trong Chương 4 với các thông số mô phỏng như bảng 5.1. Tuy nhiên, điều kiện biên được cài đặt như hình 5.3. Trong mô hình phun ép thanh thử độ bền kéo, vì vùng gia nhiệt cho khuôn nhỏ, do đó, chỉ hiệu

suất gia nhiệt cho khuôn được đánh giá thông qua giá trị nhiệt độ cao nhất tại vùng trung tâm của tấm insert.

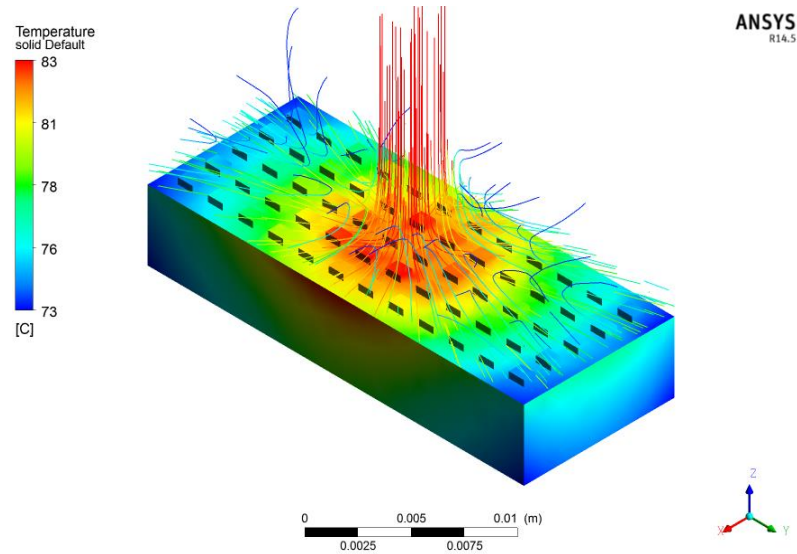
Với việc cài đặt môi trường phân tích và tiến hành giải bài toán truyền nhiệt với các thông số mô phỏng được liệt kê trong bảng 5.1, kết quả mô phỏng như hình 5.4 cho phép đánh giá quá trình truyền nhiệt thông qua kết quả phân tích đáp ứng nhiệt của mô hình. Hình 5.5 cho thấy đáp ứng nhiệt của mô hình ở các mức nhiệt độ dòng khí gia nhiệt khác nhau (thay đổi từ 200 °C đến 400 °C) trong cùng một khoảng thời gian gia nhiệt là 20 s. Các kết quả này cho thấy nhiệt độ cao tập trung tại bề mặt của tấm insert, tại vị trí tạo kết cấu dạng lưới cho sản phẩm nhựa. Với phân bố nhiệt độ này, quá trình giải nhiệt tiếp theo trong chu kỳ phun ép sẽ được thực hiện dễ dàng hơn. Vì vậy, đây cũng là một trong những ưu điểm nổi bật của phương pháp gia nhiệt bằng khí nóng [87 – 90].



Hình 5.2: Mô hình mô phỏng và mô hình lưới của thanh thử độ bền kéo [104]



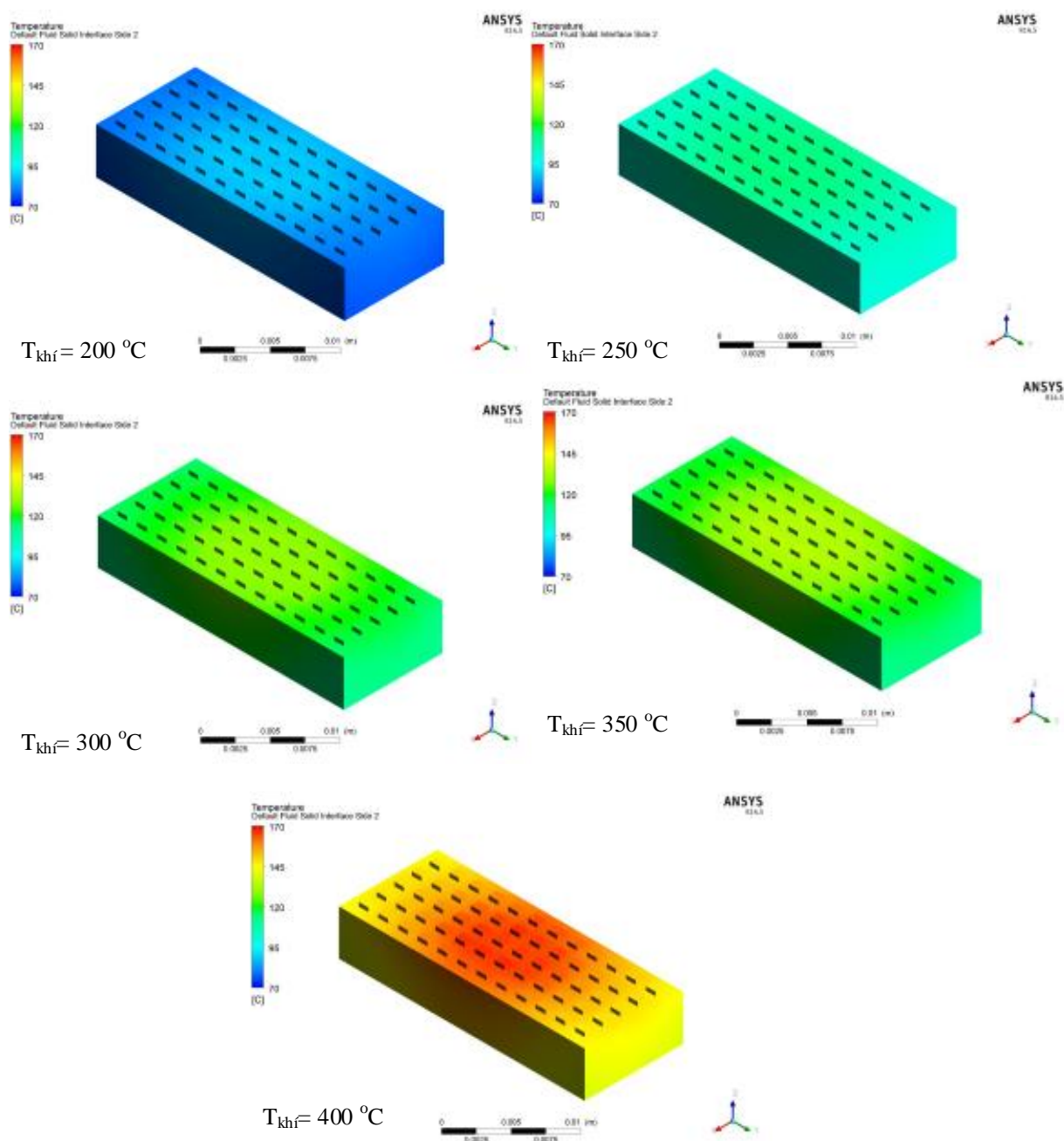
Hình 5.3: Mô hình sau khi chia lưới phần được gia nhiệt thành thử độ bền kéo



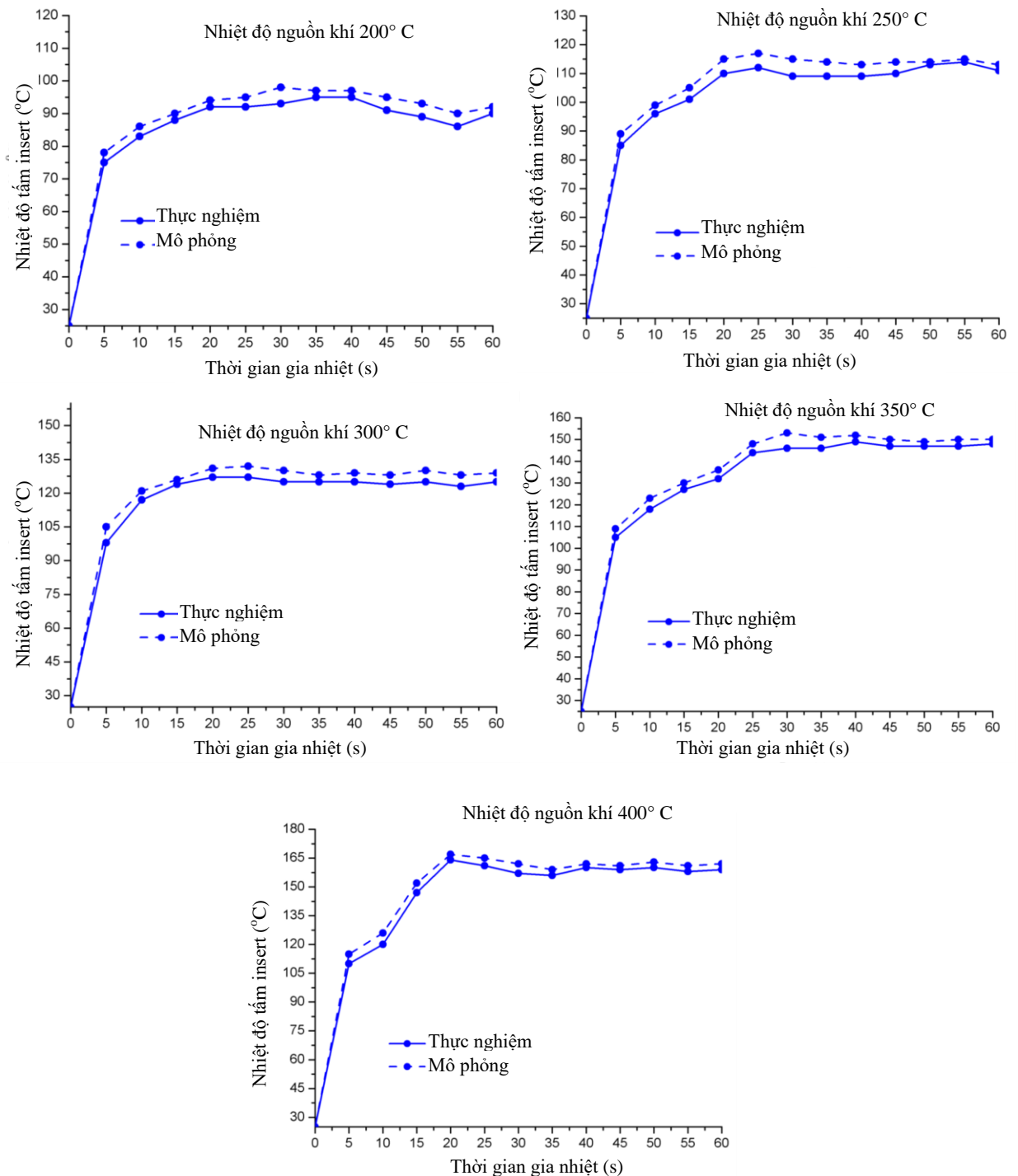
Hình 5.4: Kết quả mô phỏng sự biến thiên nhiệt độ trên bề mặt tấm insert tạo kết cấu lưới khí tiến hành gia nhiệt sử dụng module CFX

Giá trị mô phỏng sự thay đổi nhiệt độ tại bề mặt tấm insert được thu thập và so sánh như hình 5.6. Kết quả mô phỏng cho thấy ứng với các giá trị nhiệt độ của dòng khí nóng, nhiệt độ của bề mặt lòng khuôn sẽ tăng rất nhanh trong 5 s đầu tiên của quá trình gia nhiệt. Sau đó, trong 10 s tiếp theo, nhiệt độ tại bề mặt khuôn sẽ tăng chậm lại. Khi nhiệt độ của dòng khí nóng thay đổi từ 200 °C đến 400 °C, sau 20 s, nhiệt độ của bề mặt khuôn sẽ duy trì ổn định. Điểm khác biệt so với các nghiên cứu trước đây về lĩnh vực gia nhiệt cho khuôn [83, 87, 89], ở phương pháp gia nhiệt bằng khí nóng này, sau thời gian tăng nhiệt độ, nhiệt độ bề mặt khuôn sẽ đạt đến giới hạn, tại trạng thái này, năng lượng hấp thu từ dòng khí nóng của bề mặt khuôn sẽ cân bằng với phần năng lượng truyền vào phần thể tích của khuôn và bằng lượng truyền từ khuôn ra môi trường bên ngoài. Do đó, nhiệt độ tại bề mặt khuôn sẽ được giữ cân bằng. Tùy thuộc vào giá trị nhiệt độ của dòng khí nóng, bề mặt khuôn sẽ đạt đến trạng thái cân bằng với các mức nhiệt độ khác nhau. Cụ thể, khi nhiệt độ dòng khí nóng tăng từ 200 °C đến 400 °C, nhiệt độ cân bằng tại bề mặt khuôn sẽ tăng từ 90 °C đến 160 °C. Kết quả này cũng cho thấy, với nhiệt độ 160 °C, phương pháp gia nhiệt này hoàn toàn có thể đáp ứng yêu cầu gia nhiệt cho khuôn phun ép như các nghiên cứu trước đây đã thực hiện [85 – 88]. Ngoài ra, kết quả so sánh giữa mô phỏng và thực nghiệm ở hình 5.6 cho thấy phương pháp gia nhiệt lòng khuôn

phun ép bằng khí nóng hoàn toàn có thể dự đoán trước bằng phương pháp mô phỏng với sai số nhiệt độ ít hơn 10 °C.



