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

LUẬN VĂN THẠC SĨ
BÙI VĂN THỜI

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG THÔNG SỐ IN 3D NHỰA ĐẾN ĐỘ CHÍNH XÁC KÍCH THƯỚC SẢN PHẨM

NGÀNH: KỸ THUẬT CƠ KHÍ – 8520103

Tp. Hồ Chí Minh, tháng 10/2019

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT

THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH

----------o0o----------

LUẬN VĂN THẠC SĨ

BÙI VĂN THỜI

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG THÔNG SỐ IN 3D NHỰA ĐẾN ĐỘ CHÍNH XÁC KÍCH THƯỚC SẢN PHẨM

NGÀNH: KỸ THUẬT CƠ KHÍ – 8520103

Hướng dẫn khoa học:

PGS.TS. PHẠM SƠN MINH

Tp. Hồ Chí Minh, tháng 10/2019

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

Số: 1641/QĐ-ĐHSPKT

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

Tp. Hồ Chí Minh, ngày 28 tháng 8 năm 2018

QUYẾT ĐỊNH

Về việc giao đề tài luận văn tốt nghiệp và người hướng dẫn năm 2018

HIỆU TRƯỞNG TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT TP. HỒ CHÍ MINH

Căn cứ Quyết định số 426/TTg ngày 27 tháng 10 năm 1976 của Thủ tướng Chính phủ về một số vấn đề cấp bách trong mạng lưới các trường đại học và Quyết định số 118/2000/QĐ-TTg ngày 10 tháng 10 năm 2000 của Thủ tướng Chính phủ về việc tổ chức lại Đại học Quốc gia Thành Phố Hồ Chí Minh, tách Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh trực thuộc Bộ Giáo dục và Đào tạo;

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

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

Căn cứ Thông tư số 15/2014/TT-BGDĐT ngày 15/5/2014 của Bộ Giáo dục và Đào tạo về việc Ban hành Qui chế đào tạo trình độ thạc sĩ;

Căn cứ vào Biên bản bảo vệ Chuyên đề của ngành Kỹ thuật cơ khí vào ngày 25/08/2018;

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 văn tốt nghiệp thạc sĩ và người hướng dẫn Cao học năm 2018 cho:

Học viên : ***Bùi Văn Thời*** MSHV: **1780418**

Ngành : ***Kỹ thuật cơ khí***

Tên đề tài : ***Nguyên cứu ảnh hưởng thông số in 3D nhựa đến độ chính xác kích thước sản phẩm***

Người hướng dẫn : ***PGS.TS. Phạm Sơn Minh***

Thời gian thực hiện: ***Từ ngày 28/8/2018 đến ngày 28/02/2019***

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

Điều 3. Trưởng các đơn vị, phòng Đào tạo, các Khoa quản ngành cao học và các Ông (Bà) có tên tại 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 3;
- Lưu: VT, SĐH (3b).

KT. HIỆU TRƯỞNG
PHÓ HIỆU TRƯỞNG

TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT TP. HỒ CHÍ MINH

PGS. TS Lê Hiếu Giang

BIÊN BẢN HỘI ĐỒNG

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

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

BIÊN BẢN CHẤM LUẬN VĂN TỐT NGHIỆP THẠC SĨ_NĂM 2019
NGÀNH: Kỹ thuật Cơ khí_KHÓA 2017-2019

Hội đồng chấm LVTN theo QĐ số: 2168/*QĐ-ĐHSPKT-SĐH, ngày 09/10/2019*
Có mặt : 04 Vắng mặt: 01
Chủ tịch Hội đồng : *PGS.TS. Nguyễn Trường Thịnh*
Thư ký Hội đồng : *TS. Phạm Thị Hồng Nga*
Học viên bảo vệ LVTN : ***Bùi Văn Thời*** *MSHV:* ***1780418***
Giảng viên hướng dẫn : *PGS.TS. Phạm Sơn Minh*
Giảng viên phản biện : *PGS.TS. Phạm Huy Tuân*
TS. Nguyễn Thanh Hải
Tên đề tài LVTN : ***NGUYÊN CỨU ẢNH HƯỞNG THÔNG SỐ IN 3D NHỰA ĐẾN ĐỘ CHÍNH XÁC KÍCH THƯỚC SẢN PHẨM***

I. KẾT QUẢ BẢO VỆ:

TT	Thành viên hội đồng	Kết quả bảo vệ	Ghi chú
1	PGS.TS. Nguyễn Trường Thịnh	5.5	
2	TS. Phạm Thị Hồng Nga	6.5	
3	PGS.TS. Phạm Huy Tuân	5.5	
4	TS. Nguyễn Thanh Hải	—	
5	TS. Nguyễn Đức Nam	6.5	
Tổng điểm		24.0	
Điểm trung bình		6.0	

II. KẾT LUẬN:

(Thư ký hội đồng ghi rõ các ý kiến của thành viên hội đồng về việc chỉnh sửa, bổ sung những nội dung gì trong LVTN)

- Sửa theo ý kiến của 2 phản biện
- Bổ sung Chương Kết luận
- Nội dung nghiên cứu quá đơn giản, chưa phù hợp với luận văn cao học.
- Bổ sung cơ sở để thiết kế mẫu, đánh giá ?
- Cần xác định mục tiêu cơ bản của đề tài
- Cần viết hoa kết tất cả các khái niệm bằng tiếng Anh
- Bổ sung, xác định thông số ảnh hưởng đến độ chính xác kích thước sản phẩm in 3D là như thế nào ?
- Cần có kết luận về ảnh hưởng của các thông số này
- Rút gọn số trang của luận văn

Tp.Hồ Chí Minh, ngày 26 tháng 10 năm 2019

CHỦ TỊCH HỘI ĐỒNG
(Ký, ghi rõ học hàm, học vị & họ tên)

PGS.TS. Nguyễn Trường Thịnh

THƯ KÝ HỘI ĐỒNG
(Ký, ghi rõ học hàm, học vị & họ tên)

TS. Phạm Thị Hồng Nga

NHẬN XÉT CỦA GIẢNG VIÊN PHẢN BIỆN 1

HCMUTE

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

PHIẾU NHẬN XÉT
LUẬN VĂN THẠC SỸ - HƯỚNG ỨNG DỤNG

(Dành cho giảng viên phản biện)

Tên đề tài luận văn thạc sỹ: ***NGUYÊN CỨU ẢNH HƯỞNG THÔNG SỐ IN 3D NHỰA ĐẾN ĐỘ CHÍNH XÁC KÍCH THƯỚC SẢN PHẨM***
Tên tác giả: ***Bùi Văn Thời*** MSHV: ***1780418***
Ngành: ***Kỹ thuật cơ khí*** Khóa: 2017-2019
Họ và tên người phản biện: ***TS. Nguyễn Thanh Hải***
Chức danh: Giảng viên Học vị: Tiến Sĩ
Cơ quan công tác: ĐH Bách Khoa TpHCM
Điện thoại liên hệ: 0938493366

I. Ý KIẾN NHẬN XÉT

1. Về hình thức & kết cấu luận văn.

Trang bìa, tên Tác giả cần phải ghi có dấu, tiếng Việt

Mục lục, phần thư mục con phải thụt đầu dòng. Ví dụ, mục 1.7.1, 1.7.2 phải thụt vào so với mục 1.7. Tương tự cho các đề mục bên dưới mục con: 2.1.1, 2.1.2...

Chương 3, phần chữ "Phương pháp thực nghiệm" bị nhảy xuống dòng. Cần hiệu chỉnh lại. Chương 4 cũng bị giống như vậy.

Mục lục hình ảnh đúng chuẩn.

Tài liệu tham khảo ghi chưa đúng chuẩn.

2. Về nội dung

2.1 Nhận xét về tính khoa học, rõ ràng, mạch lạc, khúc chiết trong luận văn.

Số liệu trong hình 1.1 chưa ghi rõ tài liệu tham khảo. Phần tài liệu tham khảo trong nước chưa có tìm hiểu sâu về các nghiên cứu của những nhà khoa học đã thực hiện.

Hình ảnh, cách trình bày phần mềm dễ hiểu, xúc tích, người đọc có thể thao tác thực hiện lại dễ dàng.

2.2 Nhận xét đánh giá việc sử dụng hoặc trích dẫn kết quả NC của người khác có đúng qui định hiện hành của pháp luật sở hữu trí tuệ.

Tác giả sử dụng 16 tài liệu tham khảo. Tuy nhiên, có vài chỗ tác giả chưa trích dẫn nguồn cụ thể. Ví dụ ở các mục 1.5 và 1.6.

2.3 Nhận xét về mục tiêu nghiên cứu, phương pháp nghiên cứu sử dụng trong LVTN.

Mục tiêu nghiên cứu tác giả chưa đưa ra thành đề mục mà nằm trong phần: Phương pháp nghiên cứu. Đề nghị tác giả đưa ra thành đề mục riêng.

Tuy nhiên, các mục tiêu này tương đối cụ thể và rõ ràng.

Đối tượng và phạm vi nghiên cứu phù hợp.

2.4 Nhận xét Tổng quan của đề tài.

Đề tài cơ bản nêu ra được phần tổng quan. Tuy nhiên, tác giả cần trình bày thêm các nghiên cứu cụ thể của những nhà khoa học trong và ngoài nước.

2.5 Nhận xét đánh giá về nội dung & chất lượng của LVTN.

Nội dung Luận văn phù hợp với tên đề tài. Chất lượng đủ.

2.6 Nhận xét đánh giá về khả năng ứng dụng, giá trị thực tiễn của đề tài.

Áp dụng cho việc giảng dạy ở các trường Đại học, cao đăng phù hợp.

2.7 Luận văn cần chỉnh sửa, bổ sung những nội dung gì (thiết sót và tồn tại).

Chỉnh sửa theo những góp ý ở phần trên.

II. CÁC VẤN ĐỀ CẦN LÀM RÕ

(Các câu hỏi của giảng viên phản biện)

1.Trong 19 thông số tác giả nghiên cứu, tác giả đánh giá như thế nào về sự liên hệ giữa các thông số đó với nhau?

2. Tác giả suy nghĩ như thế nào về việc áp dụng Quy hoạch thực nghiệm cho các thí nghiệm này?

III. ĐÁNH GIÁ

TT	Mục đánh giá	Đánh giá	
		Đạt	Không đạt
1	Tính khoa học, rõ ràng, mạch lạc, khúc chiết trong luận văn.	x	
2	Đánh giá việc sử dụng hoặc trích dẫn kết quả NC của người khác có đúng qui định hiện hành của pháp luật sở hữu trí tuệ.	x	
3	Mục tiêu nghiên cứu, phương pháp nghiên cứu sử dụng trong LVTN.	x	
4	Tổng quan của đề tài.	x	
5	Đánh giá về nội dung & chất lượng của LVTN.	x	
6	Đánh giá về khả năng ứng dụng, giá trị thực tiễn của đề tài.	x	

Đánh dấu chéo (x) vào ô muốn Đánh giá

IV. KẾT LUẬN

*(Giảng viên phản biện ghi rõ ý kiến "**Tán thành luận văn**" hay "**Không tán thành luận văn**")*

Đồng ý cho bảo vệ và có chỉnh sửa nhỏ theo góp ý.

TP Hồ Chí Minh, ngày 18 tháng 10 năm 2019

Người nhận xét

(Ký & ghi rõ họ tên)

TS. Nguyễn Thanh Hải

NHẬN XÉT CỦA GIẢNG VIÊN PHẢN BIỆN 2

HCMUTE

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

PHIẾU NHẬN XÉT
LUẬN VĂN THẠC SỸ - HƯỚNG ỨNG DỤNG

(Dành cho giảng viên phản biện)

Tên đề tài luận văn thạc sỹ: ***NGUYÊN CỨU ẢNH HƯỞNG THÔNG SỐ IN 3D NHỰA ĐẾN ĐỘ CHÍNH XÁC KÍCH THƯỚC SẢN PHẨM***
Tên tác giả: ***Bùi Văn Thời*** MSHV: ***1780418***
Ngành: ***Kỹ thuật cơ khí*** Khóa: 2017-2019
Họ và tên người phản biện: ***PGS.TS. Phạm Huy Tuân***
Chức danh: Phó Giáo sư - Giảng viên Cao cấp..... Học vị: Tiến Sĩ
Cơ quan công tác: Cơ Khí Chế Tạo Máy – ĐH Sư phạm kỹ thuật TpHCM
Điện thoại liên hệ: 0919636515

I. Ý KIẾN NHẬN XÉT

1. Về hình thức & kết cấu luận văn.

- Luận văn trình bày dài dòng, cách diễn đạt chưa khái quát được vấn đề, thiếu súc tích, cô đọng.
- Thiếu một Chương tổng kết chung cho toàn bộ nội dung thực hiện trong luận văn.

2. Về nội dung

2.1 Nhận xét về tính khoa học, rõ ràng, mạch lạc, khúc chiết trong luận văn.

- Hàm lượng khoa học của luận văn không cao, chỉ tiến hành thực nghiệm các thông số có sẵn của phần mềm để khảo sát mức độ ảnh hưởng đến độ chính xác kích thước của sản phẩm in 3D nhựa. Tuy nhiên dường như học viên chưa có sự sàng lọc phân tích để khảo sát xem yếu tố nào là thực sự có ảnh hưởng trực tiếp đến độ chính xác để tập trung nghiên cứu.
- Phương pháp khảo sát đơn giản.

2.2 Nhận xét đánh giá việc sử dụng hoặc trích dẫn kết quả NC của người khác có đúng qui định hiện hành của pháp luật sở hữu trí tuệ.

- Các tài liệu tham khảo, trích dẫn hầu hết là kiến thức phổ thông. Không thấy có tài liệu tham khảo dạng công trình nghiên cứu khoa học của các tạp chí chuyên ngành.
- Trong luận văn, không thấy có bất kỳ trích dẫn nào về việc tham khảo các nội dung ở nguồn nào như danh mục Tài liệu tham khảo liệt kê cuối luận văn.

2.3 Nhận xét về mục tiêu nghiên cứu, phương pháp nghiên cứu sử dụng trong LVTN.

- Có mục tiêu nghiên cứu rõ ràng. Tuy nhiên phương pháp nghiên cứu chưa mang tính khoa học cao.

2.4 Nhận xét Tổng quan của đề tài.

- Phần tổng quan chỉ là kiến thức phổ thông về lĩnh vực in 3D vốn đã rất phổ biến trong cuộc sống.

2.5 Nhận xét đánh giá về nội dung & chất lượng của LVTN.

- Nội dung và chất lượng của LVTN ở mức bình thường. Thậm chí có thể đánh giá chỉ ở mức độ của một Đồ án tốt nghiệp đại học.

2.6 Nhận xét đánh giá về khả năng ứng dụng, giá trị thực tiễn của đề tài.

- Đóng góp cho thực tiễn từ các kết quả của luận văn chưa cao.

2.7 Luận văn cần chỉnh sửa, bổ sung những nội dung gì (thiết sót và tồn tại).

- Kỹ năng trình bày báo cáo kỹ thuật chưa đạt. Chưa biết cách mô tả khái quát vấn đề. Trình bày dài dòng, thiếu súc tích, cô đọng. Sử dụng quá nhiều hình ảnh của phần mềm nhưng thông tin cung cấp là không nhiều.
- Tổng số trang hiện thời của LVTN là 202 trang. Cần viết rút gọn lại cho cô đọng và súc tích hơn.

II. CÁC VẤN ĐỀ CẦN LÀM RÕ

(Các câu hỏi của giảng viên phản biện)

1. Độ chính xác của kích thước sản phẩm in 3D nhựa ngoài các thông số có thể hiệu chỉnh được trong phần mềm in 3D, theo học viên còn có yếu tố nào bên ngoài nào khác ảnh hưởng đến độ chính xác kích thước này không?

III. ĐÁNH GIÁ

TT	Mục đánh giá	Đánh giá	
		Đạt	Không đạt
1	Tính khoa học, rõ ràng, mạch lạc, khúc chiết trong luận văn.		x
2	Đánh giá việc sử dụng hoặc trích dẫn kết quả NC của người khác có đúng qui định hiện hành của pháp luật sở hữu trí tuệ.		x
3	Mục tiêu nghiên cứu, phương pháp nghiên cứu sử dụng trong LVTN.	x	
4	Tổng quan của đề tài.	x	
5	Đánh giá về nội dung & chất lượng của LVTN.	x	
6	Đánh giá về khả năng ứng dụng, giá trị thực tiễn của đề tài.	x	

Đánh dấu chéo (x) vào ô muốn Đánh giá

IV. KẾT LUẬN

*(Giảng viên phản biện ghi rõ ý kiến "**Tán thành luận văn**" hay "**Không tán thành luận văn**")*

Tán thành luận văn

TP Hồ Chí Minh, ngày 23 tháng 10 năm 2019

Người nhận xét

(Ký & ghi rõ họ tên)

PGS.TS. Phạm Huy Tuân

LÝ LỊCH KHOA HỌC

I. LÝ LỊCH SƠ LƯỢC:

Họ & tên: BÙI VĂN THỜI Giới tính: Nam

Ngày, tháng, năm sinh: 15-01-1993 Nơi sinh: Phú Yên

Quê quán: Phú Yên Dân tộc: Kinh

Chỗ ở riêng hoặc địa chỉ liên lạc: Đường 182- Phường Tăng Nhơn Phú A-Quận 9

Điện thoại nhà riêng: 0353353156

E-mail: vanthoihbsg@gmail.com

II. QUÁ TRÌNH ĐÀO TẠO:

1.Đại học:

Hệ đào tạo: Chính quy Thời gian đào tạo từ 09/2015 đến 09/2017

Nơi học: Trường Đại học Sư Phạm Kỹ Thuật TP.HCM

Ngành học: Công Nghệ Chế Tạo Máy

Tên đồ án, luận án hoặc môn thi tốt nghiệp: *Nghiên cứu, thiết kế, tính toán cụm dao trên máy phay lăn răng CNC*

Ngày & nơi bảo vệ đồ án, luận án hoặc thi tốt nghiệp: 04/01/2017 tại Trường Đại học Sư Phạm Kỹ Thuật TP.HCM

Người hướng dẫn: PGS.TS Lê Hiếu Giang, ThS. Đặng Minh Phụng

2. Thạc sĩ:

Hệ đào tạo: Chính quy Thời gian đào tạo từ 10/2017 đến 10/2019

Nơi học (trường, thành phố): Trường Đại học Sư Phạm Kỹ Thuật TP.HCM

Ngành học: Kỹ Thuật Cơ Khí

Tên luận văn: *Nghiên cứu ảnh hưởng thông số in 3D nhựa đến độ chính xác của kích thước sản phẩm.*

Ngày & nơi bảo vệ luận văn: 19/10/2019 tại Trường Đại học Sư Phạm Kỹ Thuật TP.HCM

Người hướng dẫn: PGS.TS. Phạm Sơn Minh

III. QUÁ TRÌNH CÔNG TÁC CHUYÊN MÔN KỂ TỪ KHI TỐT NGHIỆP ĐẠI HỌC:

Thời gian	Nơi công tác	Công việc đảm nhiệm
2013-2015	Công ty CNC Tech	Nhân Viên Vận Hành Máy CNC
02/2017- Đến nay	Công ty Framas	Nhân viên Lập Trình CNC

LỜI CAM ĐOAN

Tôi cam đoan đây là công trình nghiên cứu riêng của cá nhân tôi, được thực hiện với sự hướng dẫn khoa học của PGS.TS. Phạm Sơn Minh.

Các số liệu, kết quả nêu trong luận văn là trung thực và chưa từng được ai công bố trong bất kỳ công trình nào khác.