Hình 5.5: Phân bố nhiệt độ tại tấm insert với thời gian gia nhiệt 20 s



Hình 5.6: Nhiệt độ tại tâm tâm insert với thời gian gia nhiệt 20 s

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

Trong các qui trình phun ép nhựa, áp suất tại chu kỳ bão áp (hay áp suất giữ - packing pressure) ảnh hưởng rất lớn đến quá trình tạo hình sản phẩm, cơ tính vật liệu của sản phẩm sau khi ép. Vì vậy, quá trình mô phỏng với các thông số ép không thay đổi, luận án sẽ tiến hành khảo sát sự phân bố áp suất của mẫu thực nghiệm tại

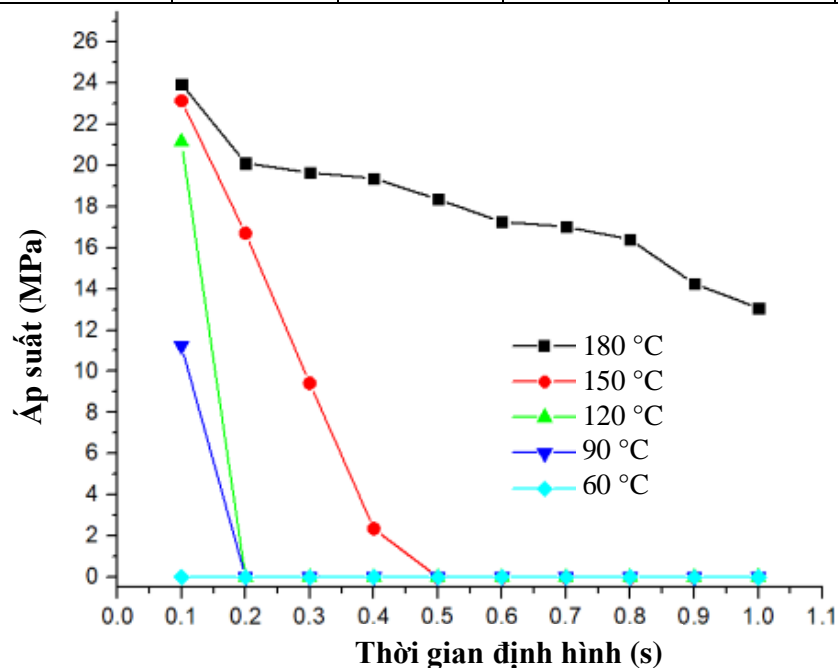
chu kỳ bão áp ở 5 nhiệt độ khuôn khác nhau từ 60 °C đến 180 °C đối với 2 loại nhựa PA6 và PA6+30%GF.

5.2.1 Nhựa PA6

Sau khi tổng hợp và thống kê số liệu mô phỏng trên phần mềm Moldex3D thu được kết quả áp suất tại tâm sản phẩm ứng với thời gian bão áp và nhiệt độ khuôn tương ứng như sau:

Bảng 5.2: Áp suất của sản phẩm với chiều dày lưới 0,4 mm (nhựa PA6)

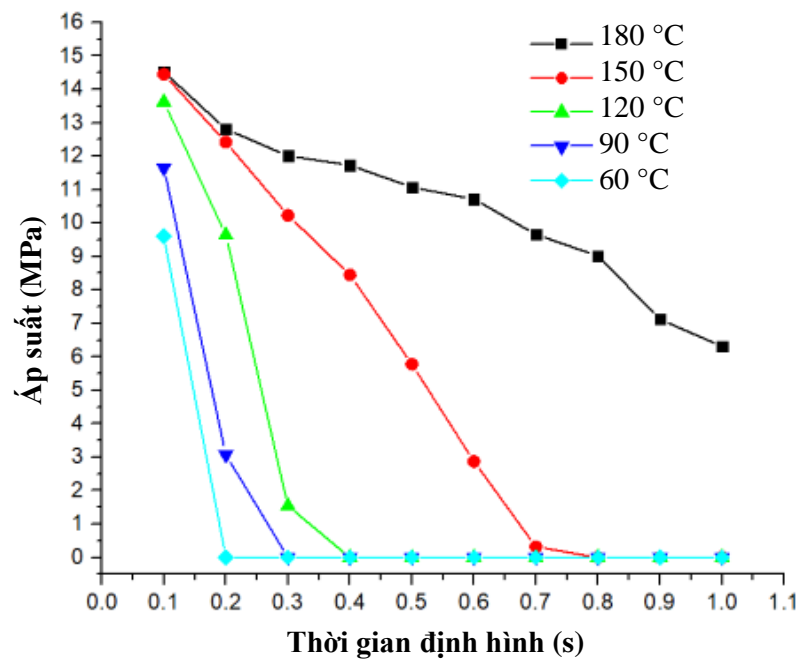
Thời gian bão áp (sau khi điền đầy)	Nhiệt độ khuôn				
	180 °C	150 °C	120 °C	90 °C	60 °C
	Áp suất tại tâm mẫu thử (MPa)				
0,1 s	23,97	23,15	21,15	11,24	0
0,2 s	20,12	16,71	0	0	0
0,3 s	19,65	9,42	0	0	0
0,4 s	20,38	2,35	0	0	0
0,5 s	20,36	0	0	0	0
0,6 s	17,27	0	0	0	0
0,7 s	17,03	0	0	0	0
0,8 s	16,41	0	0	0	0
0,9 s	14,25	0	0	0	0
1 s	13,08	0	0	0	0



Hình 5.7: Biểu đồ so sánh sự phân bố áp suất tại lòng khuôn với nhiệt độ khuôn khác nhau của sản phẩm có chiều dày lưới 0,4 mm (nhựa PA6)

Bảng 5.3: Áp suất của sản phẩm có chiều dày lưới 0,6 mm (nhựa PA6)

Thời gian bão áp (sau khi điền đầy)	Nhiệt độ khuôn				
	180 °C	150 °C	120 °C	90 °C	60 °C
	Áp suất tại tâm mẫu thử (MPa)				
0,1 s	14,52	14,45	13,62	11,65	9,61
0,2 s	12,81	12,42	9,64	3,07	0
0,3 s	12,01	10,23	1,54	0	0
0,4 s	11,73	8,45	0	0	0
0,5 s	11,07	5,78	0	0	0
0,6 s	10,72	2,87	0	0	0
0,7 s	9,66	0,32	0	0	0
0,8 s	9,02	0	0	0	0
0,9 s	7,12	0	0	0	0
1 s	6,31	0	0	0	0

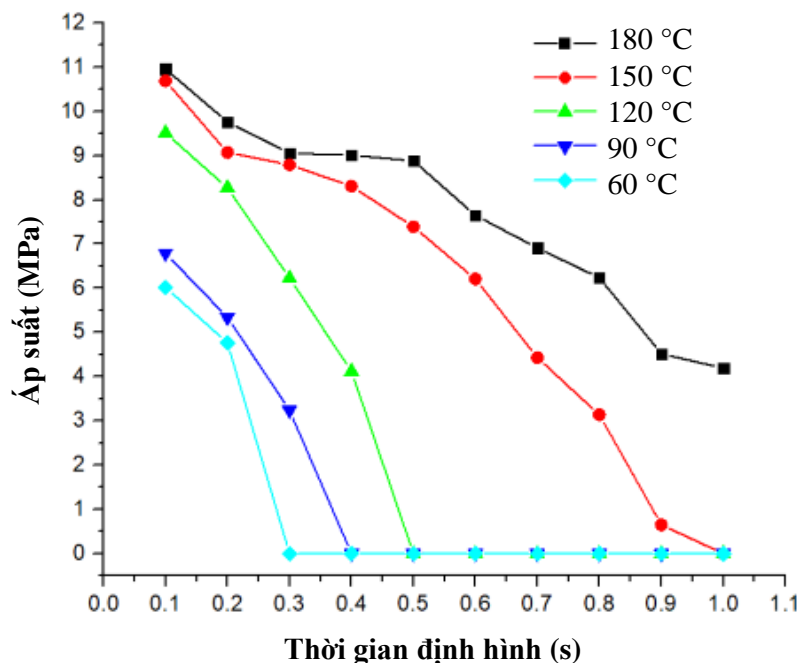


Hình 5.8: Biểu đồ so sánh sự phân bố áp suất tại lòng khuôn với nhiệt độ khuôn khác nhau của sản phẩm có chiều dày lưới 0,6 mm (nhựa PA6)

Bảng 5.4: Áp suất của sản phẩm có chiều dày lưới 0,8 mm (nhựa PA6)

Thời gian bão áp (sau khi điền đầy)	Nhiệt độ khuôn				
	180 °C	150 °C	120 °C	90 °C	60 °C
	Áp suất tại tâm mẫu thử (MPa)				
0,1 s	10,96	10,69	9,51	6,79	6,02
0,2 s	9,76	9,07	8,27	6,79	5,22
0,3 s	9,05	8,79	6,23	3,24	0

0,4 s	9,01	8,31	4,12	0	0
0,5 s	8,88	7,39	0	0	0
0,6 s	7,65	6,21	0	0	0
0,7 s	6,91	4,43	0	0	0
0,8 s	6,24	3,14	0	0	0
0,9 s	4,52	0,65	0	0	0
1 s	4,19	0	0	0	0



Hình 5.9: Biểu đồ so sánh sự phân bố áp suất tại lòng khuôn với nhiệt độ khuôn khác nhau của sản phẩm có chiều dày lưới 0,8 mm (nhựa PA6)

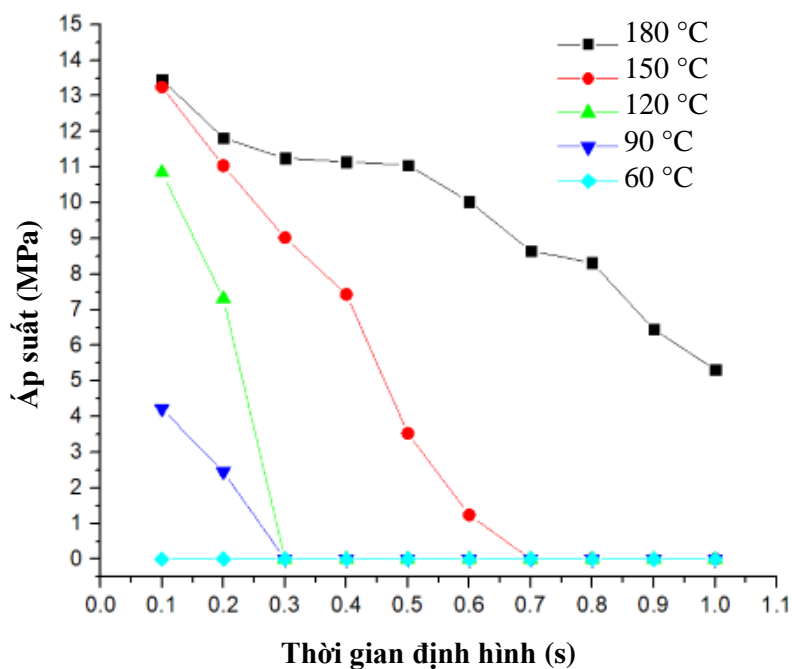
5.2.2 Nhựa PA6+30%GF

Mô phỏng được tiến hành tương tự cho nhựa PA6+30%GF, sau khi tổng hợp và thống kê số liệu trên phần mềm Moldex3D thu được kết quả như sau:

Bảng 5.5: Áp suất của sản phẩm có chiều dày lưới 0,4 mm (nhựa PA6+30%GF)

Thời gian bảo áp (sau khi điền đầy)	Nhiệt độ khuôn (°C)				
	180 °C	150 °C	120 °C	90 °C	60 °C
	Áp suất tại tâm mẫu thử (MPa)				
0,1 s	13,46	13,25	10,85	4,22	0
0,2 s	11,82	11,04	7,31	2,45	0
0,3 s	11,25	9,02	0	0	0
0,4 s	11,15	7,43	0	0	0
0,5 s	11,06	3,53	0	0	0
0,6 s	10,04	1,24	0	0	0

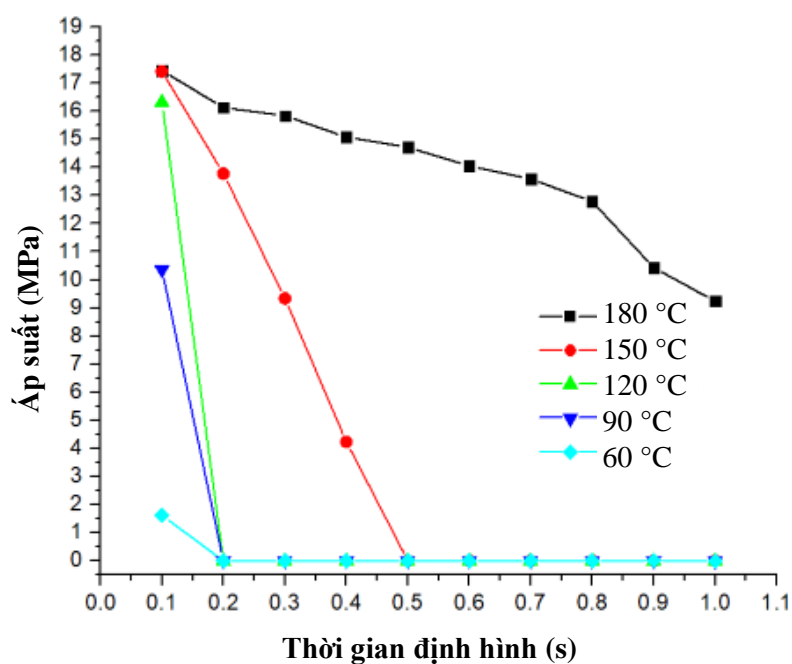
0,7 s	8,65	0	0	0	0
0,8 s	8,32	0	0	0	0
0,9 s	6,45	0	0	0	0
1 s	5,32	0	0	0	0



Hình 5.10: Biểu đồ so sánh sự phân bố áp suất tại lòng khuôn với nhiệt độ khuôn khác nhau của sản phẩm có chiều dày lưới 0,4 mm (PA6+30%GF)

Bảng 5.6: Áp suất của sản phẩm có chiều dày lưới 0,6 mm (nhựa PA6+30%GF)

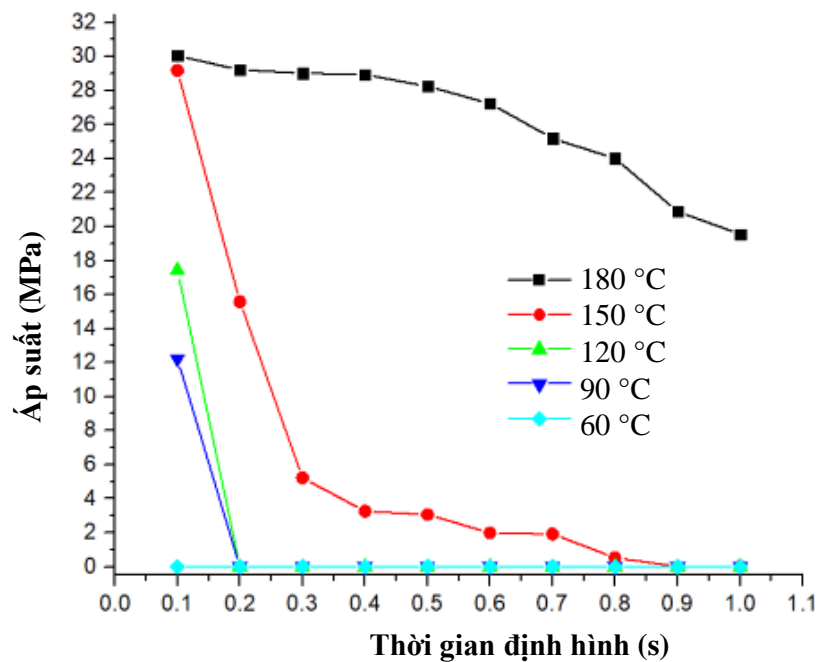
Thời gian bảo áp (sau khi điền đầy)	Nhiệt độ khuôn				
	180 °C	150 °C	120 °C	90 °C	60 °C
	Áp suất tại tâm mẫu thử (MPa)				
0,1 s	17,45	17,42	16,32	10,36	1,62
0,2 s	16,13	13,78	0	0	0
0,3 s	15,84	9,34	0	0	0
0,4 s	15,08	4,23	0	0	0
0,5 s	14,72	0	0	0	0
0,6 s	14,05	0	0	0	0
0,7 s	13,59	0	0	0	0
0,8 s	12,79	0	0	0	0
0,9 s	10,43	0	0	0	0
1 s	9,24	0	0	0	0



Hình 5.11: Biểu đồ so sánh sự phân bố áp suất tại lòng khuôn với nhiệt độ khuôn khác nhau của sản phẩm có chiều dày lưới 0,6 mm (PA6+30%GF)

Bảng 5.7: Áp suất của sản phẩm có chiều dày lưới 0,8 mm (nhựa PA6+30%GF)

Thời gian bảo áp (sau khi điền đầy)	Nhiệt độ khuôn				
	180 °C	150 °C	120 °C	90 °C	60 °C
	Áp suất tại tâm mẫu thử (MPa)				
0,1 s	30,05	29,18	17,44	12,23	0
0,2 s	29,23	15,58	0	0	0
0,3 s	29,03	5,22	0	0	0
0,4 s	28,94	3,26	0	0	0
0,5 s	28,25	3,06	0	0	0
0,6 s	27,25	1,99	0	0	0
0,7 s	25,19	1,92	0	0	0
0,8 s	24,01	0,53	0	0	0
0,9 s	20,89	0	0	0	0
1 s	19,56	0	0	0	0



Hình 5.12: Biểu đồ so sánh sự phân bố áp suất tại lòng khuôn với nhiệt độ khuôn khác nhau của sản phẩm có chiều dày lưới 0,8 mm (nhựa PA6+30% GF).

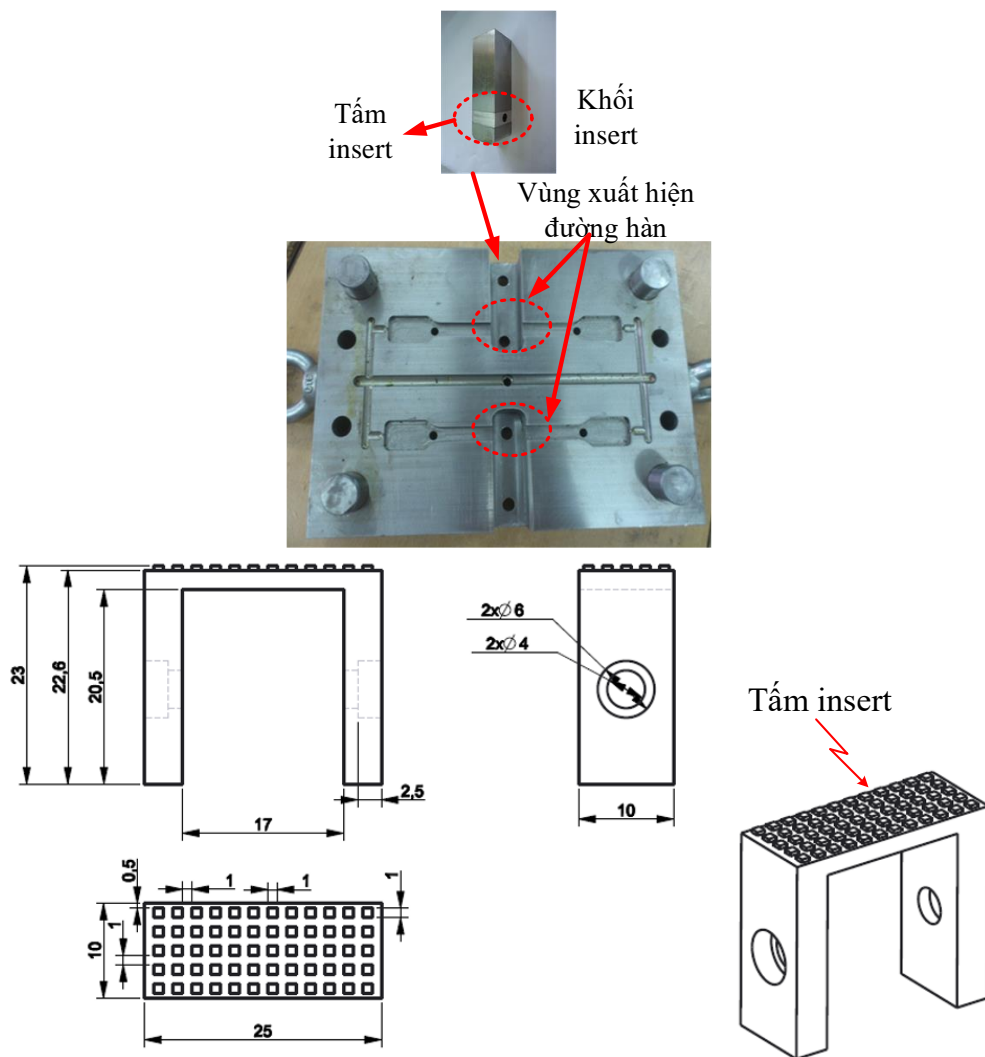
5.2.3 Nhận xét

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

- Với giá trị áp suất định hình (packing pressure) trình bày như các hình 5.7 đến hình 5.12, có thể thấy độ giảm của áp suất định hình theo thời gian từ 0,1 s đến 1 s. Nhìn chung, các kết quả này cho thấy khi nhiệt độ khuôn càng cao, áp suất định hình sẽ được giữ lâu hơn, giúp nhiều nhựa được ép vào lòng khuôn hơn. Điều này có thể giải thích dựa vào hiện tượng đông đặc của nhựa khi tiếp xúc với lòng khuôn. Khi nhiệt độ khuôn cao, hiện tượng đông đặc có khuynh hướng diễn ra chậm hơn, do đó, nhựa sẽ ở trạng thái lỏng lâu hơn, và kết quả là áp suất tác động tại vị trí đường hàn được giữ ở mức cao trong khoảng thời gian lâu hơn so với trường hợp nhiệt độ khuôn thấp.

- Ngoài ra, khi chiều dày sản phẩm càng nhỏ, áp suất định hình giảm càng nhanh hơn. Điều này là do chiều dày dòng chảy nhựa mỏng, nhiệt lượng truyền ra ngoài sẽ nhanh hơn, và quá trình đông đặc sẽ nhanh hơn so với trường hợp sản phẩm có chiều dày lớn hơn. Tuy nhiên, khi áp dụng bước gia nhiệt cho lòng khuôn, áp suất định hình vẫn có thể được giữ ở mức cao, đặc biệt với trường hợp sản phẩm dày 0.4 mm như hình 5.7 và hình 5.10.
- Kết quả mô phỏng này cũng cho thấy phương pháp gia nhiệt bề mặt lòng khuôn bằng khí nóng có khả năng tác động khá tốt đến sự thay đổi của áp suất định hình. Đây là một trong những cơ sở quan trọng để cải thiện độ bền của sản phẩm phun ép.

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



Hình 5.13: Lòng khuôn cho quá trình thực nghiệm [104]

Trong phần này, nhằm kiểm nghiệm các kết quả mô phỏng, cũng như các kết quả về độ bền của sản phẩm, mô hình khuôn với sản phẩm là thanh thử độ bền kéo được sử dụng cho quá trình thực nghiệm. Hình 5.13 trình bày tấm khuôn âm với các kết cấu để lắp tấm insert vào lòng khuôn.

Phục vụ cho quá trình thực nghiệm ảnh hưởng của phương pháp gia nhiệt bằng khí đến độ bền của sản phẩm nhựa, quá trình thực nghiệm sẽ sử dụng các thiết bị như sau:

- Tay máy gia nhiệt
- Nguồn khí
- Thiết bị đo nhiệt: Cảm biến đo nhiệt độ và camera hồng ngoại

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

Để khảo sát phân bố nhiệt độ của quá trình gia nhiệt cho tấm insert, quá trình gia nhiệt được thực nghiệm với mô hình khuôn như hình 5.13 và camera hồng ngoại giúp giám sát phân bố nhiệt độ tại bề mặt khuôn. Góc chụp phân bố nhiệt độ được trình bày như hình 5.14. Các giá trị nhiệt độ được thu thập như bảng 5.8 và so sánh với kết quả thí nghiệm như hình 5.6. Kết quả so sánh giữa thực nghiệm và mô phỏng cho thấy khả năng dự đoán nhiệt độ của quá trình Ex-GMTC cho khuôn phun ép là rất tốt.