Tp. Hồ Chí Minh, ngày 09 tháng 10 năm 2019

(Ký tên và ghi rõ họ tên)

BÙI VĂN THỜI

LỜI CẢM ƠN

Lời đầu tiên tôi xin bày tỏ lòng kính trọng và biết ơn sâu sắc nhất đến Thầy PGS.TS. Phạm Sơn Minh đã tận tình hướng dẫn, luôn quan tâm, động viên, khích lệ, giúp đỡ và tạo mọi điều kiện thuận lợi cho tôi trong suốt thời gian thực hiện luận văn. Tôi xin chân thành cảm ơn Ban giám hiệu, Phòng Đào Tạo trường Đại Học Sư Phạm Kỹ Thuật TP.HCM đã tạo điều kiện để tôi có thể hoàn thành chương trình đào tạo bậc cao học.

Trong suốt thời gian thực hiện luận văn tốt nghiệp, tôi xin chân thành cảm ơn quý thầy cô phụ trách chương trình đào tạo thạc sĩ đã truyền đạt những kiến thức quý báu, cung cấp nguồn tài liệu đầy đủ và kịp thời, đồng thời tôi cũng xin cám ơn vì luôn nhận được sự động viên giúp đỡ của tập thể cán bộ Khoa Cơ Khí Chế Tạo Máy của Trường Đại Học Sư Phạm Kỹ Thuật đã tạo điều kiện để tôi có thể hoàn thành chương trình đào tạo bậc cao học.

Tôi cũng mong muốn được cảm ơn bạn bè, đồng nghiệp và người thân đã động viên, giúp đỡ tôi trong suốt thời gian học tập và thực hiện luận văn.

Xin chân thành cảm ơn!

TP.HCM, tháng 10 năm 2019.

TÓM TẮT

Hiện nay, máy in 3D với công nghệ FDM (Fused Deposition Molding) được sử dụng rất nhiều và phát triển rất nhanh bởi những ưu điểm như vật liệu thông dụng, không gây độc hại, chi phí thấp, và tạo mẫu nhanh. Tuy nhiên để có được một mẫu in có độ chính xác cao, thời gian hoàn thiện mẫu in nhanh và tiết kiệm được chi phí in thì cần phải có một thông số in phù hợp. Chính vì vậy, nhóm tác giả chọn đề tài nghiên cứu ảnh hưởng thông số in 3D nhựa đến độ chính xác kích thước sản phẩm với công nghệ FDM. Tiến hành nghiên cứu, phân tích lý thuyết dựa trên việc tham khảo, tìm kiếm các bài báo và các tài liệu trong nước và quốc tế có liên quan đến in 3D. Tiến hành các thí nghiệm trên các mẫu in có thông số in (mật độ điền đầy, dạng điền đầy ở bên trong, ở mặt trên và mặt dưới mẫu in, độ dày từng lớp in, các dạng điền đầy support, số lớp in, tốc độ và vật liệu) in khác nhau. Sau khi in trên máy in có độ chính xác cao, thời gian in được kiểm tra, và độ sai lệch kích thước đối với các mẫu in được đo kiểm. Kết quả cho thấy rằng mẫu in sử dụng vật liệu PLA, dạng điền đầy biên trong mẫu: dạng tổ ong, dạng điền đầy mặt trên/dưới mẫu: dạng đường thẳng zigzag, và mật độ điền đầy 60-80 %, số lớp in thành mẫu 7 lớp, số lớp in mặt trên và mặt dưới mẫu in 6-7 lớp, tốc độ in 60-70(mm/s), và độ dày từng lớp 0.2-0.3(mm) thì mẫu in đạt độ chính xác cao, chất lượng bề mặt mịn bóng, thời gian hoàn thiện mẫu in nhanh, và tiết kiệm được chi phí.

Học viên thực hiện

BÙI VĂN THỜI

ABSTRACT

Currently, the 3D printer machine with FDM (Fused Deposition Molding) technique is popular using and fast developing by many advantages such as common materials, non-toxic, low cost and creating quickly product. However, in order to create a high-precision print pattern, finish printing fast time and save printing costs, an appropriate printing parameter is required. Therefore, the authors choose and performed this research: affects the 3D printing parameters on the accuracy of plastic product by the FDM technology. We have researched, analyzed from the reference, domestic and international science articles related to 3D printing. Beside we also did the experiments on printed patterns with different print specifications. (infill Density, infill Pattern: honeycomb, Top/Bottom infill: (rectilinear, concentric, hilbert curve, octagram spiral), Layer height (mm), Support, Thickness, Horizontal shells/Solid layer/ top-bottom, Speed and different materials). After printing on a high-precision printer, checked the print time and tested the size deviations of the printed samples. The results show that the printed samples used PLA material, the full filled inside the samples infill Pattern: (rectilinear), Top/Bottom infill (rectilinear, concentric), infill Density: 60-80%, Horizontal shells/Solid layer/ top-bottom: 6-7, Speed: 60-70(mm/s), Layer height: 0.2-0.3(mm)) have high accuracy, the surface quality is glossy, the time for finishing the sample is quick, and the cost is saved.

Author

BUI VAN THOI

MỤC LỤC

LÝ LỊCH KHOA HỌC ..... **i**

LỜI CẢM ƠN ..... **iv**

TÓM TẮT ..... **v**

MỤC LỤC ..... **vii**

MỤC LỤC HÌNH ẢNH ..... **x**

CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN **2**

1.1 Công nghệ in 3d **2**
1.2 Lịch sử phát triển công nghệ in 3d **3**
1.3 Tình hình công nghệ in 3d một số nước trên thế giới **5**
1.4 Tình hình công nghệ in 3d ở việt nam **9**
1.5 Ứng dụng trong sản xuất và đời sống **10**
1.6 Tổng quan nghiên cứu **13**
1.7 Ý nghĩa khoa học và thực tiễn đề tài **18**
1.7.1 Ý nghĩa khoa học: 18
1.7.2 Thực tiễn của đề tài: 18
1.8 Mục tiêu nghiên cứu **18**
1.9 Phương pháp nghiên cứu **18**
1.10 Đối tượng nghiên cứu **19**
1.11 Phạm vi nghiên cứu **19**

CHƯƠNG 2: TÌM HIỂU CƠ SỞ LÍ THUYẾT VÀ CÔNG CỤ SỬ DỤNG **21**

2.1 Tìm hiểu cơ sở lí thuyết **21**
2.1.1 khái quát chung về máy in 3D 21
2.1.2 Công Nghệ Tạo Mẫu Nhanh FDM 23
2.2 Tổng quan vật liệu nhựa **24**
2.2.1 Vật liệu nhựa ABS 24
2.2.2 Vật liệu nhựa PLA 25
2.2.3 Vật liệu nhựa PETG 26
2.3 Tìm hiểu công cụ sử dụng và cơ sở để thiết kế mẫu **26**
2.3.1 Phần mềm autocad 26
2.3.2 Cơ sở thiết kế mẫu 28

CHƯƠNG 3: PHƯƠNG PHÁP THỰC NGHIỆM **31**

3.1 Phần mềm điều khiển và mô phỏng ứng dụng cho việc nghiên cứu **31**

3.1.1 Thông số phần mềm cam repetier host 32
3.1.1.1 Thiết lập máy in 3d 32
3.1.1.2 Thiết lập slicer 32
3.1.2 Các bước cơ bản để in 3d 35
3.1.2.1 Dựng hình 3d bằng phần mềm vẽ 3d và xuất file 3d ra định dạng stl 35
3.1.2.2 Đưa file stl vào phần mềm in 3d repetier host 36
3.2 Thiết kế thí nghiệm 38
3.3 Thông số tiến hành thí nghiệm 40
3.3.1 Thông số thí nghiệm với sự thay đổi vật liệu 40
3.3.2 Thông số thí nghiệm với sự thay đổi mật độ điền đầy 41
3.3.3 Thông số thí nghiệm với sự thay đổi kiểu in bên trong mẫu 42
3.3.4 Thông số thí nghiệm với sự thay đổi kiểu in ở mặt trên mẫu 43
3.3.5 Thông số thí nghiệm với sự thay đổi support 44
3.3.6 Thông số thí nghiệm với sự thay đổi độ dày từng lớp in 46
3.3.7 Thông số thí nghiệm với sự thay đổi tốc độ in 47
3.3.8 Thông số thí nghiệm với sự thay đổi số lớp in mặt trên mẫu in 48
3.3.9 Thông số thí nghiệm với sự thay đổi số lớp in mặt dưới mẫu in 49
3.3.10 Thông số thí nghiệm với sự thay đổi số lớp in bên thành mẫu in 50
3.3.11 Thông số thí nghiệm với sự thay đổi độ dày lớp in đầu tiên mẫu 51
CHƯƠNG 4: PHÂN TÍCH KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM VÀ THẢO LUẬN ..53
4.1 Kiểu đường di chuyển bên trong mẫu in 53
4.1.1 Hình ảnh thực nghiệm kiểu đường di chuyển: 53
4.1.2 Kết quả thực nghiệm 55
4.2 Kiểu đường di chuyển ở mặt bên trên và bên dưới mẫu in 59
4.3 Thay đổi vật liệu in 63
4.3.1 Hình ảnh thực nghiệm 63
4.3.2. Kết quả thực nghiệm và nhận xét 65
4.4 Thử nghiệm độ chính xác với các dạng chiều dày của mẫu in 68
4.4.1 Hình ảnh thực nghiệm 68
4.4.2 Hình ảnh thực nghiệm độ dày độ dày ở lớp trên và lớp dưới mẫu in 70
4.4.2.1 Thay đổi chiều dày thành mẫu in 71
4.4.2.2 Thay đổi chiều dày ở lớp dưới mẫu in 75
4.4.2.3 Thay đổi chiều dày ở lớp trên mẫu in 80
4.5 Thử nghiệm độ chính xác với các mật độ điền đầy sản phẩm 83
4.6 Thử nghiệm độ chính xác với các dạng thay đổi số lớp in bên thành 85
4.7 Thử nghiệm độ chính xác với các dạng thay đổi số lớp in bao phủ bên trên cùng mẫu in 86

4.8 Thử nghiệm độ chính xác với các dạng thay đổi số lớp in bao phủ bên dưới cùng mẫu in 87
4.9 Thử nghiệm độ chính xác với các dạng thay đổi kiểu đường di chuyển khi in support.....89
4.10 Thử nghiệm độ chính xác với các dạng thay đổi kiểu góc nghiêng khi in support 90
4.11 Thử nghiệm độ chính xác với các dạng thay đổi tốc độ in thành của mẫu in 92
4.12 Thử nghiệm độ chính xác với các dạng thay đổi tốc độ in phần điền đầy bên trong mẫu in 93
4.13 Thử nghiệm độ chính xác với kiểu thay đổi độ dày lớp in 95
4.14 Thử nghiệm độ chính xác với kiểu thay đổi độ dày lớp in đầu tiên 96
CHƯƠNG 5: KẾT LUẬN.....98
TÀI LIỆU THAM KHẢO 100

MỤC LỤC HÌNH ẢNH

***Hình 1.1**: Biểu đồ phát triển của công nghệ in 3D [23]*.....5
***Hình 1.2**: Kết quả ảnh hưởng của độ dày từng lớp in đến thời gian [23]*.....6
***Hình 1.3**: Kết quả ảnh hưởng của độ dày từng lớp in đến tiêu hao vật liệu*.....6
***Hình 1.4**: Kết quả ảnh hưởng của độ dày từng lớp in đến độ chính xác [23]* ..6
***Hình 1.6**: Kiểu zigzag*.....8
***Hình 1.7**: Kiểu concentric*.....8
***Hình 1.8**: Máy in 3D maker starter [1]* 10
***Hình 1.9**: Máy in 3D creator X [1]*.....10
***Hình 1.10**: Chiếc xe Urbee được in bằng công nghệ 3D [23]* 11
***Hình 1.11**: Loa điện tử in bằng công nghệ 3D*.....11
***Hình 1.12**: Răng giả in bằng công nghệ 3D*.....11
***Hình 1.13**: Hình học bằng công nghệ in 3D*.....12
***Hình 1.14**: Xây nhà bằng in 3D*.....12
***Hình 1.15**: Độ dày lớp in [12]* 15
***Hình 1.16**: Tốc độ in 30 mm/s [16]* 15
***Hình 1.17**: Tốc độ in 40 mm/s [16]* 15
***Hình 1.18**: Tốc độ in 80 mm/s [16]* 15
***Hình 1.19**: Mật độ điền đầy 20% [10]*
***Hình 1.20**: Mật độ điền đầy 40% [10]*.....16
***Hình 1.21**: Góc nghiêng khi in [17]* 16
***Hình 1.22**: Kiểu rectilinear*.....16
***Hình 1.23**: Kiểu line*.....16
***Hình 1.24**: Kiểu concentric*.....16
***Hình 1.27**: Kiểu archimedeanchords*
***Hình 1.28**: Kiểu octagramspirals* 17
***Hình 1.29:** Thông số điều chỉnh*.....20
***Hình 2.0:** Cấu trúc máy in 3D* 21
***Hình 2.1:** Sơ đồ nguyên lý hệ thống CAD CAM [15]* 22
***Hình 2.2:** Sơ đồ nguyên lý tạo mẫu FDM [5]*.....23
***Hình 2.3:** Phần nhô ra mẫu in có góc giới hạn theo phương thẳng đứng <45 độ [28]* 29
***Hình 2.6:** Mẫu thí nghiệm*.....31
***Hình 2.7:** Mẫu thí nghiệm sau khi in* 31
***Hình 3.2**: Tab Slicer*.....33
***Hình 3.3**: Kết nối máy tính với máy in*.....36
***Hình 3.4**: Xoay chi tiết theo các trục*.....37

***Hình 3.5**: Phóng to/ thu nhỏ theo các trục 37*
***Hình 3.6**: Start print.....38*
***Hình 3.7**: Giá trị trung bình thông số thí nghiệm.....39*
***Hình 3.8**: Giá trị thay đổi thông số thí nghiệm.....40*
***Hình 3.11**: Thiết lập mật độ điền đầy: 20% 41*
***Hình 3.12**: Thiết lập kiểu in bên trong mẫu: rectilinear 42*
***Hình 3.13**: Thiết lập kiểu in ở mặt trên mẫu: rectilinear 43*
***Hình 3.14**: Thiết lập kiểu di chuyển đầu in khi in Support: pillars.....44*
***Hình 3.15**: Thiết lập góc nghiêng in: 0°c 45*
***Hình 3.16**: Thiết lập độ dày lớp in: 0.2mm 46*
***Hình 3.17**: Thiết lập tốc độ in thành: 40mm/s.....47*
***Hình 3.18**: Thiết lập tốc độ in bên trong mẫu in: 60mm/s 48*
***Hình 3.19**: Thiết lập số lớp in mặt trên mẫu: 3 .....49*
***Hình 3.20**: Thiết lập số lớp in mặt dưới mẫu in: 3 .....50*
***Hình 3.21**: số lớp in bên thành mẫu: 3 .....51*
***Hình 3.22**: Thiết lập độ dày lớp in đầu tiên mẫu: 0.3mm.....52*
***Hình 4.1**: Kiểu đường di chuyển rectilinear.....53*
***Hình 4.1**: Kiểu đường di chuyển rectilinear.....53*
***Hình 4.2**: Kiểu đường di chuyển line.....54*
***Hình 4.3**: Kiểu đường di chuyển concentric.....54*
***Hình 4.4**: Kiểu đường di chuyển honeycomb 54*
***Hình 4.5**: Kiểu đường di chuyển archimedeanchords.....55*
***Hình 4.6**: Kiểu đường di chuyển hilbertcure.....55*
***Hình 4.7**: Độ sai lệch kích thước theo phương x y z.....55*
***Hình 4.8**: Biểu đồ thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z ở kiểu di chuyển line.....56*
***Hình 4.9**: Biểu đồ thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z ở kiểu di chuyển concentric.....56*
***Hình 4.10**: Biểu đồ thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z ở kiểu di chuyển rectiliner.....57*
***Hình 4.11**: Biểu đồ thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z ở kiểu di chuyển honeycomb.....57*
***Hình 4.12**: Biểu đồ thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z ở kiểu di chuyển 3d honeycomb.....58*
***Hình 4.14**: Độ sai lệch kích thước theo phương x y z.....59*
***Hình 4.15**: Biểu đồ thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z ở kiểu di chuyển concentric.....60*

***Hình 4.16**: Biểu đồ thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y zở kiểu di chuyển rectiliner 60*
***Hình 4.17**: Biểu đồ thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z ở kiểu di chuyển Hilbert curve 61*
***Hình 4.18**: Biểu đồ thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z ở kiểu di chuyển octagam spiral.....61*
***Hình 4.19**: Biểu đồ thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z ở kiểu di chuyển archimedeanchords 62*
***Hình 4.21**: Đường di chuyển đầu in ở mặt đáy và mặt trên khi sử dụng nhựa PLA 63*
***Hình 4.22**: In ở vị trí thành và vị trí support mẫu khi sử dụng nhựa PLA 63*
***Hình 4.23**: Chi tiết hoàn thiện khi sử dụng nhựa PLA để in 64*
***Hình 4.24**: Hình cuộn nhựa in ABS 64*
***Hình 4.25**: In ở thành và vị trí support mẫu in khi sử dụng nhựa ABS.....64*
***Hình 4.26**: Cuộn nhựa PETG dùng để in 65*
***Hình 4.27**: In ở thành và vị trí support mẫu in khi sử dụng nhựa PETG.....65*
***Hình 4.28**: Độ sai lệch kích thước theo phương x y z.....65*
***Hình 4.29**: Biểu đồ thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi sử dụng vật liệu ABS 66*
***Hình 4.30**: Biểu đồ thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi sử dụng vật liệu PLA 66*
***Hình 4.31**: Biểu đồ thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi sử dụng vật liệu PETG 67*
***Hình 4.32**: Biểu đồ tổng thể thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z của 3 loại vật liệu PLA, ABS, PETG 67*
***Hình 4.33**: Độ dày thành mẫu in: 4mm 68*
***Hình 4.34**: Độ dày thành mẫu in: 5mm 69*
***Hình 4.35**: Độ dày thành mẫu in: 6mm 69*
***Hình 4.36**: Độ dày thành mẫu in: 7mm 69*
***Hình 4.37**: Độ dày thành mẫu in: 8mm 70*
***Hình 4.38**: Độ dày lớp dưới mẫu in: 6mm.....70*
***Hình 4.39**: Độ dày lớp dưới mẫu in: 7mm.....70*
***Hình 4.40**: Độ dày lớp dưới mẫu in: 8mm.....71*
***Hình 4.41**: Độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thay đổi chiều dày thành mẫu in 71*
***Hình 4.42**: Biểu đồ thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thành mẫu in :4mm 72*

***Hình 4.43**: Biểu đồ thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thành mẫu in:5mm 72*
***Hình 4.44**: Biểu đồ thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thành mẫu in: 6mm 73*
***Hình 4.45**: Biểu đồ thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thành mẫu in:7mm 73*
***Hình 4.46**: Biểu đồ thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thành mẫu in:8mm 74*
***Hình 4.48**: Độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thay đổi chiều dày lớp dưới mẫu in.....76*
***Hình 4.49**: Biểu đồ thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi chiều dày lớp dưới 4(mm) 76*
***Hình 4.51**: Biểu đồ thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi chiều dày lớp dưới 6(mm) 77*
***Hình 4.52**: Biểu đồ thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi chiều dày lớp dưới 7(mm) 78*
***Hình 4.53**: Biểu đồ thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi chiều dày lớp dưới 8(mm) 78*
***Hình 4.54**: Biểu đồ tổng thể thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thay đổi chiều dày lớp dưới mẫu in 79*
***Hình 4.55**: Độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thay đổi chiều dày lớp trên mẫu in 80*
***Hình 4.56**: Biểu đồ thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi chiều dày lớp trên 4(mm) 80*
***Hình 4.58**: Biểu đồ thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi chiều dày lớp trên 6(mm) 81*
***Hình 4.59**: Biểu đồ thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi chiều dày lớp trên 7(mm) 82*
***Hình 4.60**: Biểu đồ thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi chiều dày lớp trên 8(mm) 82*
***Hình 4.61**: Biểu đồ tổng thể thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thay đổi chiều dày lớp trên mẫu in 83*
***Hình 4.62**: Độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thay đổi mật độ điền đầy mẫu in 84*
***Hình 4.63**: Biểu đồ tổng thể thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thay đổi mật độ điền đầy mẫu in.....84*
***Hình 4.64**: Độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thay đổi số lớp in bên thành mẫu in 85*

***Hình 4.65**: Biểu đồ tổng thể thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thay đổi số lớp in bên thành mẫu in 86*
***Hình 4.66**: Độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thay đổi số lớp in bao phủ bên trên cùng mẫu in 86*
***Hình 4.67**: Biểu đồ tổng thể thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thay đổi số lớp in bao phủ bên trên cùng mẫu in 87*
***Hình 4.68**: Độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thay đổi số lớp in bao phủ bên dưới cùng mẫu in 88*
***Hình 4.69**: Biểu đồ tổng thể thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thay đổi số lớp in bao phủ bên dưới cùng mẫu in 88*
***Hình 4.70**: Độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thay đổi những kiểu đường di chuyển khi in support 89*
***Hình 4.71**: Biểu đồ tổng thể thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thay đổi những kiểu đường di chuyển khi in support 90*
***Hình 4.72**: Độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thay đổi những kiểu góc nghiêng khi in support của mẫu in 91*
***Hình 4.73**: Biểu đồ tổng thể thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thay đổi kiểu góc nghiêng khi in support của mẫu in 91*
***Hình 4.74**: Độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thay đổi tốc độ in thành của mẫu in 92*
***Hình 4.75**: Biểu đồ tổng thể thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thay đổi tốc độ in thành của mẫu in 93*
***Hình 4.76**: Độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thay đổi tốc độ in phần điền đầy bên trong của mẫu in 94*
***Hình 4.77**: Biểu đồ tổng thể thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thay đổi tốc độ in phần điền đầy bên trong của mẫu in 94*
***Hình 4.78**: Độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thay đổi độ dày lớp in 95*
***Hình 4.79**: Biểu đồ tổng thể thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thay đổi độ dày lớp in 96*
***Hình 4.80**: Độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thay đổi độ dày lớp in đầu tiên 97*
***Hình 4.81**: Biểu đồ tổng thể thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thay đổi độ dày lớp in đầu tiên 97*

MỞ ĐẦU

Các nước phát triển trên thế giới, sự đột phá về khoa học kỹ thuật đã giúp họ tìm ra những kỹ thuật tiên tiến áp dụng trong sản xuất, chế tạo. Đến thời điểm hiện nay, việc ứng dụng kỹ thuật trong cuộc sống, công việc cũng như nhiều lĩnh vực khác đã và đang được áp dụng phổ biến rộng rãi hơn. Công nghệ dù đi tới đâu cũng đều nhằm phục vụ và cải thiện đời sống con người, trong đó, sẽ có những công nghệ và phát minh có thể thay đổi toàn diện cuộc sống con người.

Những xu hướng công nghệ sẽ thay đổi cuộc sống tương lai:

+ Trí tuệ nhân tạo–Robot.

+ Công nghệ nano và khoa học vật liệu.

+ Công nghệ in 3D.

+ Sự nở rộ của các thiết bị đeo được.

+ Công nghệ pin và sạc không dây.

+ Màn hình cong.

+ Smart home.

+ Điện toán đám mây.

+Thương mại điện tử.

+ Thực tế ảo.

Công nghệ in 3D là một trong những xu hướng phát triển của khoa học kỹ thuật, đang thu hút sự chú ý của hàng loạt các nước trên thế giới. Công nghệ in 3D hiện giờ đã không còn quá xa lạ với giới chuyên môn và người sử dụng trên toàn thế giới.

Vật liệu in 3D và các thông số in nó ảnh hưởng rất lớn đến độ chính xác của sản phẩm in 3D. Hiện nay có rất nhiều loại nhựa dùng cho máy in 3D FDM: ABS, PLA, PETG, HIPS, FLEX, ASA, Nylon… Trong đó 3 loại nhựa phổ biến nhất hiện nay là PLA, ABS và PETG.

Vì vậy để có một sản phẩm in tốt, thì việc lựa chọn vật liệu in và điều chỉnh các thông số in là rất quan trọng.

CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN

1.1 Công nghệ in 3d

Cách đây khoảng 40 năm về trước, những ai lần đầu tiên nghe tiếng phát ra trên radio, nhìn thấy hình mình trên 1 tấm giấy, hay xem những con người bé tí chạy nhảy trong chiếc hộp vuông thì ta đã thấy công nghệ đó thật hiện đại.Ngày nay khoa học công nghệ phát triển vượt bậc, đi bất cứ đâu chúng ta cũng nghe thấy TV 3D, phim 3D, âm thanh 3D, Hình 3D. Tất cả những cụm từ trên dùng để chỉ những công nghệ tạo ảo giác hình khối lên thị giác và thính giác của con người, nhằm mô phỏng lại những gì ta có thể thấy và nghe được. Nhưng 3D trong công nghệ in 3D là một định nghĩa hoàn toàn khác với 3D mang tính mô phỏng mà ta đã nói như ở trên.

In 3D ở đây sản phẩm thật, vật thể thật mà ta có thể cầm trên tay, quan sát một cách chính xác, 3D ở đây là mọi thứ xung quanh ta, mà từ nguyên thủy đến hiện nay ta vẫn tiếp xúc hàng ngày, quá quen thuộc mà ta chẳng gọi nó là 3D làm gì.

Thế nào là in 3D? In 3D là in ấn ra một vật thể theo không gian ba chiều (Dài-Rộng-Cao) mà ta có thể cầm nắm, quan sát hay sử dụng nó như: mô hình xe hơi, máy bay, lọ hoa, giày, quần áo... thậm chí là một ngôi nhà, đôi giày, cái chụp đèn ngủ. Đối với in 3D, cảm hứng sáng tạo là vô tận, tất cả những gì bạn cần là một ý tưởng tuyệt vời [1].

Công nghệ bồi đắp vật liệu (AM) đang được chú tâm bởi những lợi ích nó mang lại vô cùng to lớn. Nó có thể chế tạo sản phẩm một cách nhanh chóng với chi phí và thời gian được giảm đáng kể so với các công nghệ truyền thống. Từ dữ liệu thiết kế 3D trên máy tính (CAD – Computer Aided Design), các thiết bị AM tạo thành sản phẩm theo nguyên lý bồi đắp vật liệu theo từng lớp, lớp sau chồng lên lớp trước cho đến khi hoàn tất quá trình. Với nguyên lý trên, công nghệ AM có thể tạo ra những sản phẩm có hình dạng phức tạp một cách nhanh chóng mà các phương pháp gia công truyền thống khó hoặc không thể chế tạo được [4].

Mỗi công nghệ tạo mẫu có những ưu điểm riêng của nó. Trong đó, công nghệ FDM là một trong những công nghệ phổ biến nhất do giá thành rẻ và sử dụng các loại vật liệu thông dụng, dễ tìm và thân thiện đối với môi trường.

Công nghệ tạo mẫu nhanh, từ khi ra đời đến nay đã được cải tiến và phát triển rất nhiều. Hàng loạt phương pháp và công nghệ tạo mẫu ra đời như FDM (Fused Deposition Modeling, SLS (Selective Laser Sintering), SLA (Selective Laser

Sintering)… Mỗi công nghệ tạo mẫu có những ưu điểm riêng của nó. Trong đó, công nghệ FDM là một trong những công nghệ phổ biến nhất do giá thành rẻ và sử dụng các loại vật liệu thông dụng, dễ tìm và thân thiện đối với môi trường.

Công nghệ in 3D xu hướng của tương lai!

Công nghệ in 3D có những đặc điểm gì khiến các chuyên gia đánh giá đây là xu hướng phát triển đầy mạnh mẽ trong thời gian tới, xu hướng của tương lai?

Ưu điểm đầu tiên: Đúng như tên gọi của nó: công nghệ tạo mẫu nhanh công nghệ này có sự vượt trội về thời gian chế tạo một sản phẩm hoàn thiện. "Nhanh" ở đây cũng chỉ là một giới hạn tương đối. Thông thường, để tạo ra một sản phẩm mới mất khoảng từ 3-72 giờ, phụ thuộc vào kích thước và độ phức tạp của sản phẩm. Có thể bạn cho rằng khoảng thời gian này có vẻ chậm, nhưng so với thời gian mà các công nghệ chế tạo truyền thống thường mất từ nhiều tuần đến nhiều tháng để tạo ra một sản phẩm thì nó nhanh hơn rất nhiều. Chính vì cần ít thời gian hơn để tạo ra sản phẩm nên các công ty sản xuất tiết kiệm được chi phí, nhanh chóng đưa ra thị trường những sản phẩm mới.

Ưu điểm đặc biệt thứ 2: ví dụ ta có thể chế tạo được cái đầu người với đầy đủ bộ phận cả bên trong lẫn bên ngoài một cách chi tiết chỉ trong một lần thực hiện mà các phương pháp truyền thống không thể chế tạo được.

Cùng với sự phát triển của công nghệ và máy in 3D, sự phát triển của vật liệu in cũng không hề kém cạnh. Vật liệu in ban đầu chủ yếu là nhựa dẻo, bột kim loại hay bột sứ, nhưng với sự tìm hiểu nghiên cứu không ngừng nghỉ của con người, các vật liệu in ngày càng đa dạng.

Vật liệu in 3D: Có thể là nhựa PLA, ABS, PETG, Flexible, Wood, giấy, bột, polymer, kim loại, đặc biệt là socola, kem...các vật liệu này có đặc điểm là có sự kết dính với nhau để vật liệu lớp bên trên kết dính với lớp bên dưới được [1].

1.2 Lịch sử phát triển công nghệ in 3d

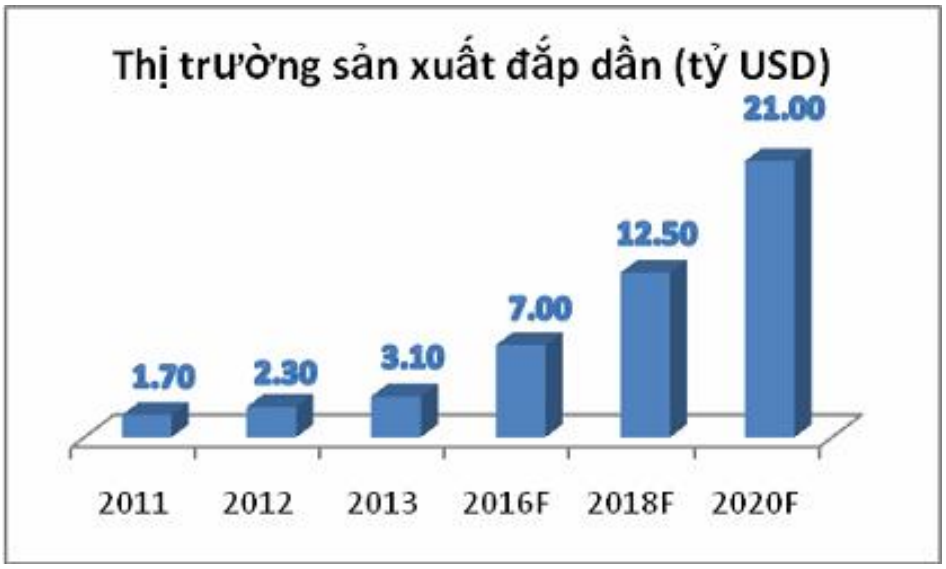
Cơ chế hay tính chất của công nghệ. Thuật ngữ "in 3D" sẽ cho người nghe hình dung về việc sử dụng máy in phun với đầu mực di động. Có rất nhiều thuật ngữ khác nhau được dùng để chỉ công nghệ sản xuất đắp dần, quen thuộc nhất là Công nghệ in 3D, bên cạnh những tên khác như Công nghệ tạo mẫu nhanh, Công

nghệ chế tạo nhanh và Công nghệ chế tạo trực tiếp. Như vậy, hầu hết các thuật ngữ này đều ra đời dựa trên chuyển trên giấy để tạo ra các sản phẩm hoàn thiện, giống như máy in bình thường hiện nay vẫn hay sử dụng tại văn phòng. Trên thực tế thì công nghệ sản xuất đắp dần cũng có thể hoạt động tương tự như vậy, nhưng nó còn có những quá trình, kĩ thuật tiến bộ hơn. Một cách cụ thể, Hiệp hội vật liệu và thử nghiệm Mỹ (American Society for Testing Materials - ASTM) đã đưa ra một khái niệm rõ ràng về công nghệ đắp dần: "Công nghệ sản xuất đắp dần là một quá trình sử dụng các nguyên liệu để chế tạo nên mô hình 3D, thường là chồng từng lớp nguyên liệu lên nhau, và quá trình này trái ngược với quá trình cắt gọt vẫn thường dùng để chế tạo xưa nay". Có thể thấy đây là một phương pháp sản xuất hoàn toàn trái ngược so với các phương pháp cắt gọt - hay còn gọi là phương pháp gia công, mài giũa vật liệu nguyên khối - bằng cách loại bỏ hoặc cắt gọt đi một phần vật liệu, nhằm có được sản phẩm cuối cùng. Còn với sản xuất đắp dần, ta có thể coi nó là công nghệ tạo hình như đúc hay ép khuôn, nhưng từ những nguyên liệu riêng lẻ để đắp dần thành sản phẩm cuối cùng.

Công nghệ sản xuất đắp dần ra đời đã được 30 năm nay. Năm 1986, Charles Hull **[1, 2, 3, 23]** sáng tạo ra một quá trình gọi là Stereolithography – sản xuất vật thể từ nhựa lỏng và làm cứng lại nhờ laser. Sau đó, ông Hull thành lập công ty 3DSystems, một trong những nhà cung cấp công nghệ lớn nhất hiện nay trong lĩnh vực sản xuất đắp dần. Nếu lập biểu thời gian thì chúng ta sẽ thấy công nghệ này phát triển theo một biểu đồ logarit. Từ 1986 đến 2007, trong 20 năm đầu tiên, công nghệ này mới chỉ có các bước đi nhỏ, chậm, đây được gọi là giai đoạn xâm nhập, bước nền cho công nghệ tạo mẫu nhanh. Tuy nhiên đến năm 2009, đã có một sự biến động lớn trên thị trường, nhiều bằng sáng chế về công nghệ này đã hết hạn bảo vệ bản quyền, trong đó có bằng sở hữu FDM. Quá trình Fuse Deposition Modelling (FDM) tạo hình sản phẩm nhờ nấu chảy vật liệu rồi xếp đặt chồng lớp, vốn được sở hữu bởi hãng Stratasys, một trong những đối thủ cạnh tranh hàng đầu trong lĩnh vực. Khi bằng sáng chế về FDM hết giá trị, công nghệ này đã thu hút nhiều nhà sản xuất tham gia. Giá thành sản xuất giảm và FDM trở thành một trong những chìa khóa công nghệ cơ bản của các máy sản xuất đắp dần được tiêu thụ trên thị trường hiện nay. Ngoài ra, đến năm 2014, các bằng sáng chế cho công nghệ Nung kết sử dụng laser (Selective Laser Sintering-SLS) cũng bắt đầu hết hạn, tạo cơ hội cho những sáng chế mới phát triển hơn nữa ngành sản xuất đắp dần, mở đường cho một

thời kỳ phát triển mạnh mẽ của ngành công nghiệp này trong tương lai rất gần.

Năm 2013, ngành công nghệ sản xuất đắp dần trị giá khoảng 3,1 tỷ USD/năm, tăng 35% so với năm 2012. Trong vòng sáu năm tới, tốc độ tăng trưởng trung bình được dự đoán ở mức cao, khoảng 32%/năm và đạt mức 21 tỷ USD vào năm 2020.



***Hình 1.1**: Biểu đồ phát triển của công nghệ in 3D [23]*

1.3 Tình hình công nghệ in 3d một số nước trên thế giới

[23] Công nghệ in 3D rất được quan tâm bởi các nước trên thế giới. Tăng cường trong sản xuất công nghiệp và giáo dục là chủ đề thu hút sự quan tâm của các nước với công nghệ này.

Ở Mỹ: công nghệ in 3D có vai trò là tiềm năng cách mạng hóa trong phương pháp sản xuất ra hầu hết tất cả mọi thứ. Chính phủ Mỹ đã hỗ trợ công nghệ này từ nhiều thập kỷ trước. Năm 2012, NAMII được thành lập nhằm thúc đẩy công nghệ in 3D ở Mỹ. Năm 2014, NAMII đầu tư 9 triệu USD cho việc nghiên cứu ứng dụng in 3D. Ngoài ra, quỹ khoa học quốc gia và bộ quốc phòng Mỹ rất quan tâm và đầu tư cho công nghệ in 3D.

Ở Trung Quốc (TQ): năm 2012, TQ đã đưa công nghệ in 3D vào chương trình nghiên cứu và phát triển công nghệ cao quốc gia. Chính phủ TQ cấp 6,5 triệu USD nghiên cứu tập trung về in 3D. 6/2013, TQ cam kết đầu tư 245 triệu USD cho việc nghiên cứu in 3D.

Ở Anh: 6/2013 Anh hỗ trợ 13,9 triệu USD cho các công ty tư nhân để phát triển in 3D. 2014, Anh công bố thành lập trung tâm quốc gia in 3D với khoản đầu tư 25 triệu USD.

Ở Nhật Bản (NB): 2014, NB dành khoảng 44 triệu USD trong ngân sách để hỗ trợ hoạt động nghiên cứu, phát triển công nghệ 3D.

Tình hình nghiên cứu thuộc lĩnh vực đề tài ở ngoài nước:

Đề tài "*Study on optimization of 3D printing parameters* (Nghiên cứu tối ưu hóa các thông số in 3D)" [26]

Nhóm nghiên cứu bao gồm Junhui Wu và các *cộng* sự thực hiện. Nghiên cứu tối ưu hóa các thông số in 3D. Tiến hành thử nghiệm thay đổi các thông số độ dày từng lớp in để xác định sự ảnh hưởng của thời gian in, tiêu hao vật liệu, và độ chính xác của mẫu in. Mẫu được in trên máy model Raise3D N2plus, với nhiệt độ đầu phun 210°C, vật liệu PLA, mật độ điền đầy 10%. Sau khi tiến hành thí nghiệm đã chỉ ra rằng độ dày từng lớp in càng nhỏ thì càng độ chính xác kích thước cao hơn. Với sự tăng độ dày từng lớp in, tỷ lệ chính xác kích thước thay đổi có xu hướng tăng. khi độ dày của lớp nhỏ thì tốc độ in chậm hơn. Khi lớp dày hơn, tốc độ in nhanh hơn, nhưng mô hình trở nên thô. khi chiều cao lớp là 0,14mm, thời gian in ngắn nhất có thể đạt được dưới tiền đề đảm bảo chất lượng in (hình 1.5).