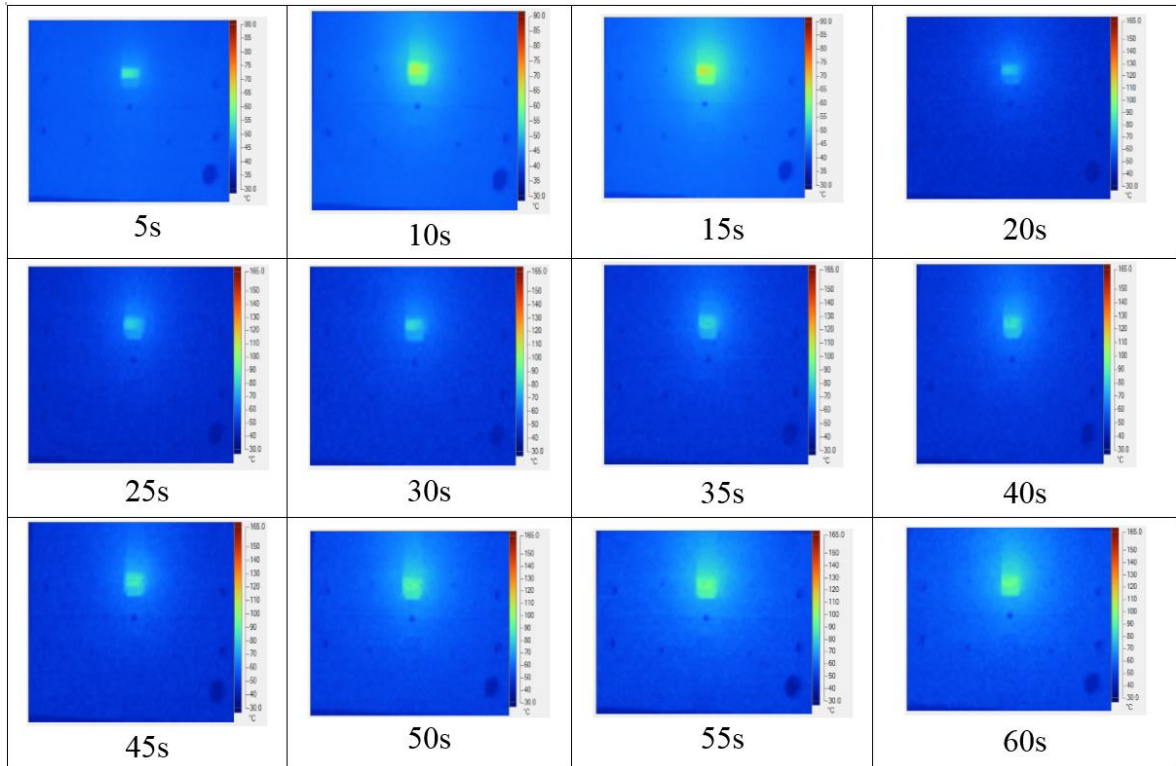


Hình 5.14: Tấm khuôn chụp phân bố nhiệt độ

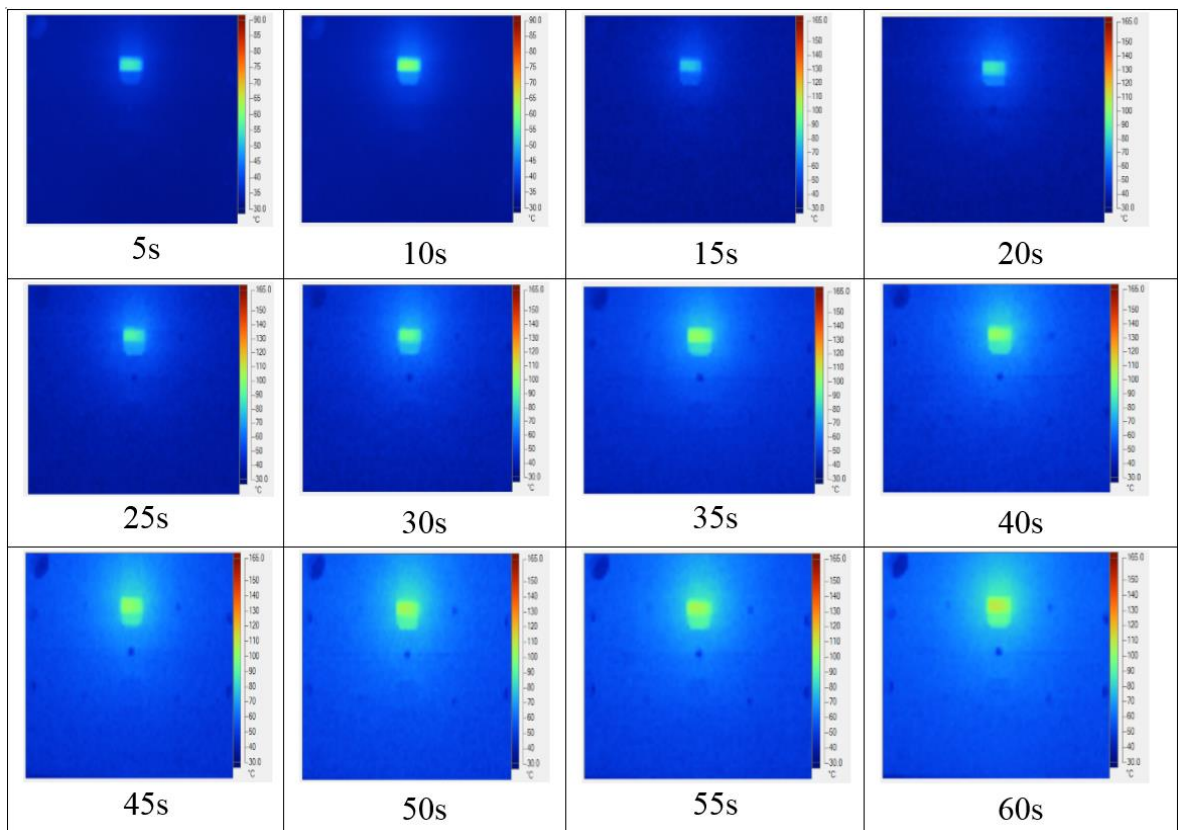
Ngoài ra, thông qua camera hồng ngoại, phân bố nhiệt độ tại bề mặt tấm khuôn cũng được thu thập và trình bày như hình 5.15 đến hình 5.19. Các kết quả này cho thấy khả năng gia nhiệt cục bộ của phương pháp Ex-GMTC khá tốt. Cụ thể, nhiệt độ chỉ tập trung tại vị trí xuất hiện đường hàn, ngoài ra, các vị trí khác nhiệt độ được giữ ở mức thấp. Đây là một trong những ưu điểm của phương pháp gia nhiệt bằng khí nóng nói riêng và gia nhiệt bề mặt nói chung. Chính vì đặc điểm này, sau khi gia nhiệt và nhựa được điền đầy lòng khuôn, bước giải nhiệt cho lòng khuôn sẽ được tiến hành dễ dàng với vùng nhiệt độ cao rất nhỏ so với toàn bộ thể tích tấm khuôn. Ngoài ra, về khía cạnh tiết kiệm năng lượng, phân bố nhiệt độ tại bề mặt tấm khuôn cũng cho thấy gần như tất cả nhiệt năng của quá trình gia nhiệt chỉ tập trung tại vùng cần gia nhiệt, điều này cho thấy hiệu quả của phương pháp gia nhiệt Ex-GMTC là rất tốt.

Bảng 5.8: Giá trị nhiệt độ tại tâm của tấm insert trong quá trình gia nhiệt với các nguồn khí nóng khác nhau

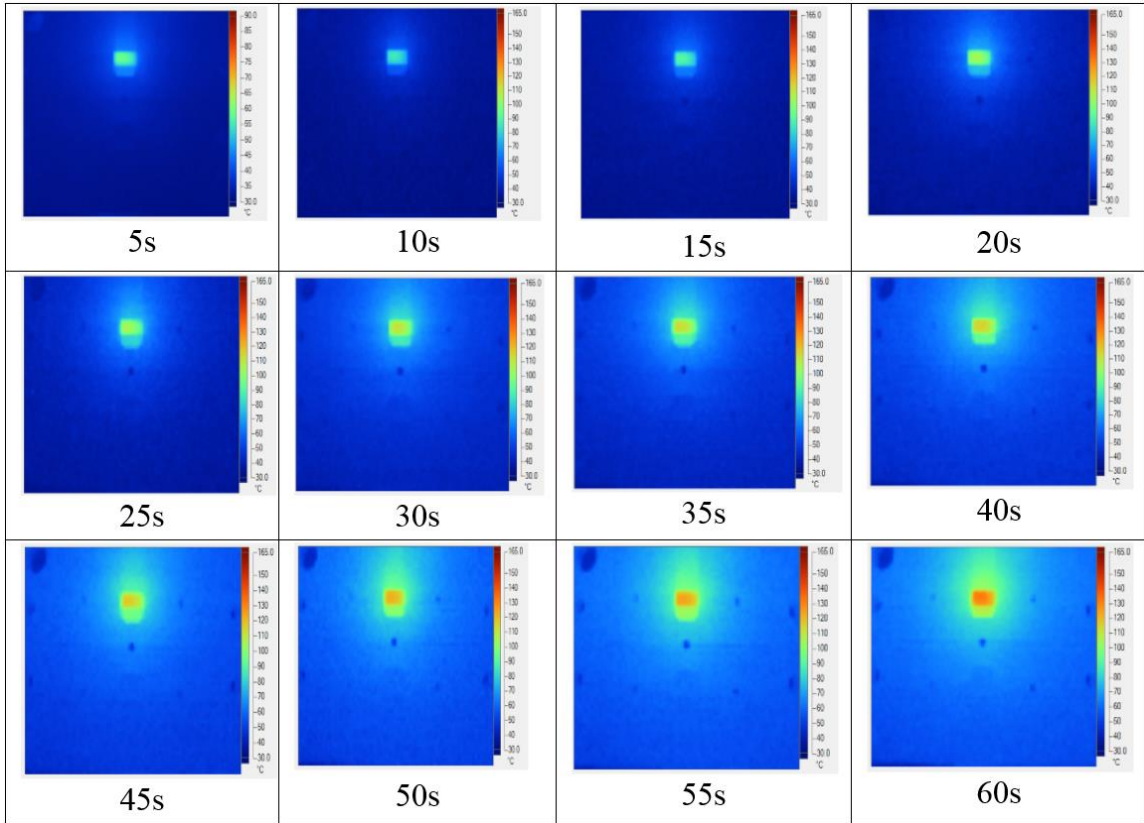
Thời gian gia nhiệt	200 °C	250 °C	300 °C	350 °C	400 °C
5s	51,7	55,1	59,5	76,1	89,6
10s	62,5	70,7	88,1	93,7	110,9
15s	65,1	79,1	94,6	103,2	124,3
20s	77,5	86,5	100,2	115,1	132,3
25s	79,3	88,3	105,7	120,5	138,8
30s	79,8	95,1	108,2	124,1	145,7
35s	81,2	99,3	111,4	131,7	148,2
40s	84,1	99,8	113,4	136,8	150,4
45s	88,6	102,2	116,8	143,1	154,4
50s	90,4	103,9	122,1	146	156,7
55s	92,3	104,6	123,5	150,4	160,7
60s	96	106,7	128,3	152,37	163,9



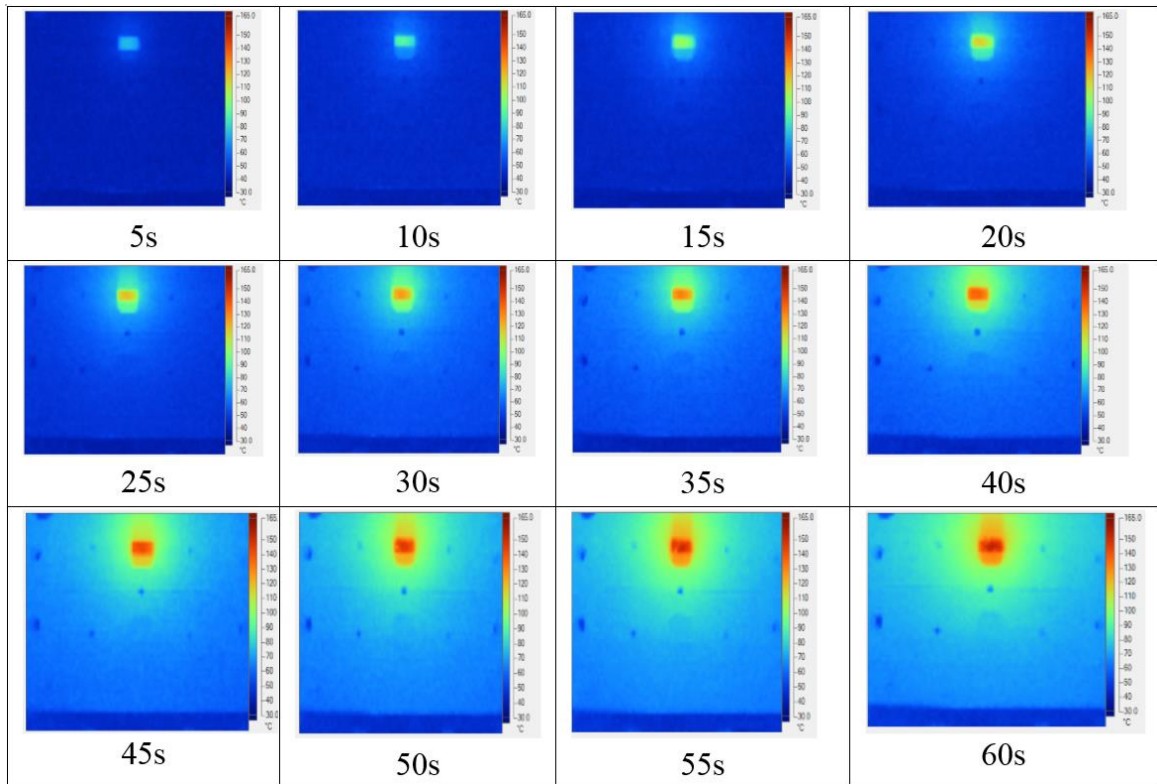
Hình 5.15: Phân bố nhiệt độ tại bề mặt khuôn khi gia nhiệt với nguồn khí 200 °C



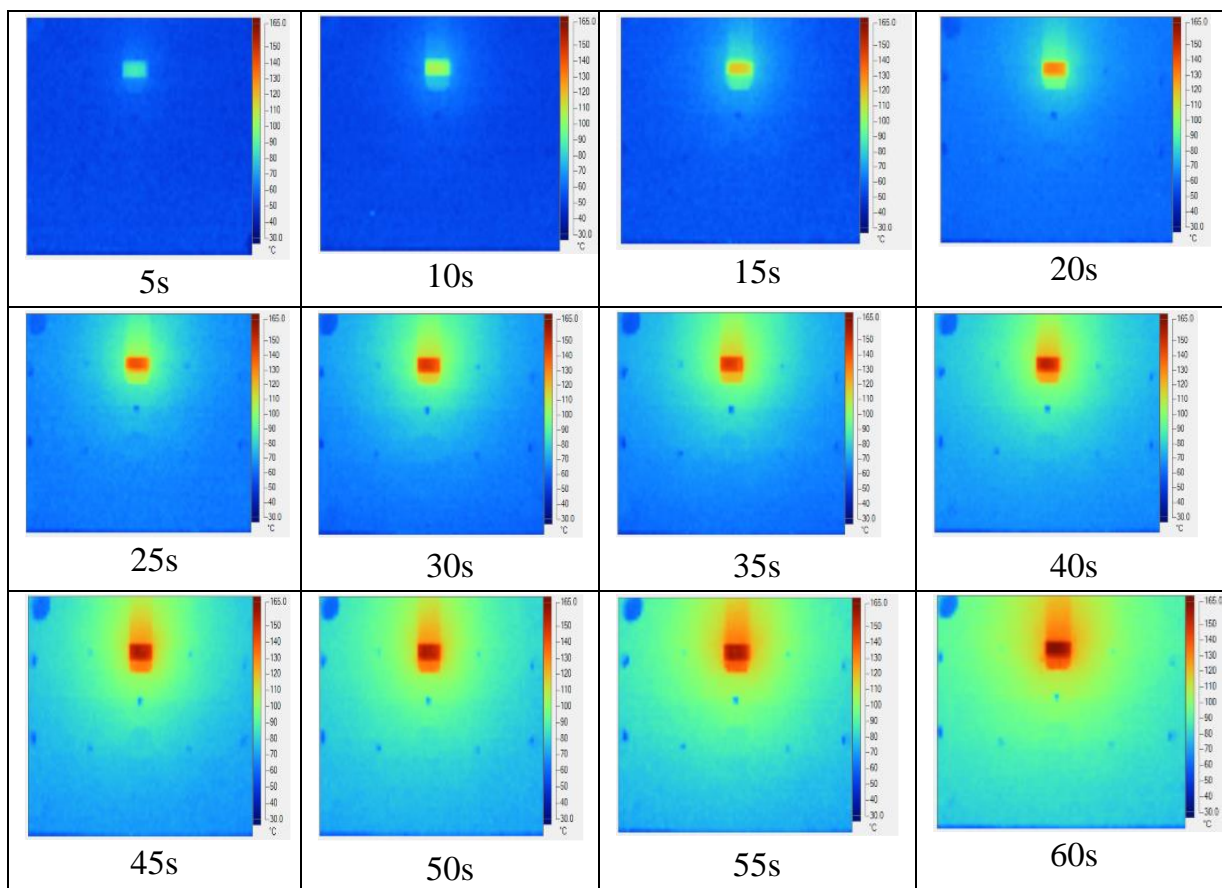
Hình 5.16: Phân bố nhiệt độ tại bề mặt khuôn khi gia nhiệt với nguồn khí 250 °C



Hình 5.17: Phân bố nhiệt độ tại bề mặt khuôn khi gia nhiệt với nguồn khí 300 °C



Hình 5.18: Phân bố nhiệt độ tại bề mặt khuôn khi gia nhiệt với nguồn khí 350 °C



Hình 5.19: Phân bố nhiệt độ tại bề mặt khuôn khi gia nhiệt với nguồn khí 400 °C

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

Để khảo sát ảnh hưởng của quá trình gia nhiệt bằng khí nóng đến độ bền của sản phẩm, các mẫu như hình 3.1 được tiến hành phun ép với các giá trị nhiệt độ tấm insert khác nhau. Thông số phun ép mẫu thử kéo 2 loại vật liệu (PA6 và PA6+30%GF) như bảng 5.9:

Bảng 5.9: Thông số phun ép vật liệu nhựa PA6 và PA6+30%GF

Thông số phun ép	PA6	PA6+30%GF
Nhiệt độ nhựa	260 °C	280 °C
Áp suất phun	65 kg/cm ²	65 kg/cm ²
Tốc độ phun	58 cm ³ /s	58 cm ³ /s
Thời gian phun	2 s	2 s
Bão áp	1 s	1 s
Nhiệt độ lòng khuôn	30 °C, 60 °C, 90 °C, 120 °C, 150 °C	30 °C, 60 °C, 90 °C, 120 °C, 150 °C

Quá trình thực nghiệm phun ép với các giá trị nhiệt độ khuôn 30 °C, 60 °C, 90 °C, 120 °C và 150 °C, theo bảng 5.8, nhiệt độ khuôn 30 °C là trường hợp không gia nhiệt khuôn; các trường hợp còn lại là có gia nhiệt khuôn bằng khí nóng, để nhiệt độ khuôn đạt 60 °C thì dùng khí có nhiệt độ 300 °C và gia nhiệt trong 5s; để nhiệt độ khuôn đạt 90 °C thì dùng khí có nhiệt độ 400 °C và gia nhiệt trong 5s; để nhiệt độ khuôn đạt 120 °C thì dùng khí có nhiệt độ 350 °C và gia nhiệt trong 25s; để nhiệt độ khuôn đạt 150 °C thì dùng khí có nhiệt độ 400 °C và gia nhiệt trong 40s;

Trong quá trình phun ép, với mỗi trường hợp nhiệt độ, 10 chu kỳ đầu tiên sẽ được bỏ, sau đó, 10 mẫu của 10 chu kỳ tiếp theo sẽ được thu thập và đánh ký hiệu nhằm phục vụ cho quá trình kiểm tra độ bền kéo ở bước kế tiếp. Các mẫu sau khi phun ép có hình dạng như hình 5.20. Sau khi phun ép, 5 mẫu của mỗi trường hợp sẽ được tiến hành kiểm tra kéo đứt để kiểm tra độ bền kéo của sản phẩm. Kết quả thử kéo cho các trường hợp được thể hiện trong bảng 5.10 cho nhựa PA6 và bảng 5.11 cho nhựa PA6+30%GF.