Layer height (mm)	0.02	0.04	0.06	0.08	0.1	0.14	0.2	0.26	0.32	0.4
Printing time(h)	1.18	0.62	0.43	0.33	0.27	0.22	0.17	0.13	0.12	0.1

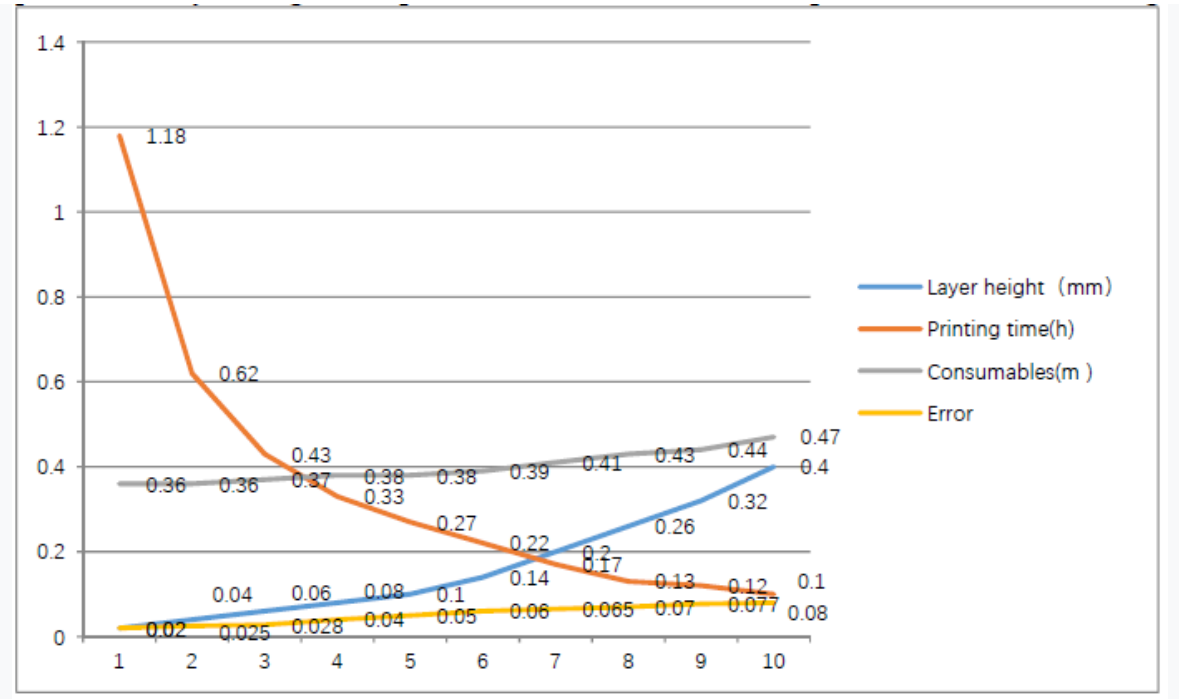
***Hình 1.2**: Kết quả ảnh hưởng của độ dày từng lớp in đến thời gian [23]*

Layer height (mm)	0.02	0.04	0.06	0.08	0.1	0.14	0.2	0.26	0.32	0.4
Consumables(m)	0.36	0.36	0.37	0.38	0.38	0.39	0.41	0.43	0.44	0.47

***Hình 1.3**: Kết quả ảnh hưởng của độ dày từng lớp in đến tiêu hao vật liệu [23]*

Layer height (mm)	0.02	0.04	0.06	0.08	0.1	0.14	0.2	0.26	0.32	0.4
Error(%)	2	2.5	2.8	4	5	6	6.5	7	7.7	8

***Hình 1.4**: Kết quả ảnh hưởng của độ dày từng lớp in đến độ chính xác [23]*



***Hình 1.5**: Biểu đồ ảnh hưởng của độ dày từng lớp in đến độ chính xác, thời gian, tiêu hao vật liệu [23]*

Đề tài "*Tối ưu hóa các thông số cho máy in 3D FDM*" [27]

Nhóm nghiên cứu bao gồm Yash Magdum, Divyansh Pandey, Akash Bankar, Shantanu Harshe, Vasudev Parab, Mr. Mahesh Shivaji Kadam thực hiện. Nghiên cứu tối ưu hóa các thông số in 3D. Tiến hành thử nghiệm thay đổi các thông số độ dày từng lớp in khác nhau (0,1 mm, 02mm & 0,3 mm), độ dày vỏ (0,6mm, 0,8mm và 1.0mm), mật độ điền đầy (50%, 75% và 100%), để xác định sự ảnh hưởng đến tính chất cơ học và độ chính xác của mẫu in. Sử dụng vật liệu PLA, với nhiệt độ đầu phun 215°C. Sau khi tiến hành thí nghiệm đã chỉ ra rằng tính chất cơ học và độ chính xác mẫu in tăng khi độ dày từng lớp in nhỏ, độ dày vỏ tăng và mật độ điền đầy tăng.

Đề tài "*Ảnh hưởng độ dày lớp đến tính chất bề mặt vật liệu in được sản xuất từ vật liệu bột gỗ và sợ nhựa PLA*" [12]

Nadir Ayrilmis và cộng sự [12] đã nghiên cứu ảnh hưởng của độ dày lớp in đến độ nhám bề mặt của mẫu in. Kết quả của nghiên cứu này cho thấy độ dày lớp in tác động trực tiếp đến độ nhám bề mặt. Độ nhám bề mặt tăng khi độ dày lớp in tăng. Thời gian in tăng khi giảm độ dày lớp in kéo dài thời gian sản xuất và tăng chi phí in. Dựa trên kết quả kiểm tra và thời gian in, lớp in có độ dày 0.2mm được đề xuất

là độ dày lớp in tối ưu. Khi bề mặt không láng mịn bóng thì sai số kích thước của mẫu in càng cao, qua đó ảnh hưởng rất lớn đến độ chính xác kích thước của mẫu.

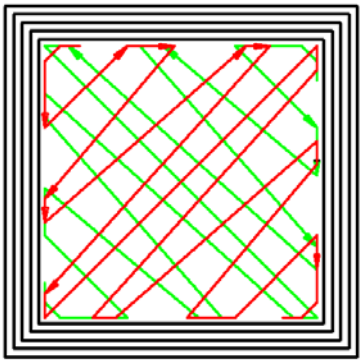
Đề tài *"Ảnh hưởng của các thông số độ dày lớp đến các tính chất cơ học và độ chính xác của vật liệu ABS."* [13]

Pritish Shubha, Arnab Sikidarn, Teg Chand [13] đã nghiên cứu và đưa ra kết luận độ dày lớp in đóng vai trò quan trọng trong việc điều chỉnh các cơ chế của vật liệu ABS. Khi độ dày lớp tăng thì độ bền kéo giảm, độ cứng giảm, và độ chính xác mẫu giảm.

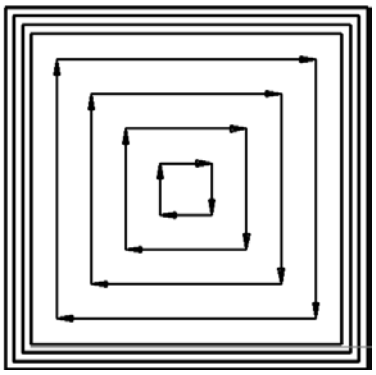
Đề tài *"Ảnh hưởng của các thông số mô hình infill đến thời gian, độ chính xác và độ nhám bề mặt mẫu in)"* [10].

Dhruv Maheshkumar Patel và cộng sự [10] đã đưa ra tầm ảnh hưởng của mật độ điền đầy đến chất lượng, độ nhám bề mặt và thời gian của mẫu.

Dhruv Maheshkumar Patel và cộng sự [10] đã nghiên cứu và đưa ra kết quả khi tăng mật độ điền đầy thì kiểu chạy nhựa dạng đồng tâm như: concentric (hình 1.7) sẽ tốn ít thời gian để in sản phẩm hơn các kiểu chạy nhựa dạng thẳng zigzag: rectilinear (hình 1.6) còn lại.



***Hình 1.6**: Kiểu zigzag*



***Hình 1.7**: Kiểu concentric*

Từ những thông tin trên thấy được những ứng dụng to lớn của công nghệ in 3D cũng như tác động, ảnh hưởng cụ thể của thông số in đến độ chính xác của sản phẩm.Vì vậy nghiên cứu ảnh hưởng thông số in đến độ chính xác kích thước sản phẩm in là vấn đề rất quan trọng nhằm nâng cao chất lượng mẫu in, tiết kiệm thời gian và chi phí in.

1.4 Tình hình công nghệ in 3d ở việt nam

Công nghệ in 3D ở việt Nam đã có mặt khoảng năm 2003, tuy nhiên do giá thành còn cao nên vẫn chưa được ứng dụng nhiều, chủ yếu dùng trong công tác nghiên cứu. Hiện nay công nghệ này được ứng dụng phổ biến hơn trong rất nhiều các lĩnh vực. Công nghệ in 3D có thể tăng trưởng lợi ích kinh tế tối đa cho doanh nghiệp nói chung và các cá nhân nói riêng. Với việc mua máy in 3D và có thể thiết kế 3D, bạn có thể biến ý tưởng thành vật mẫu chỉ trong thời gian ngắn.

Hiện nay, đối với các doanh nghiệp sản xuất công nghiệp, công đoạn tạo prototype thường chiếm khá nhiều thời gian trong quy trình nghiên cứu và phát triển sản phẩm mới, vì phải đưa mẫu thiết kế đến các cơ sở gia công thực hiện, nhưng độ chính xác lại chưa cao và tốn một khoản chi phí đáng kể.

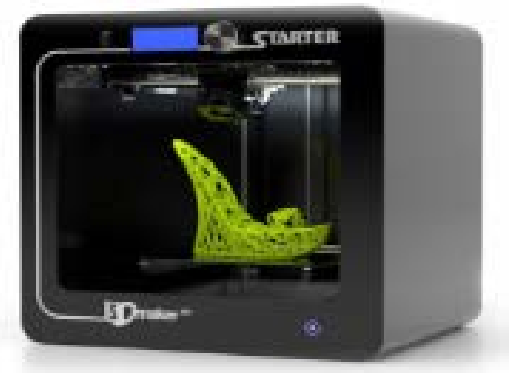
Tình hình nghiên cứu thuộc lĩnh vực đề tài ở ngoài nước:

ThS. Trần Minh Thế Uyên và cộng sự [4] sau khi thực nghiệm nghiên cứu trên mô hình máy, kiểm tra các mẫu in và đưa các kết quả như sau: honeycomb, archimedeanchords, 3dhoneycomb là các kiểu chạy nhựa tượng đối phù hợp với lớp ở phía trong khi với những kiểu chạy nhựa này có thể in với tốc độ cao hơn. Kiểu rectilinear, linear, concentric thường dùng cho những lớp đáy và lớp phía trên của mẫu in do đạt được thẩm mĩ cao hơn mặt khác, những lớp này không yêu cầu chạy tốc độ cao nên có thể sử dụng được những kiểu này.

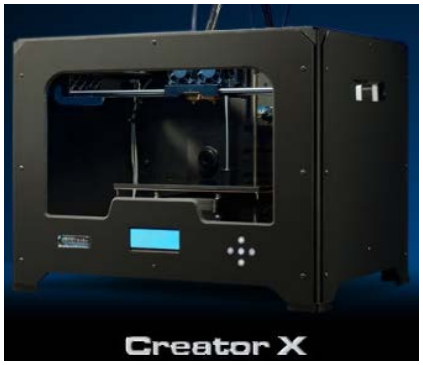
Đề tài "*Tối ưu hóa thông số quá trình nhằm cải thiện độ bền của sản phẩm FDM*'' PGS.TS. Thái Thị Thu Ha, TS. Nguyễn Hữu Tho, ThS. Huỳnh Hữu Nghị [24] đã thực hiên nghiên cứu điều chỉnh các thông số: kiểu điền đầy, mật độ điền đầy, số lớp thành, bề dày lớp, góc raster đến độ bền nén của sản phẩm FDM. Nhờ vào phương pháp thiết kế thí nghiệm (DOE) cho ta biết được số thí nghiệm cần làm đạt độ tin cậy cao. Phương pháp Taguchi đã giúp ta phân tích kết quả thí nghiệm và cho thấy được bộ thông số tối ưu nhất cho việc tăng độ bền nén. Phương pháp ANOVA sau khi phân tích cho thấy mật độ điền đầy là yếu tố quan trọng nhất đến độ bền nén của mẫu in.

Hiện nay trên thị trường Việt Nam có rất nhiều các công ty máy in 3D tham gia vào thị trường trong nước.

- Công ty 3D MAKER: chuyên nghiên cứu, sản xuất, phân phối các loại máy in 3D uy tín, chất lượng với nhiều dòng khác nhau: STARTER, PRO225, PRO230, PRO350...
- Công ty Flashgorge Việt Nam: công ty phân phối máy in 3D tại Việt Nam với nhiều loại máy đa dạng: 3D printer chocolate, 3D full color HD printer, 3D printer A Finder,3D Creator X…



***Hình 1.8**: Máy in 3D maker starter [1]*



***Hình 1.9**: Máy in 3D creator X [1]*

1.5 Ứng dụng trong sản xuất và đời sống

Công nghệ sản xuất chế tạo [6]:

Tất nhiên, các ngành công nghiệp sản xuất đã trở thành đối tượng sử dụng in 3D nhiều nhất. Lí do chính khiến công nghệ sản xuất đắp dần được sử dụng rộng dãi trong môi trường công nghiệp là do nó cho phép sản xuất các bộ phận với số lượng ít, bộ phận có hình dạng phức tạp, cắt giảm phế liệu, tạo nhanh sản phẩm thử nghiệm, sản xuất theo yêu cầu. Lí do nữa là in 3D giúp giảm độ phức tạp trong quản lí chuỗi cung ứng, cho phép sản xuất các bộ phận tại chỗ thay vì phải sản xuất ở nơi khác mang đến.

Ngành công nghiệp ô tô đã sử dụng in 3D để sản xuất những chiếc xe hoàn chỉnh. Trên thực tế, một chiếc xe tên là Urbee đã được sản xuất toàn bộ bằng công nghệ in 3D. Nhà sản xuất chiếc xe này đã tập trung vào việc tăng tối đa số lượng các bộ phận xe được in 3D với mục tiêu chính là tiết kiệm nhiên liệu.

***Hình 1.10**: Chiếc xe Urbee được in bằng công nghệ 3D [23]*

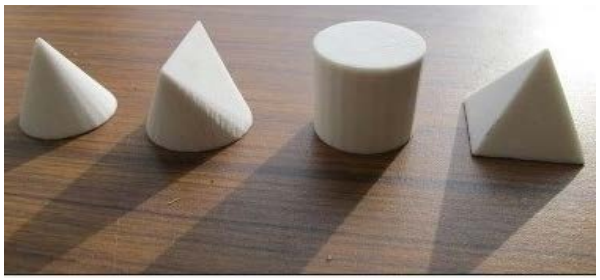
Công nghiệp điện tử [6] cũng là một trong những ngành ứng dụng đầu tiên của in 3D. Máy in 3D đã được sử dụng để chế tạo các bộ phận phức tạp đặc biệt từ các chất liệu khác nhau và đã mở ra một trào lưu mới của ngành công nghiệp này.

***Hình 1.11**: Loa điện tử in bằng công nghệ 3D*

Y tế, chăm sóc sức khỏe [6, 25]:

Công nghệ in 3D rất hữu ích trong y tế (sản xuất chân, tay, răng, tai giả…)

***Hình 1.12**: Răng giả in bằng công nghệ 3D*



***Hình 1.13**: Hình học bằng công nghệ in 3D*

Ngoài ra, công nghệ in 3D còn được dùng để thiết kế và sản suất các bộ phận cơ thể giúp cho phẫu thuật tái tạo và cấy ghép.

Giáo dục:

In 3D cũng có những ứng dụng thiết thực trong giáo dục, đặc biết liên quan đến các môn khoa học, công nghệ, kỹ thuật, kỹ năng toán học (hình 1.9)

Kiến trúc và xây dựng [6]:

Xây dựng các tòa nhà bằng máy in 3D khổng lồ. Vật liệu phổ biến nhất cho in xây dựng là nhựa, bê tông và cát. Phương pháp in 3D mang lại những cải tiến đáng kể về chất lượng, tốc độ, chi phí, đặc biệt là trong chi phí lao động, cải thiện tính linh hoạt, đảm bảo an toàn xây dựng và giảm các tác động môi trường.

***Hình 1.14**: Xây nhà bằng in 3D*

Trong gia đình [6]:

Máy in 3D để bàn có thể cho phép bạn sản xuất những gì bạn muốn ngay trong căn nhà riêng của mình, tất nhiên là với kích thước phù hợp với máy in và các nguyên liệu có thể có. Các vật dụng yêu thích như đồ chơi, đồ dùng và đồ trang trí

là những ứng dụng phổ biến nhất. Nhờ máy in 3D để mỗi người có thể tự thiết kế và sản xuất vật dụng theo yêu cầu riêng biệt, làm nên cá tính của bản thân…

1.6 Tổng quan nghiên cứu

Các thông số chính ảnh hưởng đến độ chính xác kích thước của mẫu in có thể được tóm tắt như sau:

Mật độ điền đầy (Fill density): Mật độ điền đầy xác định lượng nhựa điền đầy bên trong chi tiết in. Tỷ lệ phần trăm và mẫu ảnh hưởng đến trọng lượng in, sử dụng vật liệu, độ bền, thời gian in và đôi khi tính chất trang trí. Dhruv Maheshkumar Patel và cộng sự [10] đã đưa ra tầm ảnh hưởng của mật độ điền đầy đến chất lượng, độ nhám bề mặt và thời gian của mẫu. Cụ thể khi in ở mật độ 20% (hình 1.19) và 40% (hình 1.20) có sự khác biệt rất lớn về độ nhám bề mặt, cũng như thời gian in của sản phẩm.

Các dạng điền đầy (Infill pattern): Phần mềm Slic3r cung cấp khá nhiều đường chạy nhựa khác nhau để có thể lựa chọn đường chạy nhựa tối ưu cho từng loại mẫu in khác nhau. ThS. Trần Minh Thế Uyên và cộng sự [11] sau khi thực nghiệm nghiên cứu trên mô hình máy, kiểm tra các mẫu in và đưa các kết quả như sau: honeycomb, archimedeanchords, 3dhoneycomb là các kiểu chạy nhựa tượng đối phù hợp với lớp ở phía trong khi với những kiểu chạy nhựa này có thể in với tốc độ cao hơn. Kiểu rectilinear, linear, concentric thường dùng cho những lớp đáy và lớp phía trên của mẫu in do đạt được thẩm mĩ cao hơn mặt khác, những lớp này không yêu cầu chạy tốc độ cao nên có thể sử dụng được những kiểu này. Dhruv Maheshkumar Patel và cộng sự [10] đã nghiên cứu và đưa ra kết quả khi tăng mật độ điền đầy thì kiểu chạy nhựa dạng đồng tâm như: concentric (hình 1.24) sẽ tốn ít thời gian để in sản phẩm hơn các kiểu chạy nhựa dạng thẳng zigzag: rectilinear (hình 1.22) còn lại.

Độ dày lớp in (Layer height): Độ dày của mỗi lớp xác định độ phân giải của bản in theo cách tương tự như số pixel xác định độ phân giải của màn hình tivi hoặc máy tính. Chiều cao lớp thấp hơn thường dẫn đến các bộ phận có bề mặt mịn hơn. Nhược điểm là chiều cao lớp càng thấp thì càng mất nhiều thời gian để hoàn thành một bản in. Nadir Ayrilmis và cộng sự [12] đã nghiên cứu ảnh hưởng của độ dày lớp in đến độ nhám bề mặt của mẫu in. Kết quả của nghiên cứu này cho thấy độ dày lớp in tác động trực tiếp đến độ nhám bề mặt. Độ nhám bề mặt tăng khi độ dày lớp in tăng. Thời gian in tăng khi giảm độ dày lớp in kéo dài thời gian sản xuất và tăng

chi phí in. Dựa trên kết quả kiểm tra và thời gian in, lớp in có độ dày 0.2mm được đề xuất là độ dày lớp in tối ưu. Khi bề mặt không láng mịn bóng thì sai số kích thước của mẫu in càng cao, qua đó ảnh hưởng rất lớn đến độ chính xác kích thước của mẫu. [13] Pritish Shubha, Arnab Sikidarn, Teg Chand đã nghiên cứu và đưa ra kết luận độ dày lớp in đóng vai trò quan trọng trong việc điều chỉnh các cơ chế của vật liệu ABS. Khi độ dày lớp tăng thì độ bền kéo giảm, độ cứng giảm, và độ chính xác mẫu giảm.