Hình 5.20: Sản phẩm có chiều dày lưới 0,4 mm ứng với các mức nhiệt độ lòng khuôn 30 °C, 60 °C, 90 °C, 120 °C và 150 °C

Kết quả thử kéo được tổng hợp và so sánh thông qua 2 biểu đồ như hình 5.21 và hình 5.22. Kết quả này cho thấy ảnh hưởng rõ rệt của nhiệt độ tấm insert và chiều dày lưới đến khả năng chịu lực kéo của sản phẩm.

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

- Trong cùng một nhiệt độ lòng khuôn (hình 5.21): khi tăng chiều dày lưới thì khả năng chịu lực kéo của sản phẩm tăng lên. Ở nhiệt độ lòng khuôn 60 °C, với

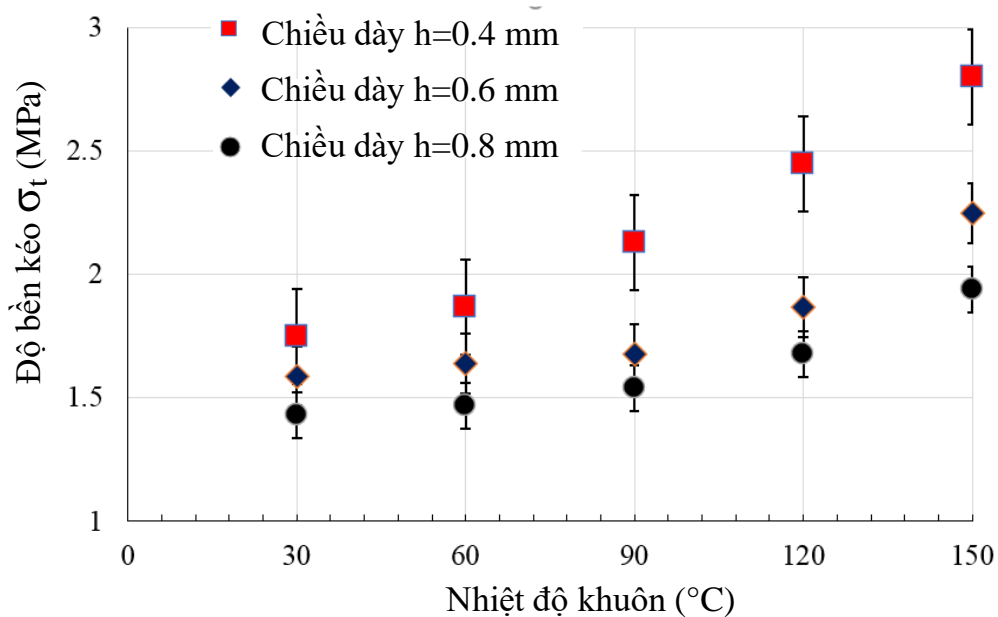
chiều dày lưới 0,4 mm lực kéo tương ứng là 7 kgf, khi tăng chiều dày lưới lên 0,6 mm thì lực kéo tăng lên 7,5 kgf, tăng 6,83 %. Tuy nhiên, mức độ tăng của độ bền kéo ngày càng rõ rệt, đặc biệt với vùng nhiệt độ tẩm insert cao hơn 120 °C.

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

+ Đối với các sản phẩm được ép từ nhựa PA6+30%GF: do có trộn thêm sợi thủy tinh trong thành phần hạt nhựa nên các sản phẩm này có khả năng chịu lực kéo cao hơn so với các sản phẩm được ép từ nhựa PA6. Xét ở cùng nhiệt độ lòng khuôn 30 °C và chiều dày lưới là 0,4 mm, độ bền kéo của mẫu sản phẩm PA6 là 1,75 MPa trong khi mẫu sản phẩm PA6+30%GF là 2,51 MPa. Hiện tượng độ bền của sản phẩm tăng khi phun ép với nhiệt độ tẩm insert cao hơn cũng xuất hiện với vật liệu composite này.

Bảng 5.10: Kết quả thử độ bền kéo của sản phẩm bằng nhựa PA6

Chiều dày (mm)	Nhiệt độ khuôn (°C)	Lực kéo (kgf)						Độ bền kéo (MPa)
		Mẫu 1	Mẫu 2	Mẫu 3	Mẫu 4	Mẫu 5	TB	
0,4	30	7,3	6,75	7,58	7,45	6,01	7,0	1,75
	60	8,45	7,35	7,15	7,02	7,52	7,5	1,87
	90	8,32	9,55	7,95	8,3	8,45	8,5	2,13
	120	9,4	9,23	9,7	10,23	10,35	9,8	2,45
	150	11,3	11,05	11,09	11,52	11,02	11,2	2,80
0,6	30	9,75	9,74	10,05	9,32	8,96	9,6	1,59
	60	9,23	9,75	9,84	10,23	10,15	9,8	1,64
	90	10,9	10,31	9,25	9,86	9,95	10,1	1,68
	120	11,95	11,42	10,8	10,95	10,99	11,2	1,87
	150	14,45	13,55	13,1	13,05	13,24	13,5	2,25
0,8	30	10,58	11,75	12,08	11,56	11,25	11,4	1,43
	60	11,2	11,89	11,62	11,89	12,35	11,8	1,47
	90	12,75	12,05	12,06	12,25	12,68	12,4	1,54
	120	13,68	13,05	13,82	13,35	13,32	13,4	1,68
	150	15,05	15,25	15,32	15,95	15,85	15,5	1,94



Hình 5.21: Độ bền kéo của sản phẩm thành mỏng bằng nhựa PA6

- ❖ Sử dụng bảng 5.10 để tìm ra phương trình hồi quy về mối liên hệ giữa độ bền kéo của nhựa **PA6** với nhiệt độ khuôn và chiều dày sản phẩm bằng phần mềm **Minitab** như sau:

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

Trong đó:

σ_t : Độ bền kéo (MPa)

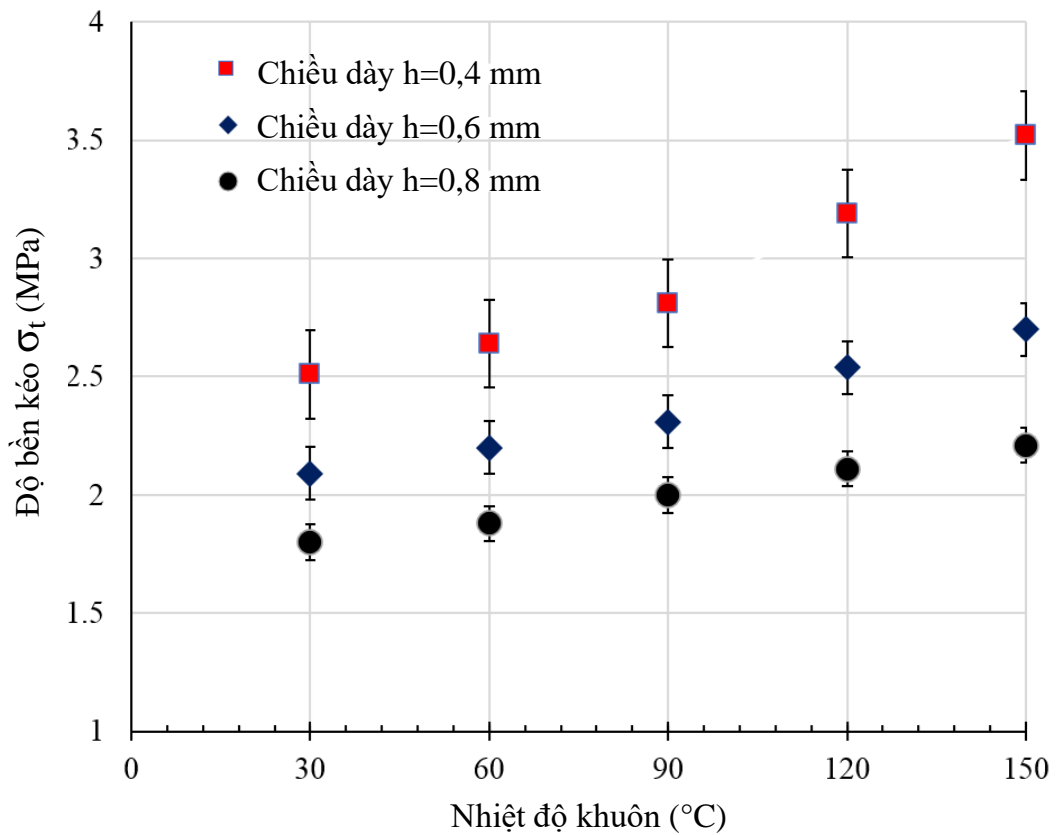
T: Nhiệt độ khuôn (°C)

h: Chiều dày sản phẩm (mm)

Phương trình hồi quy này được kiểm nghiệm độ chính xác trên phần mềm **Minitab** với độ tin cậy R-sq (ajd) = 92,95 % (Phụ lục 4). Vì vậy, phương trình này có thể được sử dụng để dự đoán cho các trường hợp sản phẩm nhựa PA6 với nhiệt độ và chiều dày khác nhau.

Bảng 5.11: Kết quả thử độ bền kéo của sản phẩm bằng nhựa PA6+30%GF

Chiều dày (mm)	Nhiệt độ khuôn (°C)	Lực kéo (kgf)						Độ bền kéo (MPa)
		Mẫu 1	Mẫu 2	Mẫu 3	Mẫu 4	Mẫu 5	TB	
0,4	30	10,45	9,86	10,25	10,33	9,25	10,0	2,51
	60	10,58	10,42	10,86	11,02	9,85	10,5	2,64
	90	11,50	11,42	11,56	10,95	10,84	11,3	2,81
	120	12,82	12,64	12,89	12,43	13,05	12,8	3,19
	150	14,45	14,25	14,21	13,95	13,55	14,1	3,52
0,6	30	12,56	12,94	11,85	12,54	12,78	12,5	2,09
	60	13,25	13,54	12,84	12,87	13,45	13,2	2,20
	90	13,95	14,25	13,58	13,54	14,05	13,9	2,31
	120	14,96	15,05	15,65	14,98	15,64	15,3	2,54
	150	16,42	16,55	16,25	15,89	16,01	16,2	2,70
0,8	30	14,85	14,83	14,82	13,85	13,68	14,4	1,80
	60	15,45	15,52	14,75	14,52	14,85	15,0	1,88
	90	16,05	16,11	16,24	16,22	15,50	16,0	2,00
	120	16,46	17,05	16,68	16,56	17,75	16,9	2,11
	150	17,34	17,59	17,72	17,89	17,72	17,7	2,21



Hình 5.22: Độ bền kéo của sản phẩm thành mỏng bằng nhựa PA6+30%GF

- ❖ Sử dụng bảng 5.11 để tìm ra phương trình hồi quy về mối liên hệ giữa độ bền kéo với nhiệt độ khuôn và chiều dày sản phẩm bằng phần mềm **Minitab** của nhựa **PA6+30%GF** như sau:

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

Trong đó:

σ_t : Độ bền kéo (MPa)

T: Nhiệt độ khuôn (°C)

h: Chiều dày sản phẩm (mm)

Phương trình hồi quy này được kiểm nghiệm độ chính xác trên phần mềm **Minitab** với độ tin cậy R-sq (ajd) = 93,28 % (Phụ lục 4). Vì vậy, phương trình này có thể được sử dụng để dự đoán cho các trường hợp sản phẩm nhựa PA6+30%GF với nhiệt độ và chiều dày khác nhau.

5.4 Kết luận

Thông qua quá trình mô phỏng và thực nghiệm, phương pháp gia nhiệt bằng khí nóng từ ngoài khuôn (Ex-GMTC) đã được ứng dụng cho lòng khuôn thực tế với các kết quả thu được như sau:

- Kết quả mô phỏng quá trình gia nhiệt cho tấm insert cho phép đánh giá quá trình truyền nhiệt thông qua kết quả phân tích đáp ứng nhiệt của mô hình. Các kết quả này cho thấy nhiệt độ cao tập trung tại bề mặt của tấm insert, tại vị trí tạo kết cấu dạng lưới cho sản phẩm nhựa. Với phân bố nhiệt độ này, quá trình giải nhiệt tiếp theo trong chu kỳ phun ép sẽ được thực hiện dễ dàng hơn. Vì vậy, đây cũng là một trong những ưu điểm nổi bật của phương pháp gia nhiệt bằng khí nóng [87 – 90].
- Kết quả về sự thay đổi nhiệt độ tại bề mặt tấm insert cho thấy ứng với các giá trị nhiệt độ của dòng khí nóng, nhiệt độ của bề mặt lòng khuôn sẽ tăng rất nhanh trong 5 s đầu tiên của quá trình gia nhiệt. Sau đó, trong 10 s tiếp theo, nhiệt độ tại bề mặt khuôn sẽ tăng chậm lại. Khi nhiệt độ của dòng khí nóng thay đổi từ 200 °C đến 400 °C, sau 20 s, nhiệt độ của bề mặt khuôn sẽ duy trì ổn định. Điểm khác biệt so với các nghiên cứu trước đây về lĩnh vực gia nhiệt cho khuôn [83, 87, 89], ở phương pháp gia nhiệt bằng khí nóng này, sau thời gian tăng nhiệt độ, nhiệt độ bề mặt khuôn sẽ đạt đến giới hạn.
- Quá trình nhựa điền đầy lòng khuôn được khảo sát thông qua phần mềm Moldex3D. Kết quả mô phỏng cho thấy độ giảm của áp suất định hình theo thời gian từ 0,1 s đến 1 s. Nhìn chung, khi nhiệt độ khuôn càng cao, áp suất định hình sẽ được giữ lâu hơn. Ngoài ra, khi chiều dày sản phẩm càng nhỏ, áp suất định hình giảm càng nhanh hơn.
- Các trường hợp sử dụng bước gia nhiệt bằng khí nóng cho thấy áp suất định hình vẫn có thể được giữ ở mức cao, đặc biệt với trường hợp sản phẩm dày 0,4 mm. Kết quả mô phỏng này cũng cho thấy phương pháp gia nhiệt bề mặt lòng khuôn bằng khí nóng có khả năng tác động khá tốt đến sự thay đổi của áp suất định hình. Đây là một trong những cơ sở quan trọng để cải thiện độ bền của sản phẩm phun ép.
- Các kết quả về chụp phân bố nhiệt độ của bề mặt khuôn cho thấy khả năng gia nhiệt cục bộ của phương pháp Ex-GMTC khá tốt. Cụ thể, nhiệt độ chỉ tập trung tại vị trí xuất hiện đường hàn, ngoài ra, các vị trí khác nhiệt độ được giữ ở mức thấp.

Đây là một trong những ưu điểm của phương pháp gia nhiệt bằng khí nóng nói riêng và gia nhiệt bề mặt nói chung. Chính vì đặc điểm này, sau khi gia nhiệt và nhựa được điền đầy lòng khuôn, bước giải nhiệt cho lòng khuôn sẽ được tiến hành dễ dàng với vùng nhiệt độ cao rất nhỏ so với toàn bộ thể tích tấm khuôn. Ngoài ra, về khía cạnh tiết kiệm năng lượng, phân bố nhiệt độ tại bề mặt tấm khuôn cũng cho thấy gần như tất cả nhiệt năng của quá trình gia nhiệt chỉ tập trung tại vùng cần gia nhiệt, điều này cho thấy hiệu quả của phương pháp gia nhiệt Ex-GMTC là rất tốt.

- Kết quả thử kéo sản phẩm nhựa thành mỏng cũng được tổng hợp và so sánh với 2 loại nhựa là PA6 và PA6+30%GF. Kết quả này cho thấy ảnh hưởng rõ rệt của nhiệt độ tấm insert và chiều dày lưới đến khả năng chịu lực kéo của sản phẩm. Kết quả cho thấy khi nhiệt độ tấm insert tăng từ 30 °C đến 150 °C, độ bền của sản phẩm có sự cải thiện rõ rệt với tất cả các dạng chiều dày sản phẩm. Ngoài ra, kết quả thực nghiệm cũng cho thấy với chiều dày nhỏ hơn, tỉ lệ phần trăm tăng của độ bền sẽ lớn hơn. Đối với các sản phẩm được ép từ nhựa PA6+30%GF, do có trộn thêm sợi thủy tinh trong thành phần hạt nhựa nên các sản phẩm này có khả năng chịu lực kéo cao hơn so với các sản phẩm được ép từ nhựa PA6. Xét ở cùng nhiệt độ lòng khuôn 30 °C và chiều dày lưới là 0,4 mm, khả năng chịu lực kéo của mẫu sản phẩm PA6 là 7 kgf trong khi mẫu sản phẩm PA6+30%GF là 10 kgf. Hiện tượng độ bền của sản phẩm tăng khi phun ép với nhiệt độ tấm insert cao hơn cũng xuất hiện với dạng vật liệu composite.

- Trong nghiên cứu này, kết quả hồi qui cho thấy độ bền kéo sẽ phụ thuộc vào nhiệt độ khuôn. Nhiệt độ khuôn và độ bền kéo sản phẩm có liên hệ đồng biến. Ngược lại, độ bền và chiều dày sản phẩm có quan hệ nghịch biến. Kết quả này do ảnh hưởng của lớp đông đặc (lớp tiếp xúc giữa sản phẩm và thành khuôn) trong quá trình phun ép. Với nhiệt độ khuôn cao, lớp đông đặc mỏng hơn, do đó, áp suất định hình được duy trì trong thời gian lâu hơn, từ đó, độ bền của sản phẩm tại vị trí đường hàn sẽ cao hơn. Đặc biệt với các trường hợp sản phẩm mỏng hơn, nhiệt độ khuôn có ảnh hưởng rõ rệt hơn. Ngoài ra, kết quả thực nghiệm với PA6 và PA6+30%GF cũng cho thấy phương pháp gia nhiệt cho khuôn là một trong những giải pháp tăng độ bền sản phẩm ứng với vật liệu nhựa thông thường và cả vật liệu composite nền nhựa nhiệt dẻo.

Bên cạnh đó, với phương pháp gia nhiệt bằng khí nóng, khả năng chống quá nhiệt của khuôn cũng được quan sát rõ trong quá trình thực nghiệm và mô phỏng. Đây cũng là một trong những ưu điểm của phương pháp này so với các phương pháp gia nhiệt cho khuôn như phương pháp gia nhiệt bằng điện trở, từ trường,...

Ngoài ra, kết quả này cũng cho thấy quá trình gia nhiệt bằng khí nóng bên ngoài dễ dàng ứng dụng cho các dạng sản phẩm có bề mặt phức tạp. Đây cũng là một trong những ưu điểm của nghiên cứu này so với nhiều nghiên cứu trong những năm gần đây với nhiều phương pháp gia nhiệt truyền thống.

Chương 6

KẾT LUẬN

Thông qua quá trình thực hiện luận án, đề tài “Nghiên cứu ảnh hưởng của gia nhiệt khuôn phun ép bằng khí nóng đến độ bền sản phẩm nhựa dạng thành mỏng” đã được tiến hành với các nội dung chính như: nghiên cứu tổng quan về công nghệ phun ép nhựa; đề xuất phương án gia nhiệt bề mặt khuôn bằng khí nóng; mô phỏng, thiết kế, chế tạo và thực nghiệm về gia nhiệt cho lòng khuôn phun ép.

Những đóng góp mới của Luận án như sau:

- Thông qua quá trình mô phỏng và thực nghiệm, các kết quả cho thấy:
 - Chiều dày của tấm insert có ảnh hưởng lớn đến tốc độ gia nhiệt, cũng như phân bố nhiệt độ trên bề mặt lòng khuôn. Tốc độ gia nhiệt cao sẽ đạt được với các tấm insert mỏng, trong khi đó, các tấm insert dày sẽ cho phân bố nhiệt độ đồng đều hơn. Do đó, nếu cần gia nhiệt vùng có diện tích nhỏ và nhiệt độ cao thì thiết kế tấm insert có chiều dày mỏng, ngược lại, nếu cần gia nhiệt cho khuôn đạt nhiệt độ đồng đều thì thiết kế tấm insert có chiều dày lớn.
 - Khe hở giữa đầu phun khí nóng và bề mặt khuôn cũng có ảnh hưởng đến tốc độ và phân bố nhiệt độ. Với khe hở nhỏ, tốc độ gia nhiệt sẽ cao, nhưng chênh lệch nhiệt độ sẽ lớn hơn. Ngược lại, với khe hở lớn, nhiệt độ sẽ phân bố đều hơn.
 - Quá trình mô phỏng cũng cho thấy phương pháp gia nhiệt bằng khí nóng phun từ ngoài có thể được tiến hành phân tích trước, nhằm chọn được các thông số tối ưu tùy thuộc vào hình dạng sản phẩm và kết cấu khuôn phun ép.
- Với mô hình sản phẩm dạng thành mỏng, kết quả trong luận án cho thấy nhiệt độ cao chỉ tập trung tại bề mặt của tấm insert, tại vị trí tạo kết cấu dạng lưới cho sản phẩm nhựa. Đây cũng là một trong những ưu điểm nổi bật của phương pháp gia nhiệt bằng khí nóng.

- Quá trình gia nhiệt cho thấy nhiệt độ của bề mặt lòng khuôn sẽ tăng rất nhanh trong 5 s đầu tiên của quá trình gia nhiệt. Sau đó, trong 10 s tiếp theo, nhiệt độ tại bề mặt khuôn sẽ tăng chậm lại, sau 20 s, nhiệt độ của bề mặt khuôn sẽ duy trì ổn định.
- Các trường hợp sử dụng bước gia nhiệt bằng khí nóng cho thấy áp suất định hình vẫn có thể được giữ ở mức cao, đặc biệt với trường hợp sản phẩm dày 0,4 mm.
- Các kết quả về chụp phân bố nhiệt độ của bề mặt khuôn cho thấy khả năng gia nhiệt cục bộ của phương pháp Ex-GMTC khá tốt. Cụ thể, nhiệt độ chỉ tập trung tại vị trí xuất hiện đường hàn, ngoài ra, các vị trí khác nhiệt độ được giữ ở mức thấp. Đây là một trong những ưu điểm của phương pháp gia nhiệt bằng khí nóng nói riêng và gia nhiệt bề mặt nói chung.
- Kết quả thử kéo sản phẩm nhựa thành mỏng cho thấy ảnh hưởng tích cực của nhiệt độ khuôn và chiều dày lưới đến khả năng chịu lực kéo của sản phẩm. Đặc biệt, kết quả thực nghiệm cũng cho thấy với chiều dày nhỏ hơn, tỉ lệ phần trăm tăng của độ bền kéo từ 1,75 MPa lên 2,8 MPa (tăng 60%).

❖ Hướng phát triển của đề tài:

Qua quá trình nghiên cứu, phương pháp gia nhiệt cho bề mặt lòng khuôn cho thấy tính khả thi cao trong ứng dụng thực tiễn. Tuy nhiên, để nâng cao hiệu quả của quá trình phun ép nói chung và bước gia nhiệt cho bề mặt khuôn nói riêng, tác giả đề xuất các hướng nghiên cứu trong tương lai như sau:

- Tối ưu hóa qui trình gia nhiệt cho khuôn theo định hướng tiết kiệm năng lượng.
- Tối ưu hóa các thông số gia và giải nhiệt của khuôn phun ép nhằm rút ngắn chu trình phun ép.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Osswald, Lih-Sheng Tzeng and Paul Gramann, Injection molding handbook, Jun 1, 2008.
- [2] Yoshihiko Arao, Takayasu Fujiura, Satoshi Itani, Tatsuya Tanaka, Strength improvement in injection-molded jute-fiber-reinforced polylactide green-composites, *Composites: Part B*, 2015, Vol. 68, pp. 200–206.
- [3] N. Hadler Marins, F. Bier de Mello, R. Marques e Silva and F. Aulo Ogliari, Statistical approach to analyze the warpage, shrinkage and mechanical strength of injection molded parts, *Intern. Polymer Processing*, XXXI, 2016, Vol. 3, pp. 376-384.
- [4] Yanhui Chen, Xu Bo, Song Yang, Haoqing Yang, Tom Lawson, Zhiqiang Wu, Qiuyu Zhang, and Zhongming Li, Unexpected strength and toughness reinforcement of the injectionmolded isotactic polypropylene parts with oriented β -crystals, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2017, Vol. 56 (48), pp. 14252-14262.
- [5] Yang Zhang, David Bue Pedersen, Asger Segebrecht Gøtje, Michael Mischkot and Guido Tosello, A soft tooling process chain employing additive manufacturing for injection molding of a 3D component with micro pillars, *Journal of Manufacturing Processes*, 2017, Vol. 27, pp. 138–144.
- [6] Paulo Peças, Inês Ribeiro, Elsa Henriques and Ana Raposo, Additive manufacturing in injection molds—life cycle engineering for technology selection, *Advanced Applications in Manufacturing Engineering*, 2019, pp. 105-139.
- [7] Ali Davoudinejad, David Bue Pedersen and Guido Tosello, Additive manufacturing for micro tooling and micro part rapid prototyping, Chapter 11, pp. 289-313.
- [8] Tomohiro Kawaguchi, Lippo V.J. Lassila, Hirono Baba, Shu Tashiro, Ipei Hamanaka, Yutaka Takahashi and Pekka K. Vallittu, Effect of cellulose nanofiber content on flexural properties of a model, thermoplastic, injection-molded, polymethyl methacrylate denture base material, *Journal of the*

- Mechanical Behavior of Biomedical Materials, 2020, Vol. 102, DOI: 10.1016/j.jmbbm.2019.103513.
- [9] Agathe Charvet, Caroll Vergelati and Didier R. Long, Mechanical and ultimate properties of injection molded cellulose acetate/plasticizer materials, Carbohydrate Polymers, 2019, Vol. 204, pp. 182–189.
- [10] 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, J Polym Eng, 2019, Vol. 39(5), pp. 493–500.
- [11] P. F. Rios, A. Ophir, S. Kenig, R. Efrati, L. Zonder and R. Popovitz-Biro, Impact of injection-molding processing parameters on the electrical, mechanical, and thermal properties of thermoplastic/carbon nanotube nanocomposites, Journal of Applied Polymer Science, 2011, Vol. 120, pp. 70–78.
- [12] S. Lee, J. Lim, J. Yu, J. Ahn, Y. Lee and N. L. Jeon, Engineering tumor vasculature on injection-molded plastic array 3D culture (impact) platform, Royal Society of Chemistry, Lab Chip, 2019, DOI: 10.1039/C9LC00148D.
- [13] Xuanbo Gu, Yingxiong Wang, Yixin Jiang, Mingjin Liu, Qiang Fu and Jie Zhang, High impact performance induced by a synergistic effect of heteroepitaxy and oriented layer-unoriented layer alternated structure in iPP/HDPE injection molded part, Polymer, 2019, DOI: 10.1016/j.polymer.2019.05.018.
- [14] Santiago Muñoz-Pascual, Eduardo Lopez-Gonzalez, Cristina Saiz-Arroyo and Miguel Angel Rodriguez-Perez, Effect of mold temperature on the impact behavior and morphology of injection molded foams based on polypropylene polyethylene–octene copolymer blends, Polymers, 2019, Vol. 11 (5), DOI:10.3390/polym11050894.
- [15] Sheng Tian, Binbin Dong, Yahao Guo, Can Zhao, Mengxia Zhang and Mengjun Xiao, Injection-molded lightweight and high electrical conductivity composites with microcellular structure and hybrid fillers, Cellular Polymers, 2019, DOI: 10.1177/0262489319871747.