Đối với các công nghệ FDM thì chiều cao lớp là một tham số thiết kế quan trọng ảnh hưởng đến thời gian in, chi phí, hình thức trực quan và tính chất vật lý của một phần được in.

Độ dày lớp in đầu tiên (First layer height): Mọi người đều biết rằng việc có được lớp đầu tiên của bạn đúng là 90% trong cuộc chiến để có được một bản in 3D thành công. Ngay cả khi nhiệt độ của bạn và mọi thứ khác đều chính xác, nếu chiều cao vòi phun của bạn tắt, bạn sẽ có độ bám dính kém trên lớp đầu tiên. Giảm chiều cao lớp đầu tiên và giữ chiều rộng ở mức 100% sẽ tạo ra độ bám dính tốt hơn với các đường nhỏ, chặt chẽ, gần như liền mạch.

Số lớp in thành, lớp đáy và lớp đỉnh (Solid layers) cần để in. Số lớp in bao phủ rất quan trọng đối với độ chính xác của mẫu. Bề mặt vật thể là từng lớp nhựa kết dính vào nhau. Số lớp quá thưa thì các lớp nhựa không có chỗ dựa chắc chắn, dễ biến dạng và tạo nên bề mặt sần sùi, nhiều khe hở. Tăng số lớp thì mẫu được điền đầy, chắc chắn. Qua đó tạo tiền đề cho các lớp trên chính xác theo.

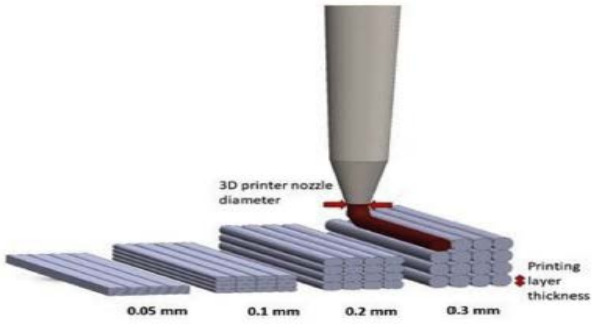
Độ dày thành (side thickness): liên quan đến số lớp mà tường ngoài sẽ có trước khi bắt đầu in. Cài đặt càng cao cho độ dày vỏ, các bức tường bên ngoài của đối tượng của bạn sẽ càng dày. Rõ ràng, các bức tường dày hơn tạo ra một vật thể chắc chắn hơn.

Độ dày lớp trên và lớp dưới (Top/Bottom Thickness): Cài đặt này xác định số lượng vật liệu sẽ được đặt xuống trước khi bắt đầu in ấn và bao nhiêu vật liệu sẽ được đặt sau khi in xong. Độ dày của vật liệu ở trên cùng và dưới cùng của đối tượng của bạn rất quan trọng vì vật liệu dày hơn ở dưới cùng của đối tượng của bạn sẽ cung cấp một cơ sở mạnh mẽ và ổn định hơn. Thứ hai, vật liệu dày hơn ở phía trên của đối tượng của bạn sẽ ngăn chặn sự chảy xệ và gối xảy ra khi lớp vật liệu trên cùng được đặt trên mạng tinh thể. Điều này đặc biệt quan trọng nếu bạn đang

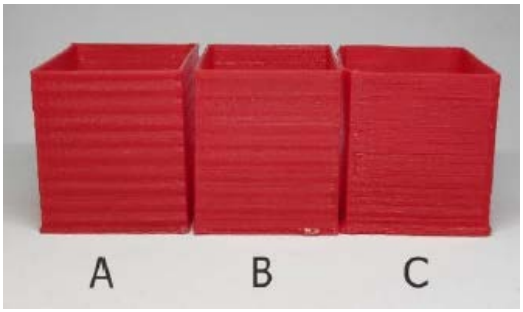
sử dụng cài đặt chiều cao lớp nhỏ hơn. Trong trường hợp như vậy, độ mỏng của lớp có thể không đủ để che phủ hoàntoàn lớp phủ trừ khi sử dụng nhiều lớp.

[16] Tốc độ in thành sản phẩm ảnh hưởng rất lớn đến khả năng bám dính của các lớp vật liệu. Tốc độ in quá thấp (hình 1.16) thì thời gian in càng lâu, tốc độ thấp có thể gây ra hiện tượng đùn nhựa ở đầu phun, gây tắc nghẽn đầu phun. Tốc độ in quá nhanh (hình 1.18) thì có thể khiến các đường nét sợi nhựa được đùn ra không đúng vị trí, khả năng bám dính của các lớp vật liệu thấp, sản phẩm bị biến dạng cong vênh.

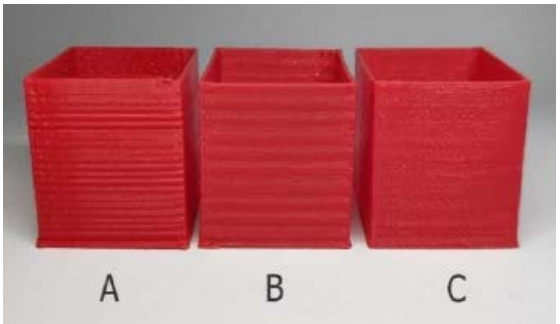
Hiện nay, đã có nhiều công trình nghiên cứu về ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến độ bền kéo, uốn, độ va đập... của sản phẩm. Tuy nhiên, độ chính xác kích thước cũng là một chỉ tiêu quan trọng cần được nghiên cứu. Mục đích nghiên cứu của bài báo này là cải thiện độ chính xác kích thước khi điều chỉnh các thông số quá trình dùng cụ thể cho mục đích sản xuất trong các ngành in 3D như ô tô, hàng không hay trong dân dụng. Sau khi có kết quả thí nghiệm ta có thể đánh giá mức độ ảnh hưởng của các thông số đến độ chính xác kích thước và từ đó đưa ra kết luận cho bài báo này.



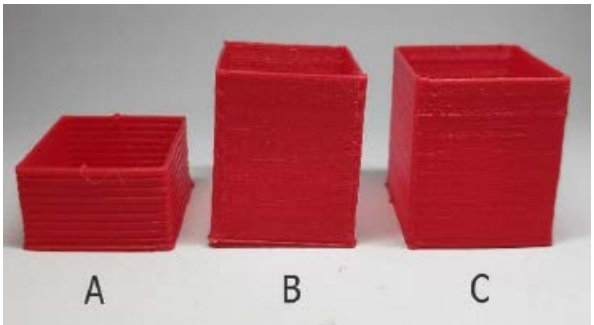
***Hình 1.15**: Độ dày lớp in [12]*



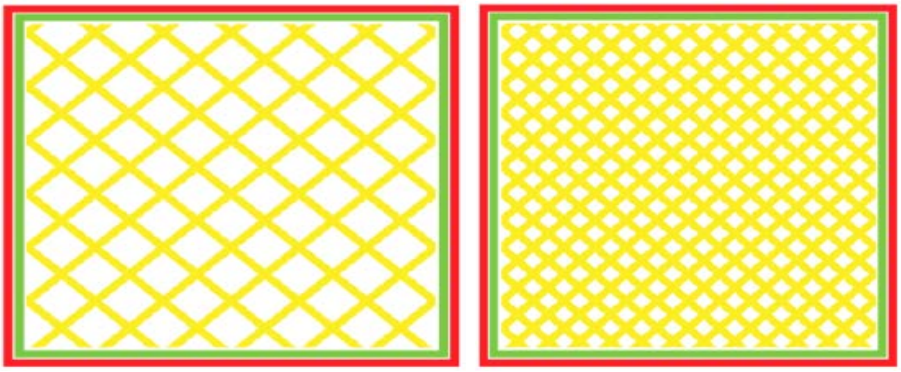
***Hình 1.16**: Tốc độ in 30 mm/s [16]*



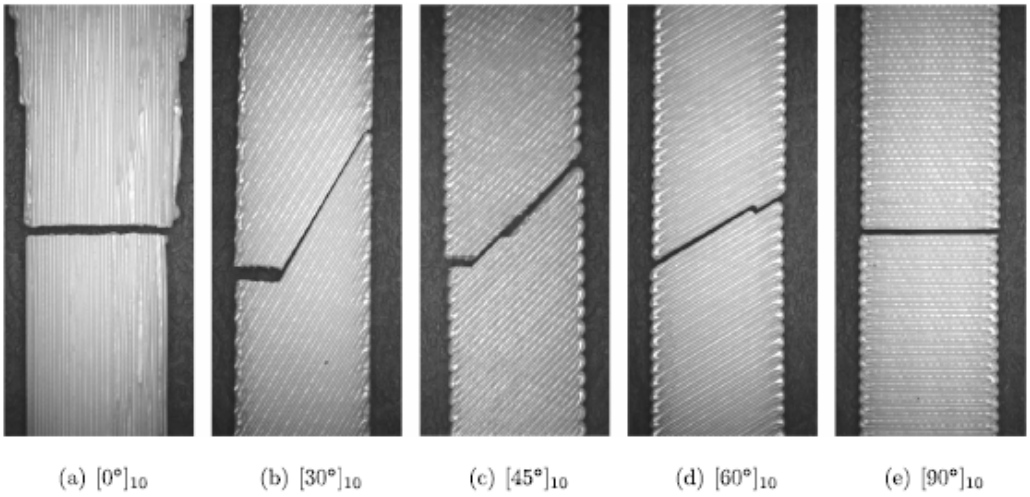
***Hình 1.17**: Tốc độ in 40 mm/s [16]*



***Hình 1.18**: Tốc độ in 80 mm/s [16]*



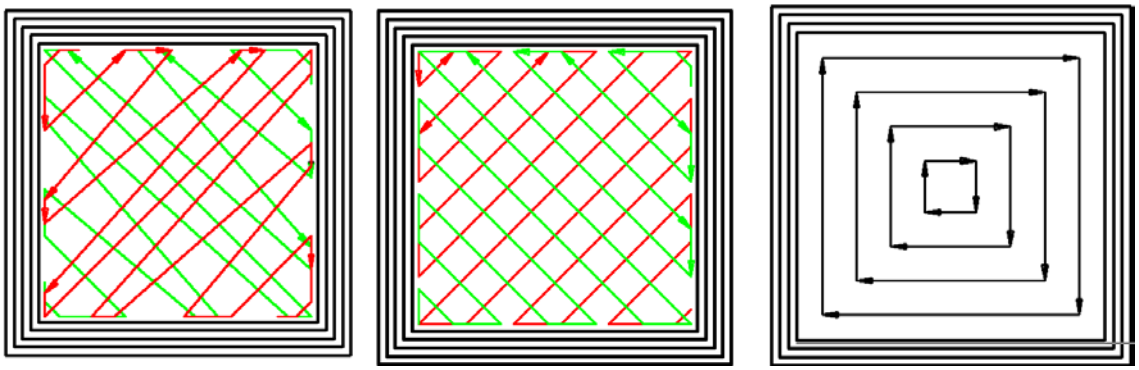
***Hình 1.19**: Mật độ điền đầy 20% [10]* ***Hình 1.20**: Mật độ điền đầy 40% [10]*



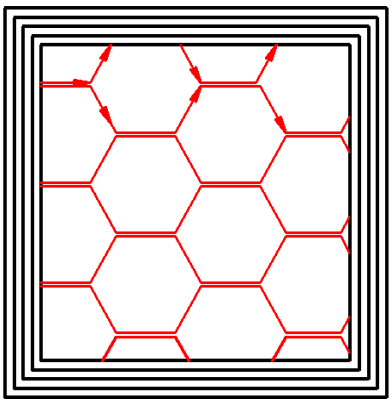
Hình 1.21: Góc nghiêng khi in [17]

Slic3r cung cấp khá nhiều đường chạy nhựa khác nhau để có thể lựa chọn đường chạy nhựa tối ưu cho từng loại mẫu in khác nhau.

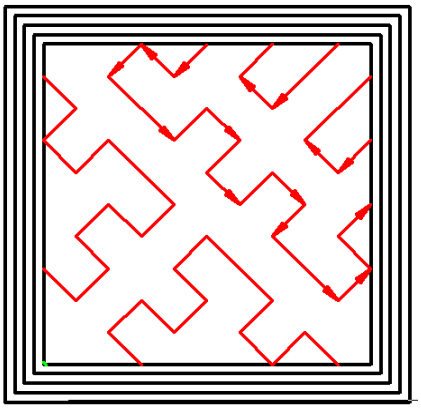
Một số kiểu đường chạy đầu phun nhựa [18]:



Hình 1.22: Kiểu rectilinear **Hình 1.23**: Kiểu line **Hình 1.24**: Kiểu concentric

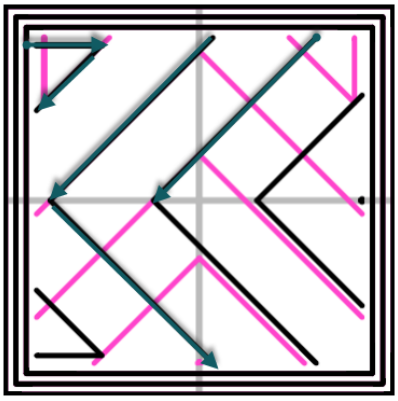


***Hình 1.25**: Kiểu* honeycomb



***Hình 1.26**: Kiểu* hibertcurve

Hình 1.27: Kiểu *archimedeanchords*



Hình 1.28: Kiểu *octagramspirals*

Mỗi kiểu chạy nhựa đều có ưu điểm và nhược điểm riêng.

Kiểu rectilinear và kiểu line về cơ bản là giống nhau về kiểu chạy tuy nhiên kiểu line giữa các đường chạy nhựa có liên kết với nhau do đó có giảm thời gian các đường chạy không khác với kiểu rectilinear không có sự liên kết với nhau do đó tốn thêm thời gian cho khoảng chạy không in.

Kiểu hilbertcure các đường chạy nhựa có nhiều đường gấp khúc do đó không nên chạy với tốc độ cao do quán tính và gia tốc tại những vị trí này là khá lớn sẽ là ảnh hưởng đến máy và chất lượng mẫu in.

Kiểu honeycomb, archimedeanchords, 3dhoneycomb là các kiểu chạy nhựa tượng đối phù hợp với lớp ở phía trong khi với những kiểu chạy nhựa này có thể in với tốc độ cao hơn.

Kiểu rectilinear, linear, concentric thường dùng cho những lớp đáy và lớp phía trên của mẫu in do đạt được thẩm mĩ cao hơn mặt khác những lớp này không yêu cầu chạy tốc độ cao nên có thể sử dụng được những kiểu này.

1.7 Ý nghĩa khoa học và thực tiễn đề tài

1.7.1 Ý nghĩa khoa học:

Xác định một số yếu tố: Ảnh hưởng của vật liệu, và sự ảnh hưởng của các thông số in như mật độ điền đầy, dạng điền đầy ở bên trong, dạng điền đầy ở mặt trên và mặt dưới mẫu in, độ dày từng lớp in, các dạng điền đầy support, góc nghiêng in support, số lớp in, tốc độ và vật liệu in khác nhau đến độ chính xác kích thước sản phẩm in 3D.

1.7.2 Thực tiễn của đề tài:

-Các kết quả nghiên cứu của đề tài này sẽ phục vụ cho ứng dụng về lĩnh vực độ chính xác kích thước sản phẩm in 3D.

1.8 Mục tiêu nghiên cứu

Mục tiêu nghiên cứu của đề tài này là nghiên cứu ảnh hưởng của vật liệu, và sự ảnh hưởng của các thông số in như mật độ điền đầy, dạng điền đầy ở bên trong, dạng điền đầy ở mặt trên và mặt dưới mẫu in, độ dày từng lớp in, các dạng điền đầy support, góc nghiêng in support, số lớp in, tốc độ và vật liệu in khác nhau đến độ chính xác kích thước sản phẩm in 3D. Từ quá trình nghiên cứu, đưa ra kết quả tối ưu về thông số in, để qua đó nâng cao độ chính xác chất lượng của mẫu in.

1.9 Phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu, phân tích lý thuyết dựa trên việc tham khảo, tìm kiếm các bài báo và các tài liệu trong nước và quốc tế có liên quan đến in 3D. Tiến hành các thí nghiệm với các mẫu in 3D và đưa ra biểu đồ để giải quyết những vấn đề sau:

- Xác định ảnh hưởng của vật liệu đến độ chính xác kích thước sản phẩm in 3D.
- Xác định ảnh hưởng của mật độ điền đầy đến độ chính xác kích thước sản phẩm in 3D.
- Nghiên cứu ảnh hưởng thông số in như dạng điền đầy ở bên trong, dạng điền đầy ở mặt trên và mặt dưới mẫu in, độ dày từng lớp in, các dạng điền đầy support,

góc nghiêng in support, số lớp in, tốc độ và vật liệu in khác nhau đến độ chính xác kích thước sản phẩm in 3D.

1.10 Đối tượng nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu của đề tài là: *"Nghiên cứu ảnh hưởng thông số in 3D nhựa đến độ chính xác của kích thước sản phẩm"*. Thực hiện thí nghiệm trên các mẫu in có hình dạng, vật liệu, và thông số in khác nhau.

1.11 Phạm vi nghiên cứu

Phạm vi nghiên cứu: Sử dụng lý thuyết về công nghệ in để giải quyết các vấn đề về ảnh hưởng của vật liệu và các thông số đến độ chính xác là lĩnh vực khá rộng lớn. Do vậy phạm vi nghiên cứu của đề tài chỉ thực hiện theo nội dung bên dưới:

- Với mẫu in thứ 1 thực hiện thí nghiêm với vật liệu nhựa ABS, các giá trị thông số khác như nhiệt độ, độ điền đầy, chiều dày của từng lớp in, các kiểu chạy…. chọn giá trị trung bình.

- Với mẫu in thứ 2 thực hiện thí nghiêm với vật liệu nhựa PLA, các giá trị thông số khác như nhiệt độ, độ điền đầy, chiều dày của từng lớp in, các kiểu chạy…. chọn giá trị trung bình.

- Với mẫu in thứ 3 thực hiện thí nghiêm với vật liệu nhựa PETG, các giá trị thông số khác như nhiệt độ, độ điền đầy, chiều dày của từng lớp in, các kiểu chạy…. chọn giá trị trung bình.

Tương tự với các mẫu in tiếp theo ta tiến hành thí nghiệm thay đổi 1 thông số điều chỉnh thì các thông số khác giữ nguyên giá trị trung bình.