- [16] 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.
- [17] A. Ameli, Y. Kazemi, S. Wang, C.B. Park and P. Pötschke, Process-microstructure-electrical conductivity relationships in injection-molded polypropylene/carbon nanotube nanocomposite foams, *Composites: Part A*, 2017, DOI: 10.1016/j.compositesa.2017.02.012.
- [18] Behzad Shiroud Heidari, Amin Hedayati Moghaddam, Seyed Mohammad Davachi, Shadi Khamani and Afshar Alihosseini, Optimization of process parameters in plastic injection molding for minimizing the volumetric shrinkage and warpage using radial basis function (RBF) coupled with the k-fold cross validation technique, *J Polym Eng*, 2019, Vol. 39 (5), pp. 481–492.
- [19] Mehdi Moayyedean and Ali Mamedov, Multi-objective optimization of injection molding process for determination of feasible moldability index, *Procedia CIRP*, 2019, Vol. 84, pp. 769-773.
- [20] Chil-Chyuan Kuo and Zheng-Yan You, Development of injection molding tooling with conformal cooling channels fabricated by optimal process parameters, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2018, Vol. 96, pp. 1003–1013.
- [21] Singh S. Deepika, Bhushan T. Patil, 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.
- [22] 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.
- [23] Saad M. S. Mukras, Experimental-based optimization of injection molding process parameters for short product cycle time, *Advances in Polymer Technology*, 2020, DOI: 10.1155/2020/1309209.

- [24] Nawadon Petchwattana¹ and Borwon Narupai, Synergistic effect of Talc and Titanium dioxide on poly(lactic acid) crystallization: An investigation on the injection molding cycle time reduction, *Journal of Polymers and the Environment*, 2019, DOI: 10.1007/s10924-019-01396-0.
- [25] Hendrik Schäfer, Claudia Pretschuh and Oliver Brüggemann, Reduction of cycle times in injection molding of PLA through bio-based nucleating agents, *European Polymer Journal*, 2019, DOI: 10.1016/j.eurpolymj.2019.03.011.
- [26] A. V. C. Sobral, M. P. Hierro, F. J. Pe´ rez, W. Ristow Jr. and C. V. Franco, Oxidation of injection molding 316L stainless steel at high temperature, *Materials and Corrosion* 51, 2000, pp 791–796.
- [27] J. Rech, C. Le Calvez and M. Dessoly, A new approach for the characterization of machinability-application to steels for plastic injection molds, *Journal of Materials Processing Technology*, 2004, Vol. 152, pp. 66–70.
- [28] X. Kong, T. Barriere and J.C. Gelin, Determination of critical and optimal powder loadings for 316L fine stainless steel feedstocks for micro-powder injection molding, *Journal of Materials Processing Technology*, 2012, Vol. 212, pp. 2173–2182.
- [29] František Greškovič¹, Ludmila Dulebová¹, Branislav Duleba¹ and Janusz W. Sikora, Evaluation of process wear of selected tool steels for injection molds, *Advanced Materials Research*, 2013, Vol 739, pp. 171-176.
- [30] Ranga Komanduri and Zhen Bing Hou, Thermal modeling of the metal cutting process - Part III: temperature rise distribution due to the combined effects of shear plane heat source and the tool chip interface frictional heat source, *International Journal of Mechanical Sciences*, 2001, Vol. 43, pp. 89 - 107.
- [31] Deepak Kumar, Srinivas Dwarapudi, Kameswara Srikar Sista and Gourav Ranjan Sinha, Iron powder-based metal matrix for diamond cutting tools: A review, *J-Stage Advance*, 2020, DOI: 10.2355/isijinternational.ISIJINT-2019-662.
- [32] P. A. Loginov, D. A. Sidorenko, N. V. Shvyndina, T. A. Sviridova, A. Yu. Churyumov and E. A. Levashov, Effect of Ti and TiH₂ doping on mechanical and adhesive properties of FeCo-Ni binder to diamond in cutting tools,

- International Journal of Refractory Metals & Hard Materials, 2019, Vol. 79, pp. 69–78.
- [33] K. Giasin, G. Gorey, C. Byrne, J. Sinke and E. Brousseau, Effect of machining parameters and cutting tool coating on hole quality in dry drilling of fibre metal laminates, *Composite Structures*, 2019, DOI: 10.1016/j.compstruct.2019.01.023.
- [34] B. Breidenstein, T. Grove, A. Krödel and R. Sitab, Influence of hexagonal phase transformation in laser prepared PcBN cutting tools on tool wear in machining of Inconel 718, *Metal Powder Report*, 2019, DOI: 10.1016/j.mprp.2018.12.077.
- [35] K. Venkata Rao, Bachina Harish Babu and V. Umasai Vara Prasad, A study on effect of dead metal zone on tool vibration, cutting and thrust forces in micro milling of Inconel 718, *Journal of Alloys and Compounds*, 2019, DOI: 10.1016/j.jallcom.2019.04.194.
- [36] D. Martinez Krahmer, S. Hameed, A. J. Sánchez Egea , D. Pérez, J. Canales and L. N. López de Lacalle, Wear and mns layer adhesion in uncoated cutting tools when dry and wet turning free-cutting steels, *Metals*, 2019, DOI:10.3390/met9050556.
- [37] Yuanxiang Lu, Zeyi Jiang, Xinru Zhang, Jingsong Wang and Xinxin Zhang, Vertical section observation of the solid flow in a blast furnace with a cutting method, *Metals* 2019, DOI: 10.3390/met9020127.
- [38] Tianyao Wang, Hyosim Kima, Jonathan G. Gigaxa, Jianyuan Fana, Kenneth L. Peddicorda, Engang Fub, Arezoo Zarec, Don A. Luccac and Lin Shao, Ion cutting of amorphous metals by using helium ion implantation, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, 2019, Vol. 451, pp. 1–5.
- [39] I. Y. Matushkina, S. V. Anakhov and Y. A. Pyckin, Evaluation of the effectiveness of plasma torches design for metal cutting by qualimetric method, *Materials Science*, 2018, Vol. 946, pp. 877-882.
- [40] Sorin Adrian Barabas and Adriana Florescu, Optimization method of abrasive water jet cutting of welded overlay materials, *Metals* 2019, DOI: 10.3390/met9101046.

- [41] Lihui Tu and Weimin Shi, Establish using fem method of constitutive model for chip formation in the cutting process of gray cast iron, *Metals*, 2020, DOI: 10.3390/met10010033.
- [42] E. A. Garbera, N. L. Bolobanova and K. A. Trusov, Application of the finite element method to reveal the causes of loss of planeness of hot-rolled steel sheets during laser cutting, *Russian Metallurgy (Metally)*, 2018, Vol. 1, pp. 90–94.
- [43] Gualtiero Fantoni, Donata Gabelloni, Guido Tosello and Hans N. Hansen, Micro injection molding machines technology, *Mirco Injection Molding*, 2018, DOI: 10.3139/9781569906545.001.
- [44] Paritat Muanchan, Ryo Kaneda and Hiroshi Ito, Polymer materials structure and properties in micro injection molding parts, 2018, *Mirco Injection Molding*, DOI: 10.3139/9781569906545.003.
- [45] Christian A. Griffiths, Surface Treatment of Mold Tools in Micro Injection Molding, 2018, *Mirco Injection Molding*, DOI: 10.3139/9781569906545.007.
- [46] Guido Tosello, *Micro Injection Molding*, Hanser, 2018, ISBN: 978-1-56990-653-8.
- [47] Ben Whiteside, Maksims Babenko, Elaine Brown, *Micro Molding Process Monitoring and Control*, 2018, DOI: 10.3139/9781569906545.002.
- [48] Schiller and F. Gary, *Injection unit: Screw*, Carl Hanser Verlag GmbH, 2018, eISBN: 978-1-56990-687-3.
- [49] Hyeyoung Shin and Eun-Soo Park, Analysis of crack phenomenon for injection-molded screw using moldflow simulation, *Journal of Applied Polymer Science*, 2009, Vol. 113, pp. 2702–2708.
- [50] Furong Gao, Zhiming Jin and And Xi Chen, A visual barrel system for study of reciprocating screw injection molding, *Polymer Engineering And Science*, 2000, Vol. 40 (6), pp. 1334-1343.
- [51] Mike Tromm, Vahid Shaayegan, Chongda Wang, Hans-Peter Heim and Chul B. Park, Investigation of the mold-filling phenomenon in high-pressure foam injection molding and its effects on the cellular structure in expanded foams, *Polymer*, 2018, DOI: 10.1016/j.polymer.2018.11.006.

- [52] M. S. Rusdi, M. Z. Abdullah, A. S. Mahmud, C. Y. Khor, M. S. Abdul Aziz, Z. M. Ariff and M. K. Abdullah, Numerical investigation on the effect of pressure and temperature on the melt filling during injection molding process, *Arabian Journal for Science and Engineering*, 2016, DOI: 10.1007/s13369-016-2039-0.
- [53] M. Sardarian and O. Mirzaee, A. Habibolahzadeh, Mold filling simulation of low pressure injection molding (LPIM) of alumina: Effect of temperature and pressure, *Ceramics International*, 2017, Vol. 43 (1), pp. 28-34.
- [54] 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.
- [55] 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, *J Polym Eng*, 2019, Vol. 39 (5), pp. 493–500.
- [56] 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.
- [57] Yong Lu, Kaiyu Jiang, Yuying Liu, Yan Zhang and Minjie Wang, Study on mechanical properties of co-injection self-reinforced single polymer composites based on micro-morphology under different molding parameters, *Polymer Testing*, 2020, DOI: 10.1016/j.polymertesting.2019.106306.
- [58] 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.
- [59] Guilong Wang, Jinchuan Zhao, Guizhen Wang, Haibin Zhao, Jun Lin, Guoqun Zhao and Chul B. Park, Strong and super thermally insulating in-situ

- nanofibrillar PLA/PET compo-site foam fabricated by high-pressure microcellular injection molding, *Chemical Engineering Journal*, 2020, DOI: 10.1016/j.cej.2020.124520.
- [60] Huang, Po-Wei, Peng and Hsin-Shu, 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.
- [61] Maosheng Tian, Xiaoyun Gong, Ling Yin, Haizhou Li1, Wuyi Ming, Zhen Zhang and Jihong Chen, Multi-objective optimization of injection molding process parameters in two stages for multiple quality characteristics and energy efficiency using Taguchi method and NSGA-II, *Int J Adv Manuf Technol*, 2017, Vol. 89, pp. 241-254.
- [62] Rajendra Khavekar, Dr. Hari Vasudevan and Bhavik Modi, A comparative analysis of taguchi methodology and shainin system doe in the optimization of injection molding process parameters, *Materials Science and Engineering*, 2017, DOI:10.1088/1757-899X/225/1/012183.
- [63] Lin Chao-Ming and Chen Wei-Cheng, 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.
- [64] Rafa Abdul, Gangjian Guo, Joseph C. Chen and John Jung-Woon Yoo, Shrinkage prediction of injection molded high density polyethylene parts with taguchi/artificial neural network hybrid experimental design, *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*, 2019, DOI: 10.1007/s12008-019-00593-4.
- [65] Erfan Oliaei, Behzad Shiroud Heidari, Seyed Mohammad Davachi, Mozghan Bahrami, Saeed Davoodi, Iman Hejazi and Javad Seyfi, Warp and shrinkage optimization of injection-molded plastic spoon parts for biodegradable polymers using Taguchi, Anova and Artificial neural network methods, *Journal of Materials Science & Technology*, 2016, Vol. 32, pp. 710-720.

- [66] Tayser Sumer Gaaz, Abu Bakar Sulong, Abdul Amir H. Kadhum, Mohamed H. Nassir and Ahmed A. Al-Amiery, Optimizing injection molding parameters of different halloysites type-reinforced thermoplastic polyurethane nanocomposites via taguchi complemented with anova, *Materials* 2016, DOI: 10.3390/ma9110947.
- [67] Mirigul Altan, Reducing shrinkage in injection moldings via the Taguchi, Anova and neural network methods, *Materials and Design*, 2010, Vol. 31, pp. 599-604.
- [68] F. Trovalusci¹, N. Ucciardello, G. Baiocco and F. Tagliaferri, Neural network approach to quality monitoring of injection molding of photoluminescent polymers, *Applied Physics A*, 2019, DOI: 10.1007/s00339-019-3067-x.
- [69] 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.
- [70] H Lee¹, Y Liao¹ and K Ryu, Real-time parameter optimization based on neural network for smart injection molding, *Materials Science and Engineering*, 2018, DOI:10.1088/1757-899X/324/1/012076.
- [71] 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, DOI: 10.1155/2019/5973403.
- [72] Yufei Ruan, Huang Gao and Dequn Li, Improving the consistency of injection molding products by intelligent temperature compensation control, *Advances in Polymer Technology*, 2019, DOI: 10.1155/2019/1591204.
- [73] 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.

- [74] Ch. Hopmann, M. Schmitz, H. Dornebusch, Development of a Segmented Temperature Control for Targeted Solidification in Injection Molding, *International Polymer Processing*, 2018, DOI:10.3139/217.3452.
- [75] David Kazmer, Multi-cavity pressure control in the filling and packing stages of the injection molding process, *Polymer Engineering and Science*, 1997, Vol. 37, pp. 1865-1879.
- [76] F. Gao, W. I. Patterson, and M. R. Kamal, Cavity pressure dynamics and self-tuning control for filling and packing phases of thermoplastics injection molding, *Polymer Engineering and Science*, 1996, Vol. 36 (9), pp. 1272-1285.
- [77] Feilong Yu, Hua Deng, Qin Zhang, Ke Wang, Chaoliang Zhang, Feng Chen and Qiang Fu, Anisotropic multilayer conductive networks in carbon nanotubes filled polyethylene/polypropylene blends obtained through high speed thin wall injection molding, *Polymer*, 2013, Vol. 54, pp. 6425-6436.
- [78] 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*, 2010, Vol. 31 (1), pp. 382-395.
- [79] 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*, 2008, Vol. 35 (7), pp. 822-827.
- [80] 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*, 2002, Vol. 120 (1-3), pp. 438-449.
- [81] 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*, 2013, Vol. 41, pp 34-40.

- [82] X. Xu, C. B. Park, J. W. S. Lee and X. Zhu, Advanced structural foam molding using a continuous polymer/gas melt flow stream, *Journal of Applied Polymer Science*, 2008, Vol. 109, pp 2855–2861.
- [83] S. Wong, J. W. S. Lee, H. E. Naguib and C. B. Park, Effect of processing parameters on the mechanical properties of injection molded thermoplastic polyolefin (TPO) cellular foams, *Macromol. Mater. Eng.*, 2008, Vol. 293, pp. 605-613.
- [84] W. Liu, Z. Xie, C. Jia, Surface modification of ceramic powders by titanate coupling agent for injection molding using partially water soluble binder system, *Journal of the European Ceramic Society*, 2012, Vol. 32 (5), pp. 1001-1006.
- [85] F. Sommer, F. Kern and R. Gadow, Injection molding of ceramic cutting tools for wood-based materials, *Journal of the European Ceramic Society*, 2013, Vol. 33 (15–16), pp. 3115-3122.
- [86] 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*, 2014, Vol. 117, pp. 41-47.
- [87] 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*, 2014, Vol. 117, pp. 41-47.
- [88] 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*, 2010, Vol. 31 (1), pp. 382-395.
- [89] H. X. Huang and J. K. Wang, Equipment development and experimental investigation on the cellular structure of microcellular injection molded parts, *Polymer Testing*, 2008, Vol. 27, pp. 513 –519.
- [90] F. Sommer, H. Walcher, F. Kern, M. Maetzig and R. Gadow, Influence of feedstock preparation on ceramic injection molding and microstructural features of zirconia toughened alumina, *Journal of the European Ceramic Society*, 2014, Vol. 34 (3), pp. 745-75.

- [91] 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*, 2010, Vol. 37 (9), pp. 1295-1304.
- [92] W. Wu and N. Yoon Lee, Two-layer microdevice for parallel flow-through PCR's 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*, 2013, Vol. 181, pp. 756-765.
- [93] 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*, 2009, Vol. 36 (10), pp. 1030-1035.
- [94] 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*, 2009, Vol. 36 (8), pp. 806-812.
- [95] S. C. Chen, P. S. Minh and J. A. Chang, Gas-assisted mold temperature control for improving the quality of injection molded parts with fiber additives, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 2011, Vol. 38 (3), pp. 304-312.
- [96] 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*, 2008, Vol. 35 (7), pp. 822-827.
- [97] P. C. Chang and S. J. Hwang, Simulation of infrared rapid surface heating for injection molding, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2006, Vol. 49 (21-22), pp. 3846-3854.
- [98] M. C. Yu, W. B. Young and P. M. Hsu, Micro injection molding with the infrared assisted heating system, *Materials Science and Engineering A*, 2007, Vol. 460-461, pp. 288-295.

- [99] 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*, 2012, Vol. 39 (4), pp. 514-522.
- [100] S. C. Chen, Y. W. Lin, R. D. Chien and H. M. Li, Variable mold temperature to improve surface quality of microcellular injection molded parts using induction heating technology, *Advances in Polymer Technology*, 2008, Vol. 27 (4), pp. 224-232.
- [101] Theodore L. Bergman, Adrienne S. Lavine, Frank P. Incropera, David P. DeWitt, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, Wiley; 7 edition, April 12, 2011.
- [102] J. P. Beaumont, R. Nagel, R. Sherman, *Successful Injection Molding*, Hanser, 2002.
- [103] Y. Chang, C. S. Liu, S. T. Huang, C. T. Huang, M. C. Chen and W. H. Yang, Dynamic property of the frozen-layer and its effects on warpage in injection molded parts, ANTEC2009.
- [104] Tran Minh The Uyen, Le Tuyen Giao, Thanh Trung Do and Pham Son Minh, Numerical study on local heating for thin-walled product by external air heating, *Materials Science Forum*, 2019, Vol 971, pp. 21-26.
- [105] S.H. Tang, Y.M. Kong, S.M. Sapuan, R. Samin, S. Sulaiman, Design and thermal analysis of plastic injection mold, *J. Mater. Process. Technol.* 171 (2006) 259–267.
- [106] D.C. Wilcox, *Turbulence Modeling for CFD*, 2nd ed., DCW Industries, 1998.
- [107] <http://www.doanhnhanhoinhap.vn/tong-kim-ngach-xuat-khau-cua-nganh-nhua-viet-nam-nam-2019-uoc-dat-4-69-ti-do-la.html>, Thứ bảy, 04/01/2020, 06:57 GMT+7.
- [108] ASTM International, The World Trade Organization Technical Barriers to Trade (TBT) Committee, *Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics*, 2015, pp. 1-17.
- [109] Maw-Ling Wang, Rong-Yeu Chang, Chia-Hsiang (David) Hsu, *Molding Simulation: Theory and Practice*, Carl Hanser Verlag, 2018.

PHỤ LỤC


PHỤ LỤC 1: CÁC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ

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

8. Thanh Trung Do, Pham Son Minh, **Tran Minh The Uyen** and Pham Hoang The, Numerical study on the flow length in an injection molding process with an external air-heating step, *International Journal of Engineering Research and Application*, 2017, Vol. 7, pp. 85-89.
9. Thanh Trung Do, **Tran Minh The Uyen** and Pham Son Minh, Study on the external gas-assisted mold temperature control for thin wall injection molding, *International Journal of Engineering Research and Application*, 2017, Vol. 7, pp. 15-19.
10. Pham Son Minh, Thanh Trung Do, **Tran Minh The Uyen** and Phan The Nhan, A study on the welding line strength of composite parts with various venting systems in injection molding process, *Key Engineering Materials*, 2017, Vol. 737, pp. 70-76. (SCOPUS).
11. Pham Son Minh and **Tran Minh The Uyen**, Numerical study on the heliacal cooling channel for injection molding process, *International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*, 2018, Vol. 5(2), pp. 86-91.
12. Pham Son Minh, Thanh Trung Do and **Tran Minh The Uyen**, The feasibility of external gas-assisted mold-temperature control for thin-wall injection molding, *Advances in Mechanical Engineering*, 2018, Vol. 10 (10), pp. 1-13. (SCIE).
13. Pham Son Minh, **Tran Minh The Uyen**, Tran Anh Son and Huynh Duc Thuan, Study on the temperature distribution of core plates during injection molding, *International Journal of Engineering Inventions*, 2018, Vol. 7 (10), pp. 24 – 29.
14. **Minh The Uyen Tran**, Son Minh Pham and Thanh Trung Do, Experimental study on external air heating for an injection molding process, *ICSSE2019*, 2019, pp. 681-685.
15. **Tran Minh The Uyen**, Le Tuyen Giao, Thanh Trung Do and Pham Son Minh, Numerical study on local heating for thin-walled product by external air heating, *Materials Science Forum*, 2019, Vol. 971, pp. 21-26. (SCOPUS).
16. **Tran Minh The Uyen**, Nguyen Truong Giang, Thanh Trung Do, Tran Anh Son and Pham Son Minh, External Gas-Assisted Mold Temperature Control Improves Weld Line Quality in the Injection Molding Process, *Materials*, 2020, Vol. 13, pp. 1-19. (SCIE).

PHỤ LỤC 2: BẢN QUYỀN PHẦN MỀM MOLDEX3D

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

	<p>CoreTech System Co., Ltd. 8F-2, No.32, Tatyuan St. Chupel City, Hsinchu County 302, Taiwan Tel : +886-3-5600-199 Fax : +886-3-5600-198 www.moldex3d.com</p>
---	--

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, Tatyuan Street,
Chupel, 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: *Phuc*

By: *Rong Yeu Chang*

Name: LE THANH PHUC

Name: Rong Yeu Chang

Title: Dean of Faculty for High Quality Training

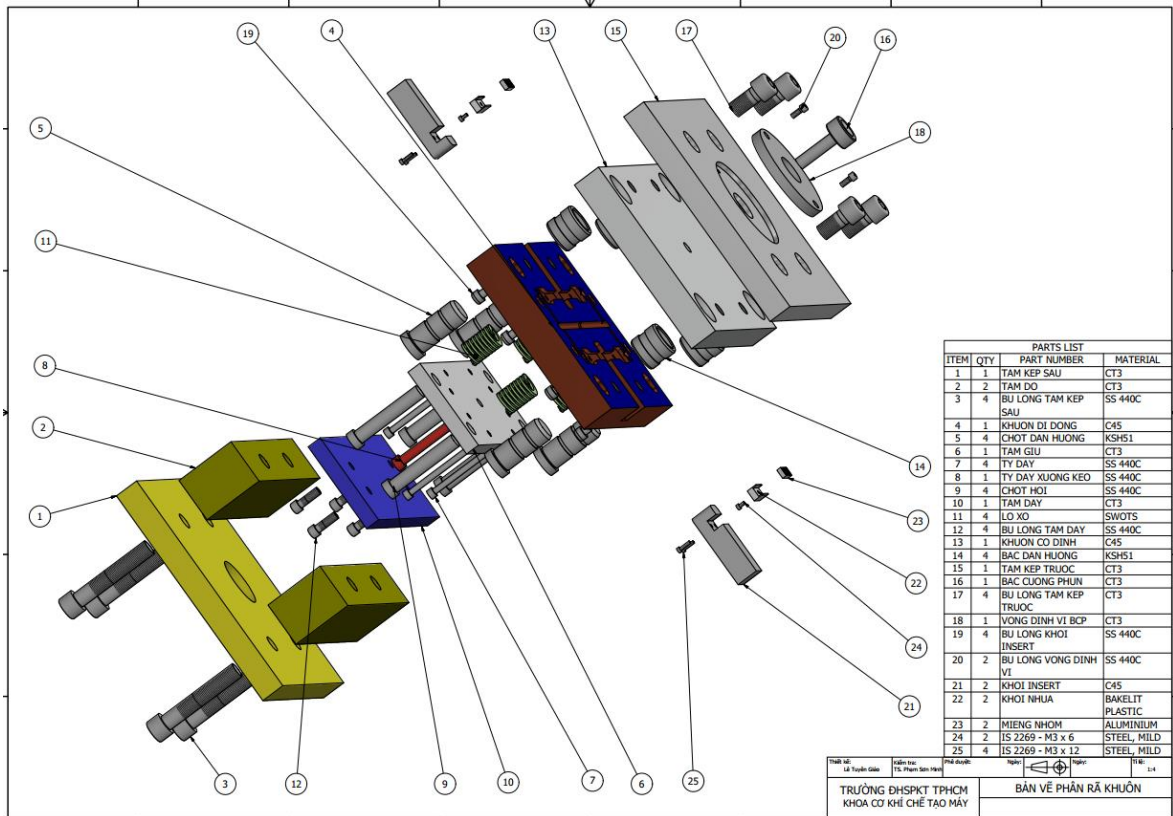
Title: CEO

Date: October 10, 2019

Date: 04/Nov/2019



PHỤ LỤC 3: BẢN VẼ LẬP BỘ KHUÔN TẠO MẪU THỦ KÉO ASTM D638



PHỤ LỤC 4: HỆ SỐ TIN CẬY CỦA PHƯƠNG TRÌNH HỒI QUY

1. Kết quả tìm hệ số tin cậy của phương trình hồi quy của mẫu thử kéo nhựa PA6

Regression Analysis: Độ bền kéo PA6 versus Nhiệt độ khuôn, Bề dày

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	2	1.7904	0.895185	93.31	0.000
Nhiệt độ khuôn	1	0.9083	0.908280	94.68	0.000
Bề dày	1	0.8821	0.882090	91.95	0.000
Error	12	0.1151	0.009594		
Total	14	1.9055			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0979470	93.96%	92.95%	91.19%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	2.226	0.110	20.20	0.000	
Nhiệt độ khuôn	0.005800	0.000596	9.73	0.000	1.00
Bề dày	-1.485	0.155	-9.59	0.000	1.00

Regression Equation

$$\text{Độ bền kéo PA6} = 2.226 + 0.005800 \text{ Nhiệt độ khuôn} - 1.485 \text{ Bề dày}$$

2. Kết quả tìm hệ số tin cậy của phương trình hồi quy của mẫu thử kéo nhựa PA6+30%GF

Regression Analysis: Độ bền kéo PA6-30GF versus Nhiệt độ khuôn (°C), Chiều dày (mm)

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	2	3.0753	1.53765	98.12	0.000
Nhiệt độ khuôn (°C)	1	0.8944	0.89441	57.07	0.000
Chiều dày (mm)	1	2.1809	2.18089	139.16	0.000
Error	12	0.1881	0.01567		
Total	14	3.2634			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.125185	94.24%	93.28%	89.56%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	3.317	0.141	23.54	0.000	
Nhiệt độ khuôn (°C)	0.005756	0.000762	7.55	0.000	1.00
Chiều dày (mm)	-2.335	0.198	-11.80	0.000	1.00

Regression Equation

$$\text{Độ bền kéo PA6-30GF} = 3.317 + 0.005756 \text{ Nhiệt độ khuôn (°C)} - 2.335 \text{ Chiều dày (mm)}$$

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

Obs	Độ bền kéo PA6-30GF	Fit	Resid	Std Resid
5	3.5200	3.2463	0.2737	2.61 R