STT	THÔNG SỐ
1	Vật liệu
2	Mật độ điền đầy (%)
3	Dạng điền đầy bên trong mẫu
4	Dạng điền đầy mặt trên, mặt dưới của mẫu
5	Dạng điền đầy ở các lớp nâng đỡ
6	Góc nghiêng in ở các lớp nâng đỡ (°c)
7	Độ dày mặt trên mẫu in (mm)
8	Độ dày mặt dưới mẫu in (mm)
9	Độ dày thành mẫu in (mm)
10	Số lớp in bên thành
11	Số lớp in bên trên
12	Số lớp in bên dưới
13	Tốc độ in thành (mm/s)
14	Tốc độ in bên trong mẫu (mm/s)
15	Độ dày từng lớp in (mm)
16	Độ dày lớp in đầu tiên (mm)

Hình 1.29: *Thông số điều chỉnh*

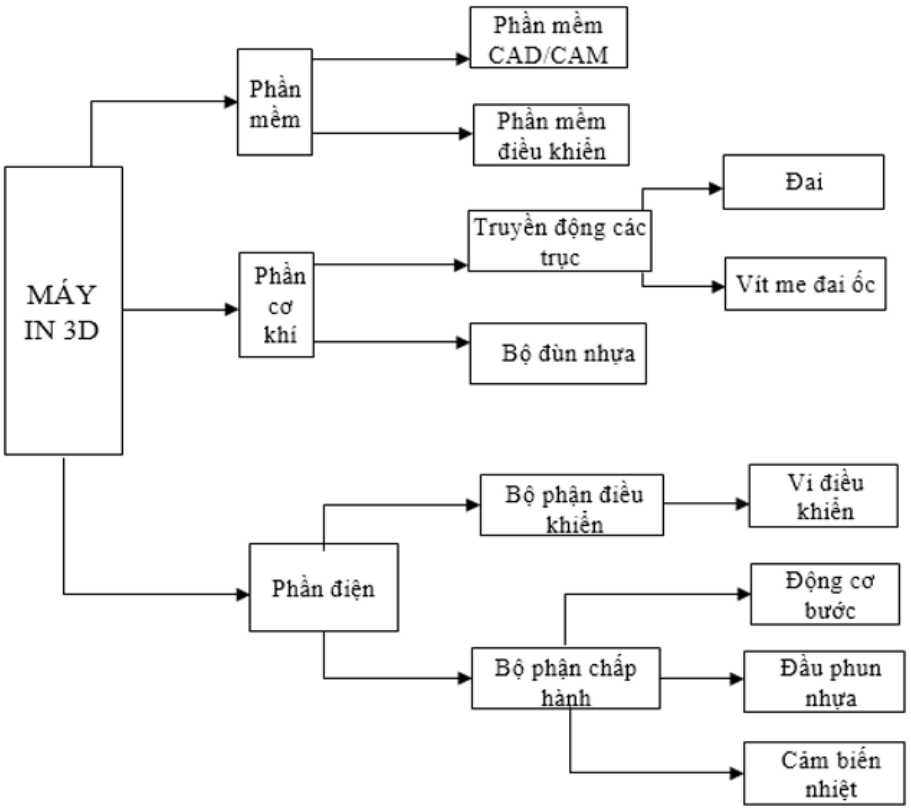
CHƯƠNG 2

TÌM HIỂU CƠ SỞ LÍ THUYẾT VÀ CÔNG CỤ SỬ DỤNG

2.1 Tìm hiểu cơ sở lí thuyết

2.1.1 khái quát chung về máy in 3D

Máy in 3d đầu tiên ra đời vào những năm 80 là những dòng máy in 3D SLA đầu tiên trên thế giới. Về cơ bản mọi máy in 3D đều có kết cấu cơ khí gần giống nhau, chỉ khác nhau về bộ phận tạo mẫu. Xét về tổng quan các máy in 3D FDM có kết cấu gồm 3 phần chính: phần mềm điều khiển, phần điện, phần cơ khí, bộ đùn nhựa [1].



Hình 2.0: *Cấu trúc máy in 3D*

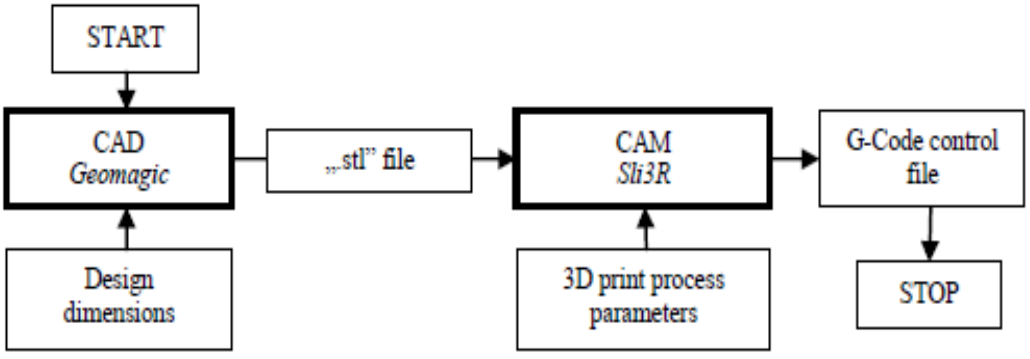
Cấu trúc cơ khí của một máy in 3D gần giống với các loại máy CNC với truyền động của các trục. Bộ truyền có thể là bộ truyền vít me – đai ốc hoặc bộ truyền đai. Đặc điểm của truyền động cơ khí trong máy in 3D là tải trọng tác dụng lên không đáng kể do đó việc thiết kế tương đối đơn giản, kết cấu các trục tương đối gọn nhẹ, các chi tiết lắp ráp không đòi hỏi về khả năng chịu lực không cao do đó có thể sử

dụng các chi tiết in đươc bằng các máy khác để lắp ráp. Đó cũng là một ưu điểm của các máy in 3D. Một số dòng máy in 3D có khoảng 80% các chi tiết lắp ráp là được in bằng các máy in 3D sẵn có.

Phần điện của máy in 3D có thể chi thành 2 khối: khối điều khiển và khối chấp hành. Khối điều khiển gồm các thành phần như: Vi điều khiển, Board kết nối, Driver. Khối chấp hành gồm các thành phần như: động cơ bước, các cảm biến nhiệt, động cơ servo (nếu có), tản nhiệt, ….

Bộ đùn nhựa là một trong những phần quan trọng nhất trong máy. Bộ phận này thực hiện 2 chức năng trong máy: bộ tời nhựa cung cấp nhựa chạy liên tục, đầu phun nhựa thực hiện chức năng nung chảy nhựa và đùn nhựa tạo nên mẫu.

[15] Phần mềm được chia làm 2 thành phần: phần mềm CAD/CAM, phần mềm điều khiển. Phần mềm CAD là các phần mềm có chức năng tạo mẫu 3D, đây là các mô hình sẽ được in trên máy in 3D. Các phần mềm CAD được sử dụng có thể là Solidwork, Creo, Sketchup, …. Các mô hình 3D sau khi được tạo ra phải được chuyển đổi sang định dạng STL từ đó có thể đưa sang các phần mềm CAM để xử lý tiếp theo. Các phần mềm CAM là các phần mềm thực hiện các chức năng cắt lớp vật thể do công nghệ in 3D là in theo từng lớp, lớp cắt càng có kích thước nhỏ thì chất lượng mẫu in càng tốt tuy nhiên thời gian in sẽ tăng lên và ngược lại, lớp in càng lớn thì chất lượng giảm và tốc độ in tăng lên. Để tối ưu hóa giữa chất lượng in và tốc độ in thì phải có cài đặt các thông số in hợp lý. Sau khi cắt lớp phần mềm sẽ tạo chuyển động khi in và xuất file Gcode. Các mã lệnh Gcode hầu hết giống với gcode trên máy CNC tuy nhiên có một số mã lệnh riêng đối với máy in 3D.



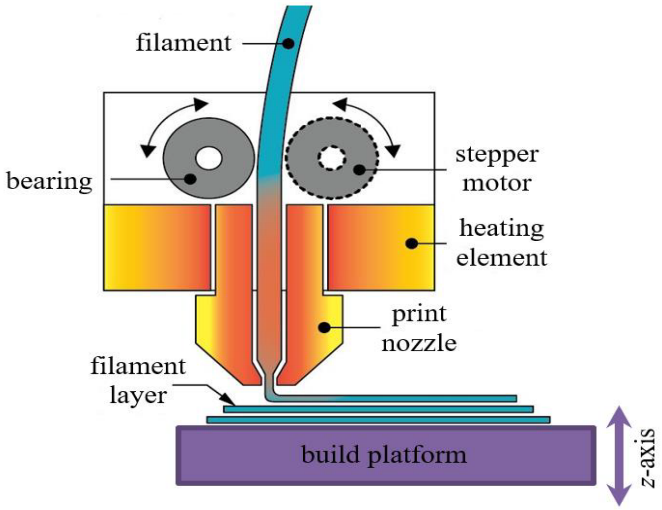
Hình 2.1: *Sơ đồ nguyên lý hệ thống CAD CAM [15]*

Các phần mềm CAM được sử dụng phổ biến cho máy in 3d là Cura, Slic3r, Simplify, …. Một số phần mềm sẽ tích hợp các module CAM và module điều khiển trong một, giúp công việc sử lý mẫu in nhanh hơn và đạt hiệu quả hơn như phần mềm Repertier host. Phần mềm này tích hợp các công cụ CAM là Slic3r, Cura, Skeinforge, có thể lựa chọn sử dụng một trong ba module để so sánh từ đó lựa chon module tốt hơn cho từng kiểu mẫu in khác nhau.

Để máy hoạt động ta phải nạp Gcode cho máy. Có thể nạp Gcode thông qua phần mềm điều khiển hoặc nạp qua thẻ nhớ trên màn hình LCD điều khiển. Phần mềm giao diện điều khiển được sử dụng có thể là Repertier host hoặc Pronterface.

2.1.2 Công Nghệ Tạo Mẫu Nhanh FDM

Công nghệ in FDM được sử dụng khá nhiều trong các loại máy in hiện nay với kết cấu đơn giản, vật liệu dễ tìm.



Hình 2.2: Sơ đồ nguyên lý tạo mẫu FDM [5]

Nguyên lý hoạt động:

Ở vị trí ban đầu bàn in cách đầu phun nhiệt một khoảng bằng chiều dày lớp in. Sợi nhựa được đưa vào kim phun nhờ hệ thống tời nhựa bằng cặp bánh răng một cách liên tục. Tại đầu phun nhựa, nhựa được nung nóng tới khoảng nhiệt độ thích hợp bởi bộ phận gia nhiệt. Nhựa nóng chảy được đùn ra theo biên dạng dịch chuyển của đầu phun. Sau khi lớp thứ nhất hoàn thành bàn máy dịch xuống một khoảng bằng chiều dày một lớp. Quá trình tiếp tục cho đến khi hoàn thành chi tiết.
Mặc dù công nghệ FDM ngày càng được ứng dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực

quan trọng, nhất là trong lĩnh vực chế tạo ra các chi tiết sử dụng ngay, tuy nhiên chất lượng của sản phẩm FDM còn cần phải được cải tiến thêm để đáp ứng nhu cầu của khách hàng, đặc biệt là độ chính xác kích thước. Do bản chất của công nghệ là bồi đắp và liên kết vật liệu với nhau theo từng lớp nên cơ tính và độ chính xác của sản phẩm rất kém. Quá trình chế tạo sản phẩm bằng công nghệ FDM là một quá trình phức tạp, chất lượng sản phẩm FDM phụ thuộc vào rất nhiều thông số quá trình, hay còn gọi là thông số công nghệ khác nhau.

Với những ưu điểm công nghệ này có sự vượt trội về thời gian chế tạo một sản phẩm hoàn thiện, dễ thiết kế, vật liệu không gây độc hại. Bên cạnh những ưu điểm đó thì nhược điểm là độ chính xác chưa cao, độ bóng bề mặt thấp và tốc độ in chưa cao, thời gian in còn dài, tốn kém chi phí [1, 5, 7, 9].

Từ những ưu điểm và nhược điểm đó, quyết định nghiên cứu ảnh hưởng thông số in 3D Nhựa có thể phát huy được những ưu điểm của công nghệ này, đồng thời, nâng cao tốc độ, độ bóng bề mặt thấp, thời gian in và độ chính xác chất lượng mẫu in.

2.2 Tổng quan vật liệu nhựa

Vật liệu được sử dụng trong máy in 3D là nhựa dạng sợi. Sợi nhựa sử dụng trong máy in 3D phải là sợi nhựa nguyên chất, không pha tạp, không nên dùng sợi nhựa tái chế thường bị lẫn cát, sạn, bụi bẩn, … khi sử dụng dễ làm tắc đầu phun nhựa ảnh hưởng đến chất lượng mẫu in, ….

Đường kính sợi nhựa được chế tạo tiêu chuẩn có 2 loại đường kính là 1,75 mm và 3 mm. Dung sai sợi nhựa thường là ±0,05 mm. Đường kính sợi nhựa phải được chế tạo đồng đều vì nếu đường kính sợi nhựa không đồng đều, ở chỗ sợi nhựa bị thu hẹp đường kính bất thường thì đầu phun không đủ lực để kéo sợi nhựa vào, ngược lại, đường kính sợi nhựa có chỗ lớn bất thường sẽ làm tắc đầu phun.

Có 3 loại vật liệu thường được sử dụng trong các máy in 3D FDM hiện nay là nhựa ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) và nhựa PLA (Polylactic Acid), và nhựa PETG [1, 4, 6, 14].

2.2.1 Vật liệu nhựa ABS

Nhựa ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) có một lịch sử lâu dài trong thế giới in 3D. Vật liệu này là một trong những loại nhựa đầu tiên được sử dụng với máy in 3D công nghiệp. Nhiều năm sau, ABS vẫn là một vật liệu rất phổ biến nhờ chi phí thấp và tính chất cơ học tốt. ABS được biết đến nhờ độ dẻo dai và khả năng chống

va đập của nó, cho phép bạn in các sản phẩm bền chắc sẽ giữ cho việc sử dụng và mài mòn tốt hơn. Nhựa ABS cũng có nhiệt độ chuyển tiếp cao hơn, có nghĩa là vật liệu có thể chịu được nhiệt độ cao hơn nhiều trước khi nó bắt đầu biến dạng. Điều này làm cho ABS trở thành sự lựa chọn tuyệt vời cho các ứng dụng ngoài trời hoặc nhiệt độ cao. Khi in bằng ABS, đảm bảo sử dụng không gian mở với thông gió tốt, vì vật liệu có xu hướng có mùi nhẹ. ABS cũng có xu hướng co lại một chút khi nó nguội, vì vậy kiểm soát nhiệt độ của sản phẩm in và phần bên trong sẽ có những lợi ích lớn [1, 4]

Ưu điểm:

- Giá thấp
- Chịu va đập tốt
- Cho mô hình hoàn thiện mịn hơn
- Chịu nhiệt tốt

Nhược điểm:

- Nặng cong
- Cần bàn in nóng hoặc không gian in nóng
- Tạo mùi hăng khi in
- Các chi tiết có xu hướng co lại dẫn đến không chính xác

Yêu cầu phần cứng:

- Trước khi in 3D với ABS đảm bảo máy in 3D của bạn đáp ứng các yêu cầu phần cứng được liệt kê dưới đây để đảm bảo chất lượng in tốt nhất.

Bàn in:

- Nhiệt độ: 95-110 ° C
- Yêu cầu bàn nóng

Bề mặt in:

- Băng kapto

Đầu in:

- Nhiệt độ: 220-250 ° C
- Không có yêu cầu đặc biệt

Nhựa ABS là nhựa nhiệt dẻo. Nhựa ABS có cơ tính tốt, nhiệt độ in cao (nhiệt độ in tùy theo nhà sản xuất nhưng thường lớn hơn 230^0C), do in với nhiệt độ cao như vậy nên trong quá trình in sản phẩm có thể bị cong vênh, gãy do đó nên thiết kế thêm các hệ thống support để hạn chế hiện tượng này. Mặt khác các lớp đầu tiên của mẫu in thường không kết dính với bàn in do bị nguội quá nhanh cũng là một khuyết điểm khi in nhựa ABS.

2.2.2 Vật liệu nhựa PLA

Nhựa PLA là nhựa nhiệt dẻo thường có nguồn gốc tự nhiên, do đó khá thận thiện và không gây độc hại khi sử dụng. Nhựa PLA tương đối giòn, dễ bị gãy trong quá trình in là tắc đầu phun nhựa. Nhiệt độ in của nhựa PLA thấp chỉ từ 190^0 đến

210^0C nên quá trình in dễ dàng hơn so với nhựa ABS. Giá thành của nhựa PLA cũng thường thấp hơn nhựa ABS từ khoảng 100.000 VNĐ đến 200.000 VNĐ.

Nhựa PLA (Polylactic axit) là vật liệu chính để dùng trong công nghệ in 3D tạo ra những vật dụng phổ biến như giày, dép thời trang, ly tách uống nước, hay những công nghệ in ấn phức tạp như in chân dung [1, 4].

2.2.3 Vật liệu nhựa PETG

Nhựa PETG có nguồn gốc từ PET (Polyethylene terephthalate) đây là một loại vật liệu thông dụng để sản xuất bao bì, có tính chống ẩm cao. PETG là 1 loại vật liệu mới dùng cho máy in 3D được đánh giá rất tốt. PETG có độ chịu nhiệt cao tương đương ABS (100ºC trở lên), dễ in như PLA mà lại có độ cứng rất cao.

Ưu điểm:

- Độ co của vật liệu PETG rất thấp, tương đương PLA nên rất dễ in, vật thể in ra có độ chính xác cao, không bị co rút, biến dạng như ABS.
- Độ cong vênh thấp
- Có thể tái chế
- Dễ in và có độ bám dính lớp tốt Bền chặt
- Có thể được khử trùng
- Tốt khi làm vật dụng đựng thức ăn và đồ uống

Nhược điểm:

- PETG trở nên giòn từ quá nóng
- PETG có thể bị suy yếu với ánh sáng UV
- Dễ bị trầy xước.

Ứng dụng:

- PETG thường được sử dụng để in các chi tiết nhỏ hay chịu va đập, mài mòn như bánh răng, pulley nhựa trong xích tải…

2.3 Tìm hiểu công cụ sử dụng và cơ sở để thiết kế mẫu

2.3.1 Phần mềm autocad

Cad là chữ viết tắt củaComputer – Aid Design hoặc Computer – Aided Drafting (vẽ và thiết kế với sự trợ giúp của máy tính). Phần mềm Cad đầu tiên là SKETCHPAD xuất hiện vào năm 1962 được viết bởi Ivan Sutherland thuộc viện kỹ thuật Massachuselts.

Sử dụng phần mềm Cad có thểvẽ thiết kế bản vẽ hai chiều (2D – chức năng Dafting), thiết kế mô hình ba chiều (3D – chức năng Modeling), tính toán kết cấu bằng phương pháp phần tử hữu hạn (FEA – chức năng Analysis).

Các phần mềm Cad có ba đặc điểm sau:

+ Chính xác.

+ Năng suất cao nhờ các lệnh sao chép.

+ Dễ dàng trao đổi với các phần mềm khác.

Hiện nay trên thế giới có hàng ngàn phần mềm Cad và một trong những phần mềm thiết kế trên máy tính cá nhân phổ biến nhất là Autocad.

Autocad là phần mềm ứng dụng Cad để tạo bản vẽ kỹ thuật cho thiết kế 2D hay 3D, được phát triển bởi tập đoàn Autodesk. Phần mềm này được giới thiệu lần đầu tiên vào tháng 11 năm 1982 tại hội chợ COMDEX và đến tháng 12 năm 1982 công bố phiên bản đầu tiên. Vào thời điểm đó, Autocad đã trở thành một trong những chương trình vẽ kỹ thuật đầu tiên chạy được trên máy tính cá nhân, nhất là máy tính IBM.

Những phiên bản trước của Autocad sử dụng các đối tượng nguyên thủy – như đường thẳng, đường polyline, đường tròn, đường cong và text – để xây dựng các đối tượng từ đơn giản đến phức tạp. Tuy nhiên, từ giữa thập niên 1990, Autocad đã hỗ trợ công cụ có khả năng tùy biến cao thông qua ứng dụng lập trình ngôn ngữ C++. Những phiên bản Autocad gần đây bao gồm những công cụ cơ bản về hình khối 3D.

Với sự phát triển ngày càng mạnh mẽ về nhiều mặt so với những phiên bản đầu. Từ Autocad 2007 đã được cải thiện thêm các công cụ hỗ trợ người dùng dựng và chỉnh sửa các mô hình 3D tốt hơn và dễ dàng hơn. Đến Autocad 2010 thì đã phát triển thêm chức năng quản lí đối tượng theo tham số và mô hình lưới.

Các định dạng tập tin chính của Autocad là DWG và định dạng trao đổi DXF, hai định dạng này được trở thành tiêu chuẩn trên thực tế về dữ liệu Cad. Gần đây Autocad cũng hỗ trợ định dạng DWF, một định dạng được phát triển và quảng cáo có mục đích xuất bản dữ liệu Cad.

Ngày nay, Autocad là một phần mềm quan trọng trong lĩnh vực cơ khí, xây dựng và một số lĩnh vực khác. Autocad được dùng để thực hiện các bản vẽ kỹ thuật trong các ngành: Xây dựng, Cơ khí, Kiến trúc, Điện, Bản đồ,… Bản vẽ nào thực hiện được bằng compa, bút chì và thước kẻ,… thì có thể thiết kế bằng phần mềm Autocad.

Một trong những lý do khiến Autocad trở thành một phần mềm phổ biến bậc nhất, ứng dụng được cho nhiều lĩnh vực, từ cơ khí đến kiến trúc, xây dựng đó là Autocad có thể giúp ta thiết lập được bản vẽ, vẽ và hiệu chỉnh được các hình dạng bất kỳ trong các bản vẽ kỹ thuật cơ khí, hay xây dựng thông qua các lệnh vẽ và các lệnh hiệu chỉnh cần thiết trong khi vẽ. Đặc biệt, Autocad in được bản vẽ chính xác theo đúng tỉ lệ và có thể xuất bản vẽ sang nhiều định dạng tương thích với các phần mềm khác. Sử dụng Autocad giúp các nhà thiết kế đưa những ý tưởng thiết kế của mình lên bản vẽ, sử lý và sửa đổi một cách nhanh chóng và ít tốn kém. Giao diện và các lệnh trong Autocad thì dễ dàng cho người sử dụng, ngôn ngữ sử dụng trong giao diện thường là tiếng anh đơn giản nên không quá gây khó khăn cho người sử dụng.

2.3.2 Cơ sở thiết kế mẫu

Mẫu in đóng vai trò rất quan trọng trong in 3D. Nó ảnh hưởng đến độ chính xác, chất lượng, thời gian và chi phí trong quá trình in. Vì vậy nếu bạn thiết kế mẫu in tối ưu thì sẽ tạo ra một mẫu in 3D được đẹp, đúng kích thước, tiết kiệm vật liệu, thời gian và chi phí in. Một số cơ sở để thiết kế mẫu dùng trong in 3D hiện nay [1]:

Thiết kế dựa vào giới hạn của máy in 3D

Tùy theo dòng máy và công nghệ in 3D mà sẽ có những giới hạn nhất định. Bất kỳ một máy in 3D nào cũng có phạm vi tạo mẫu cố định. Thường thì chiều cao (trục Z) bé hơn so với các chiều còn lại (XY). Cần chú ý tới điều này, hoặc bạn sẽ phải cắt mẫu in 3D ra làm nhiều phần ghép lại nếu kích thước mô hình vượt quá khổ in.

Tốc độ in 3D: Máy in 3D hiện nay còn khá chậm, có khi bạn phải mất cả vài ngày để hoàn thiện những mẫu có độ phức tạp cao. Điều gì quyết định tới thời gian in 3D? Xét về mặt thiết kế, có thể kể ra: kích thước mô hình, độ phức tạp, lượng support cần dùng.

Thời gian in quá dài sẽ dẫn tới việc bạn gặp một hoặc nhiều tình trạng:

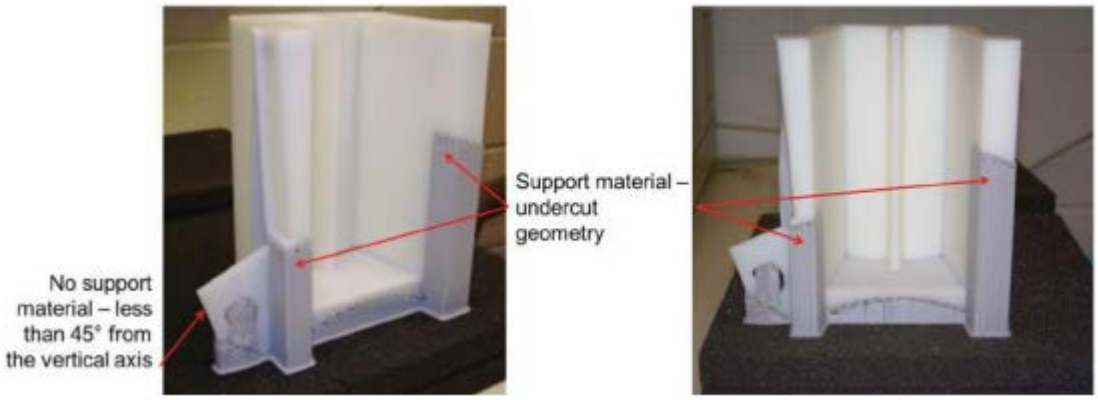
- Xác suất đầu in bị kẹt nhựa cao hơn và nếu không phát hiện kịp thời, bạn sẽ phải in lại từ đầu.

- Mẫu in dễ bị cong vênh hoặc tróc khỏi bề mặt bàn in.

Thiết kế dựa trên nguyên lý in 3D [28]

Support là phần vật liệu cần thiết để đỡ mô hình. Mô hình càng phức tạp thì càng tốn nhiều support, càng nhiều support thì thì gian in càng dài, chi phí càng tăng. Vì vậy, để giảm thời gian, chi phí ta có thể giảm lượng support thông qua khâu thiết kế.

- Nếu được, hãy thiết kế theo hình mẫu "kim tự tháp", tức là, phần dưới to phần trên nhỏ.
- Phần nhô ra nên nên giới hạn một góc <45 độ theo phương thẳng đứng.
- Nên hạn chế góc nhô ra >45 độ, vì phải in thêm support. Có thể không cần in, nhưng sẽ rất xấu.



Hình 2.3: Phần nhô ra mẫu in có góc giới hạn theo phương thẳng đứng <45 độ [28]

Phần chân đế phải thiết kế phẳng, hạn chế lồi lõm và không có mặt đế phẳng sẽ rất khó để in, hoặc in ra xấu vì phần dưới phải in thêm support.

Bề dày tối thiểu [28]: Bề dày của thành vách hoặc độ rỗng ruột của mô hình có ảnh hưởng tương đối tới chất lượng và giá thành in 3D. Một số lưu ý về độ dày khi thiết kế mẫu để in:

- Cần hạn chế các vị trí bề dày bé, tốt nhất nên để bề dày lớp hơn ba lần so với đường kính vòi phun, để tăng độ cứng vững, hạn chế sự co rút, biến dạng của mẫu sau khi in.
- Những phần rìa mỏng như: đôi cánh, dái tai, tóc,… thường bị hư trong quá trình in. Bạn nên chủ động thêm gân tăng cứng hoặc tăng bề dày lên.

Hình 2.4: *Kích cỡ bề bày mẫu in quá nhỏ [28]*

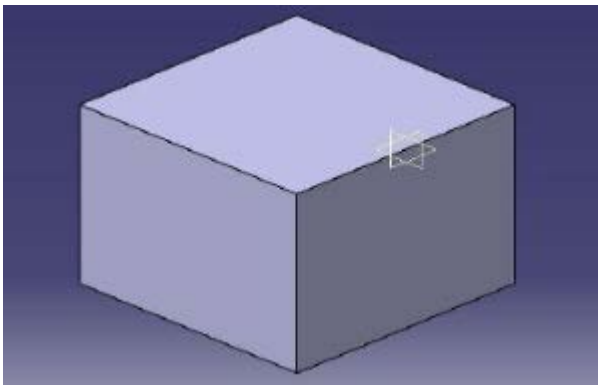
Lắp ghép các chi tiết in 3D: in 3D không chỉ linh hoạt trong tạo mẫu nhanh mà còn được rất nhiều người áp dụng cho các bộ sản phẩm lắp ghép. Đặc biệt là chế tạo robot, ráp máy in 3D Reprap, họ cần những cụm chi tiết có khả năng lắp ghép với nhau và đảm bảo độ chính xác của hệ lỗ, đường biên…Do vật liệu in 3D chủ yếu là nhựa ABS, PLA, PETG thành thử mẫu in 3D sẽ có độ co rút nhất định. Hơn nữa, chất lượng của máy in 3D không đảm bảo tuyệt đối. Nên việc lắp ghép các chi tiết có khớp/ngàm với nhau rất khó. Khi sợi nhựa đùn ra khỏi đầu phun, chúng sẽ bị ép xuống và tràn ra 2 bên, biên dạng mô hình sẽ bị dư ra 0,1-0,3mm ở mỗi chiều. Vì vậy tùy thuộc vào mục đích sử dụng của mẫu in mà ta thiết kế mẫu cho phù hợp để đảm bảo chất lượng, tiết kiệm thời gian và chi phí in.

Vì vậy để có mẫu in 3D được đẹp, đúng kích thước, tiết kiệm vật liệu thời gian in, chi phí, bạn cần đảm bảo các vấn đề cơ sở để thiết kế mẫu in như sau:

- Thiết kế mô hình theo kiểu "kim tự tháp" tức là dưới to trên nhỏ.
- Mô hình file 3D phải kín đặt, không xuất hiện hiện tượng bung mặt, mất mặt trên file 3D khi xuất sang máy in.
- Mặt đế nên thiết kế phẳng để mẫu luôn cứng vững khi in lên cao.
- Hạn chế bề dày thành, đế của mẫu quá nhỏ.
- Hạn chế thiết kế các phần quá bé trên mô hình 3D: mắt, mũi, tai, gờ, nút bấm,… bởi vì rất khó in hoặc không thể in 3D. Vì vậy ta nên thiết kế thêm gân tăng cứng hoặc tăng bề dày.
- Các phần nhô ra nên có góc nghiêng >45 độ so với phương ngang. Hạn chế phần nhô ra nằm ngang, hoặc phía dưới trống không, ví dụ như in mẫu cây cầu.
- Nên khống chế mô hình nằm vừa khổ in của máy in 3D, cũng đừng nên quá bé ta không in được hoặc in ra xấu.
- Chú ý tới độ phân giải của mô hình khi xuất ra file STL.
- Mở lên xem lại file STL/OBJ vừa xuất ra. Hoặc dùng công cụ kiểm tra lỗi file 3D.

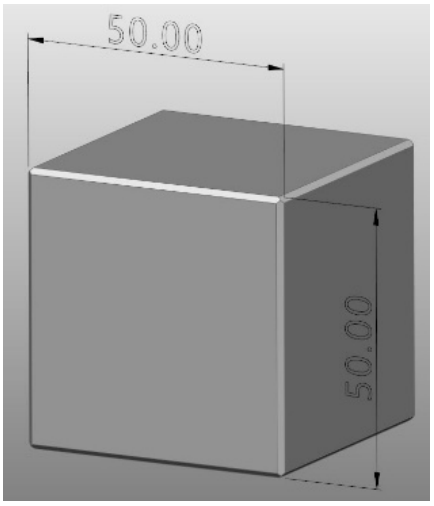
Đề tài "*Study Optimization of 3D Printing Process*" [29]

Nhóm nghiên cứu bao gồm Ajinkya C. Pawar, Prashant P. Rokade, Tushar T. Nikam, Deepak A. Purane, Kedar M. Kulkarni thực hiện. Nghiên cứu tối ưu hóa quy trình in 3D và các thông số in như: độ dày lớp in, tốc độ in, mật độ điền đầy của mẫu in. Mẫu được thiết kế và sử dụng trong quá trình nghiên cứu là khối lập phương (hình 2.5). Tiến hành in, đo kiểm và đưa ra kết quả với mẫu in có thông số độ dày lớp 0.3mm, tốc độ in 70 mm/s, và mật độ điền đầy 30% là mẫu in khối lập phương được đo chính xác nhất. Độ chính xác kích thước tăng khi tăng độ dày, và tăng mật độ in.



Hình 2.5: Mẫu hình lập phương [29]

Từ một số cơ sở để thiết kế mẫu dùng trong in 3D ở trên và để thuận tiện cho việc đo kiểm, tiết kiệm vật liệu cũng như tiết kiệm thời gian, chi phí in nên quyết định thiết kế mẫu thí nghiệm (hình 2.6) để làm mẫu thí nghiệm áp dụng cho nghiên cứu đề tài.



Hình 2.6: Mẫu thí nghiệm

Hình 2.7: Mẫu thí nghiệm sau khi in

CHƯƠNG 3: PHƯƠNG PHÁP THỰC NGHIỆM

3.1 Phần mềm điều khiển và mô phỏng ứng dụng cho việc nghiên cứu

Có nhiều phần mềm điều khiển máy in 3D như repertier host, pronterface …. Trong luận văn, sử dụng phần mềm repertier host. Phần mềm repertier host là phần mềm miễn phí có ưu điểm là dung lượng phần mềm nhỏ, giao diện trực quan, dễ sử dụng.

3.1.1 Thông số phần mềm cam repetier host

Repetier Host là giải pháp phần mềm tất cả trong một cho các loại máy in 3D Reprap, bao gồm các chức năng kiểm tra mô hình 3D, tạo Gcode (slicer), điều khiển và theo dõi máy khi vận hành.

3.1.1.1 Thiết lập máy in 3d

Sau khi cài và khởi động Repetier Host, tại giao diện chính chọn "Config" -> "Printer Setting" để thiết lập máy in.

Trong tab "Connection" ta thiết lập như sau:

+ Default: tên do người dùng tự đặt.

+ COM3: tên cổng COM kết nối giữa máy tính và mạch điều khiển (Arduino Mega 2560). Để biết máy tính kết nối với máy in qua cổng COM nào, vào mục Device Managercủa máy tính để xem.

+ Các thiết lập khác để mặc định theo phần mềm

Trong tab "Extruder" ta thiết lập như sau:

+ Number of Extruder: số đầu đùn của máy in.

+ Max. Extruder Temperature: nhiệt độ tối đa của đầu đùn.

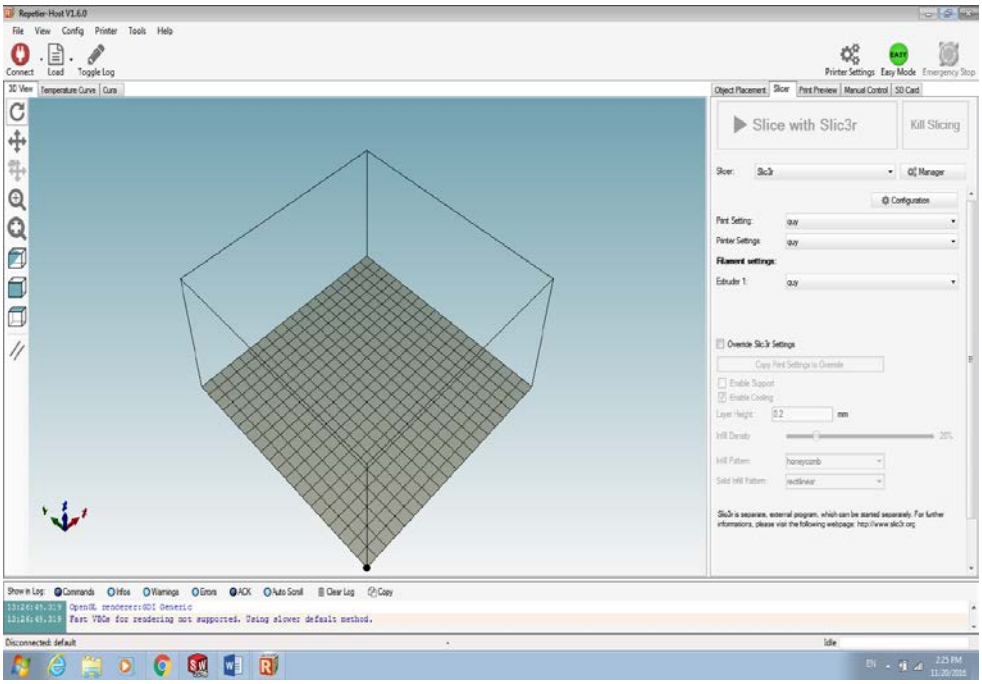
+ Max. Bed Temperature: nhiệt độ tối đa của bàn nhiệt.

+ Diameter (0.4) là đường kính lỗ đùn nhựa. Đường kính lỗ được ghi trên đầu đùn nhựa (ví dụ: 40 thì đường kính là 0.4 mm).

3.1.1.2 Thiết lập slicer

Repetier Host tích hợp hai bộ công cụ dung để cắt vật in là Cura Engine và Slic3r.

Để thiết lập Slicer, ngoài màn hình chính chọn tab "Slicer":



***Hình 3.2**: Tab Slicer*

Chọn Slicer muốn sử dụng: Cura Enginr hoặc Slic3r.

Sau khi chọn Slicer, click vào Configulation để thiết lập Slicer đã chọn.

- **Thiết lập Layers and perimeters:**

Trong đó:

+ Layer height là chiều dày 1 lớp, chiều dày một lớp càng nhỏ thì chi tiết in càng mịn tuy nhiên thời gian in chậm. Lớp in càng mỏng thì càng hạn chế được khác khuyết tật của mẫu in như những vết nhựa dư, chảy nhựa, …. Ngược lại lớp in càng dày thì thời gian in càng nhanh tuy nhiên có thể có một số nhược điểm như sai lệch kích thước sẽ lớn hơn, độ bóng bề mặt thấp, chất lượng mẫu in không cao. Chiều dày một lớp in tối đa không quá đường kính của đầu phun nhựa.

+ First layer height là chiều dày lớp in đầu tiên, chiều dày lớp in đầu tiên lớn đảm bảo vật in bám chắc trên bàn in. tuy nhiên chiều dày lớp đầu quá lớn thì tổn hao vật liệu, do đó cần lựa chọn phù hợp. Để có thông số phù hợp thì phải phụ thuộc vào hình dáng kích thước của mẫu in, cũng như kinh nghiệm in từng loại chi tiết và vật liệu khác nhau

+ Solid layers là số lớp in cần để in lớp đáy và lớp đỉnh. Thông số này tương

đối quan trọng nhất là đối với lớp đỉnh.

+ Các thiết lập khác có thể để mặc định.

- **Thiết lập Infill:**

Trong đó:

+ Fill density: phần trăm điền đầy vật liệu trong lòng vật in.

+ Fill pattern: dạng điền đầy (rectilinear, honeycomb, line, concentric, 3d honeycomb)

+ Top/bottom fill pattern: đạng điền kín mặt trên/dưới cùng (rectilinear, concentric, hilbert curve, octagram spiral, archimedeanchords).

+ Các thiết lập khác có thể để mặc định

- **Thiết lập Support material:**

Support material là cấu trúc vật liệu được máy in tạo ra nhằm nâng đỡ các bộ phận của vật in. Sau khi in xong cần loại bỏ lớp đỡ này thủ công.

Thông thường không cần dùng tới chức năng này trừ trường hợp vật in có hình dáng đặc biệt.

- **Thiết lập Speed:**

Trong đó:

+ Perimeters (external): tốc độ in thành/vách phía trong/ngoài của vật thể.

+ Small perimeters: tốc độ in thành/vách khi vật in có kích thước nhỏ.

+ Infill: tốc độ di chuyển khi điền vật liệu trong vật in.

+ Solid infill: tốc độ điền đầy khu vực vật in cần làm đặc.

+ Top solid infill: tốc độ điền đầy kín mặt trên vật thể.

+ Support material: tốc độ in lớp nâng/đỡ.

+ Bridges: tốc độ khi in qua khe hở.

+ Gap fill: tốc độ khi điền vật liệu trong những khe hẹp.

+ Travel: tốc độ di chuyển đầu đùn khi không đùn vật liệu.

+ Các thiết lập khác có thể cài mặc định.

Trong tab “Filament Settings” (thiết lập nhựa in) ta thiết lập các thông số như sau:

- **Thiết lập Filament:**

Trong đó:

+ Diameter: đường kính sợi nhựa in.

+ Extrusion multiplier: hệ số đùn nhựa.

+ Extruder/Bed: nhiệt độ đầu đùn/bàn nhiệt ở lớp đầu tiên (first) và các lớp sau đó. Nhiệt độ đầu đùn/bàn nhiệt lớp đầu tiên có thể cao hơn một chút để vật thể in bám chắc hơn vào bàn nhiệt.

- **Thiết lập Extruder**

Trong đó:

+ Nozzle diameter: đường kính lỗ đùn nhựa (trên đầu đùn nhựa có in số).

+ Length: chiều dài đoạn nhựa sẽ bị rút ngược lại trước khi máy in di chuyển qua vùng không đùn nhựa.

+ Lift Z: chiều cao đầu đùn sẽ được nâng lên trước khi rút ngược nhựa in và di chuyển xang vị trí khác.

+ Các thông số còn lại có thể cài mặc định.

Chú ý**:** Sau khi thiết lập các thuộc tính xong, nhấn chọn ký hiệu sau để lưu các thuộc tính đã được cài đặt lại.

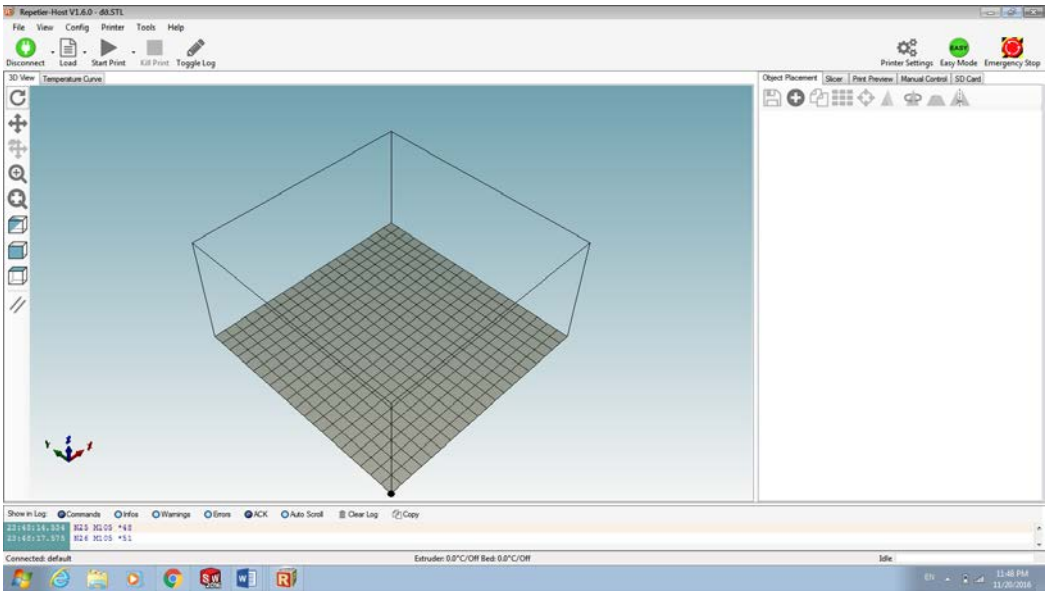
3.1.2 Các bước cơ bản để in 3d

3.1.2.1 Dựng hình 3d bằng phần mềm vẽ 3d và xuất file 3d ra định dạng stl

Bạn thiết kế mô hình 3D bằng các phần mềm vẽ 3D như Autocad 3D, Solidworks, 3D Studio Max… Thông thường các phần mềm vẽ 3D đều có chức năng xuất ra định dạng STL. Nếu mặc định không có bạn có thể cài thêm các plugin.

3.1.2.2 Đưa file stl vào phần mềm in 3d repetier host

Giao diện chính của phần mềm sau khi khởi động như hình 4.1. Sau khi mở Repetier Host, click "Connect" để kết nối với máy in, kết nối thành công sẽ có biểu tượng màu xanh ở góc bên trái như hình sau:



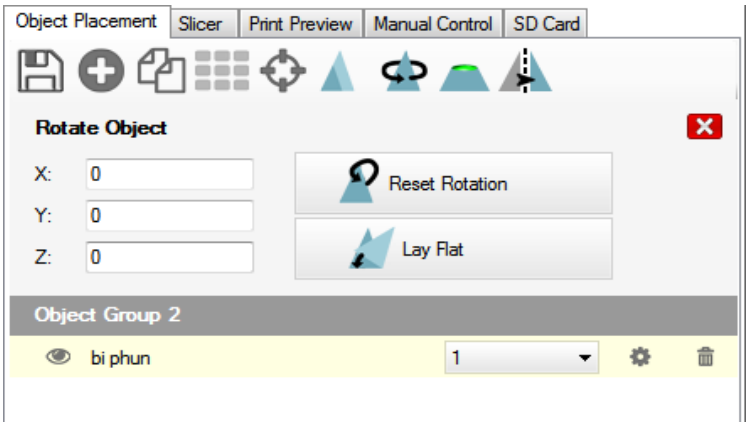
***Hình 3.3**: Kết nối máy tính với máy in*

Click vào biểu tượng "Load" để nạp file chi tiết 3D, có thể nạp một hoặc nhiều file định dạng STL tùy theo kích thước vật so với bàn nhiệt.

Các file chi tiết 3D sau khi nạp sẽ hiện lên cửa sổ của phần mềm Repetier Host.

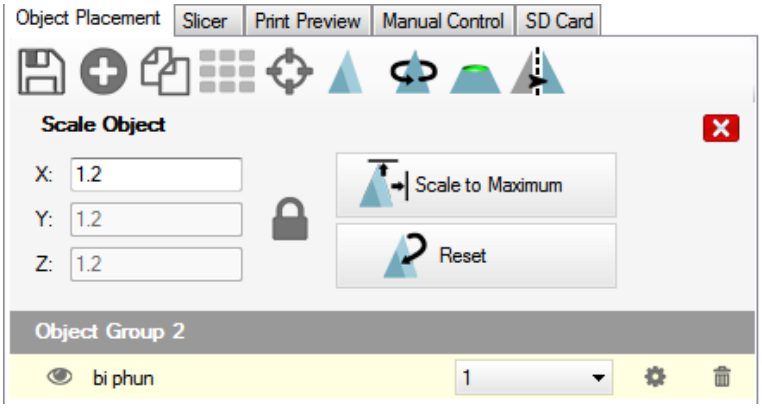
Muốn xóa chi tiết nào, click vào biểu tượng thùng rác bên phải tên của chi tiết tương ứng.

Muốn xoay các chi tiết (theo 3 chiều X, Y, Z), click chọn chi tiết và ấn "R" sau đó điền góc muốn quay tương ứng vào từng trục (thông thường quay 90 độ hoặc 180 độ).



***Hình 3.4**: Xoay chi tiết theo các trục*

Muốn phóng to/thu nhỏ vật in, click chọn vật in rồi ấn "S". Sau đó điền tỉ lệ như hình (lớn hơn 1 là phóng to, nhỏ hơn 1 là thu nhỏ):

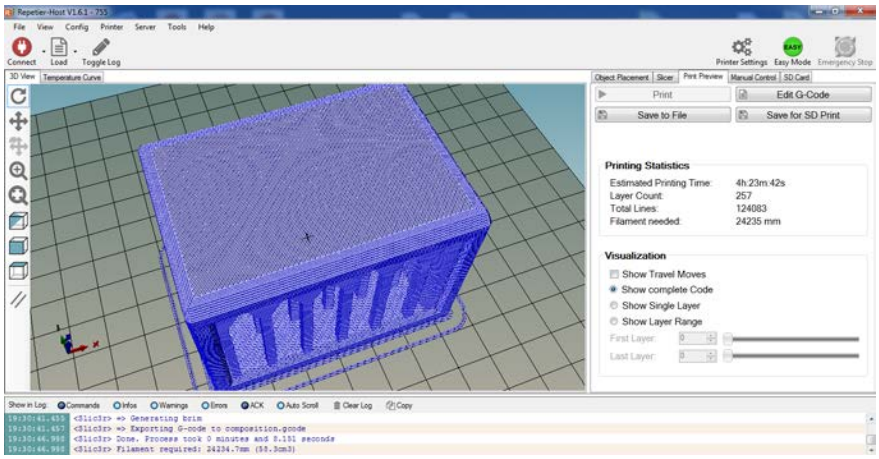


***Hình 3.5**: Phóng to/ thu nhỏ theo các trục*

Chú ý: Nên xoay cho mặt phẳng có kích thước lớn của vật in tiếp xúc với bàn nhiệt để vật in được giữ chắc chắn. Đồng thời xoay vật in sao cho trong quá trình in có càng ít phần của vật in bị nhô ra ngoài mà không có lớp đỡ bên dưới càng tốt.

Sau khi đã chỉnh xong, trong màn hình chính ta chọn Slicer, sau đó click "Slice with Slic3r" để cắt vật thể và tạo file G-code.

Sau khi tạo xong file G-code, click biểu tượng "Print" để bắt đầu in. Trong quá trình in, Repetier Host sẽ hiển thị quá trình in các lớp cũng như các thông số (nhiệt độ, vị trí…) của quá trình in trên màn hình máy tính.



***Hình 3.6**: Start print*

3.2 Thiết kế thí nghiệm

Sử dụng máy in 3D dùng đầu phun 0,4mm với đầu phun có thể in chia tối thiểu đến 0,1mm mỗi lớp để tạo mẫu hình 8. Trong nghiên cứu này ta tiến hành các thí nghiệm các mẫu in 3D với các vật liệu và thông số in thay đổi khác nhau. Khi tiến hành thí nghiệm một trong những thông số nêu trên thì các thông số in còn lại sử dụng giá trị trung bình. Sau đó thu được kết quả và đưa ra biểu đồ để giải quyết những vấn đề sau: Xác định ảnh hưởng của vật liệu đến độ chính xác kích thước sản phẩm in 3D. Với 3 loại vật liệu sử dụng nghiên cứu tạo mẫu là PLA (Polylactide Acid) là loại vật liệu sinh học thân thiện với môi trường và con người, nhựa ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) ABS vẫn là một vật liệu rất phổ biến nhờ chi phí thấp và tính chất cơ học tốt. ABS được biết đến nhờ độ dẻo dai và khả năng chống va đập của nó, cho phép bạn in các sản phẩm bền chắc sẽ giữ cho việc sử dụng và mài mòn tốt hơn. Và nhựa PETG (Polyethylene terephthalate) đây là một loại vật liệu mới dùng cho máy in 3D được đánh giá rất tốt. PETG có độ chịu nhiệt cao tương đương ABS (100ºC trở lên), dễ in như PLA mà lại có độ cứng rất cao.

Xác định ảnh hưởng của mật độ điền đầy, dạng điền đầy ở bên trong, ở mặt trên và mặt dưới mẫu in, độ dày từng lớp in, các dạng điền đầy support, độ dày từng lớp in, tốc độ và vật liện in khác nhau đến độ chính xác kích thước sản phẩm in 3D. Mô hình CAD model được thiết kế bằng phần mềm Soliwork và xuất ra file có định dạng.STL chia lưới và sau đó được đưa vào phần mềm cắt lớp “Slic3r” để điều

chỉnh các thông số chạy mẫu, sau đó xuất sang file có định dạng gcode và nạp trực tiếp vào máy in 3D FDM.

STT	THÔNG SỐ	GIÁ TRỊ TRUNG BÌNH
1	Vật liệu	Nhựa PLA
2	Mật độ điền đầy (%)	60
3	Dạng điền đầy bên trong mẫu	Đường thẳng dạng zigzag (rectilinear)
4	Dạng điền đầy mặt trên, mặt dưới của mẫu	Đường thẳng dạng zigzag (rectilinear)
5	Dạng điền đầy ở các lớp nâng đỡ	Dạng hình trụ (pillars)
6	Góc nghiêng in ở các lớp nâng đỡ (°c)	45
7	Độ dày mặt trên mẫu in (mm)	6
8	Độ dày mặt dưới mẫu in (mm)	6
9	Độ dày thành mẫu in (mm)	6
10	Số lớp in bên thành	5
11	Số lớp in bên trên	5
12	Số lớp in bên dưới	5
13	Tốc độ in thành (mm/s)	60
14	Tốc độ in bên trong mẫu (mm/s)	80
15	Độ dày từng lớp in (mm)	0.3
16	Độ dày lớp in đầu tiên (mm)	0.35

***Hình 3.7**: Giá trị trung bình thông số thí nghiệm*

STT	THÔNG SỐ	GIÁ TRỊ THAY ĐỔI
1	Vật liệu	Nhựa PLA, NhựaABS, Nhựa PETG
2	Mật độ điền đầy (%)	20, 40, 60, 80, 100
3	Dạng điền đầy bên trong mẫu	Đường thẳng dạng zigzag (rectilinear), Tổ ong (honeycomb), Đường thẳng dạng song song (line), Xoắn đồng tâm (concentric), Xoắn ốc (archimedeanchords)
4	Dạng điền đầy mặt trên, mặt dưới của mẫu	Đường thẳng dạng zigzag (rectilinear), Tổ ong (honeycomb), Xoắn đồng tâm (concentric), Xoắn ốc (archimedeanchords), Đường cong gấp khúc (hilbert curve),
5	Dạng điền đầy ở các lớp nâng đỡ	Dạng hình trụ (pillars), Đường thẳng dạng zigzag (rectilinear), Tổ ong (honeycomb)
6	Góc nghiêng in ở các lớp nâng đỡ (°c)	0, 45, 90
7	Độ dày mặt trên mẫu in (mm)	4, 5, 6, 7, 8
8	Độ dày mặt dưới mẫu in (mm)	4, 5, 6, 7, 8
9	Độ dày thành mẫu in (mm)	4, 5, 6, 7, 8
10	Số lớp in bên thành	3, 4, 5, 6, 7
11	Số lớp in bên trên	3, 4, 5, 6, 7
12	Số lớp in bên dưới	3, 4, 5, 6, 7
13	Tốc độ in thành (mm/s)	40, 50, 60, 70, 80
14	Tốc độ in bên trong mẫu (mm/s)	60, 70, 80, 90, 100
15	Độ dày từng lớp in (mm)	0.2, 0.25, 0.3, 0.35, 0.4
16	Độ dày lớp in đầu tiên (mm)	0.3, 0.35, 0.4

***Hình 3.8**: Giá trị thay đổi thông số thí nghiệm*

3.3 Thông số tiến hành thí nghiệm

3.3.1 Thông số thí nghiệm với sự thay đổi vật liệu

- Với mẫu in thứ 1: thực hiện thí nghiệm với vật liệu nhựa PLA

Các giá trị thông số khác như mật độ điền đầy (%), độ dày của từng lớp in (mm), các kiểu in bên trong mẫu, kiểu in mặt trên và mặt dưới của mẫu in, kiểu di chuyển đầu in khi in Support, góc nghiêng in support, độ dày thành (mm), độ dày mặt trên và mặt dưới mẫu (mm), số lớp in thành, số lớp in mặt trên và mặt dưới mẫu in, tốc độ in (mm/s), độ dày lớp in đầu tiên (mm) → chọn giá trị trung bình.

- Với mẫu in thứ 2: thực hiện thí nghiệm với vật liệu nhựa ABS

Các giá trị thông số khác như mật độ điền đầy (%), độ dày của từng lớp in (mm), các kiểu in bên trong mẫu, kiểu in mặt trên và mặt dưới của mẫu in, kiểu di chuyển đầu in khi in Support, góc nghiêng in support, độ dày thành (mm), độ dày mặt trên và mặt dưới mẫu (mm), số lớp in thành, số lớp in mặt trên và mặt dưới mẫu in, tốc độ in (mm/s), độ dày lớp in đầu tiên (mm) → chọn giá trị trung bình.

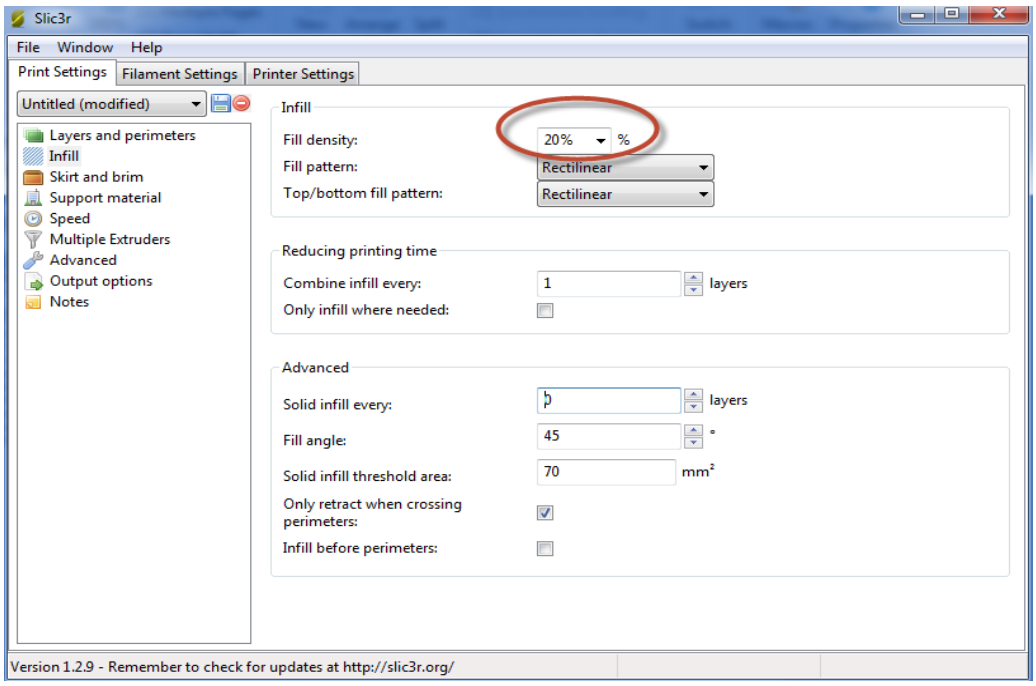
- Với mẫu in thứ 3: thực hiện thí nghiệm với vật liệu nhựa PETG

Các giá trị thông số khác như mật độ điền đầy (%), độ dày của từng lớp in (mm), các kiểu in bên trong mẫu, kiểu in mặt trên và mặt dưới của mẫu in, kiểu di chuyển đầu in khi in Support, góc nghiêng in support, độ dày thành (mm), độ dày mặt trên và mặt dưới mẫu (mm), số lớp in thành, số lớp in mặt trên và mặt dưới mẫu in, tốc độ in (mm/s), độ dày lớp in đầu tiên (mm) → chọn giá trị trung bình.

3.3.2 Thông số thí nghiệm với sự thay đổi mật độ điền đầy

- Với mẫu in thứ 1: thực hiện thí nghiệm với mật độ điền đầy (20%)

Các giá trị thông số khác như độ dày của từng lớp in (mm), các kiểu in bên trong mẫu, Kiểu in mặt trên và mặt dưới của mẫu in, kiểu di chuyển đầu in khi in Support, góc nghiêng in support, độ dày thành (mm), độ dày mặt trên và mặt dưới mẫu (mm), số lớp in thành, số lớp in mặt trên và mặt dưới mẫu in, tốc độ in (mm/s), độ dày lớp in đầu tiên (mm) → chọn giá trị trung bình.



***Hình 3.11**: Thiết lập mật độ điền đầy: 20%*

- Tương tự với mẫu in tiếp theo: thực hiện thí nghiệm với mật độ điền đầy (40%, 40%, 80%, 100%)

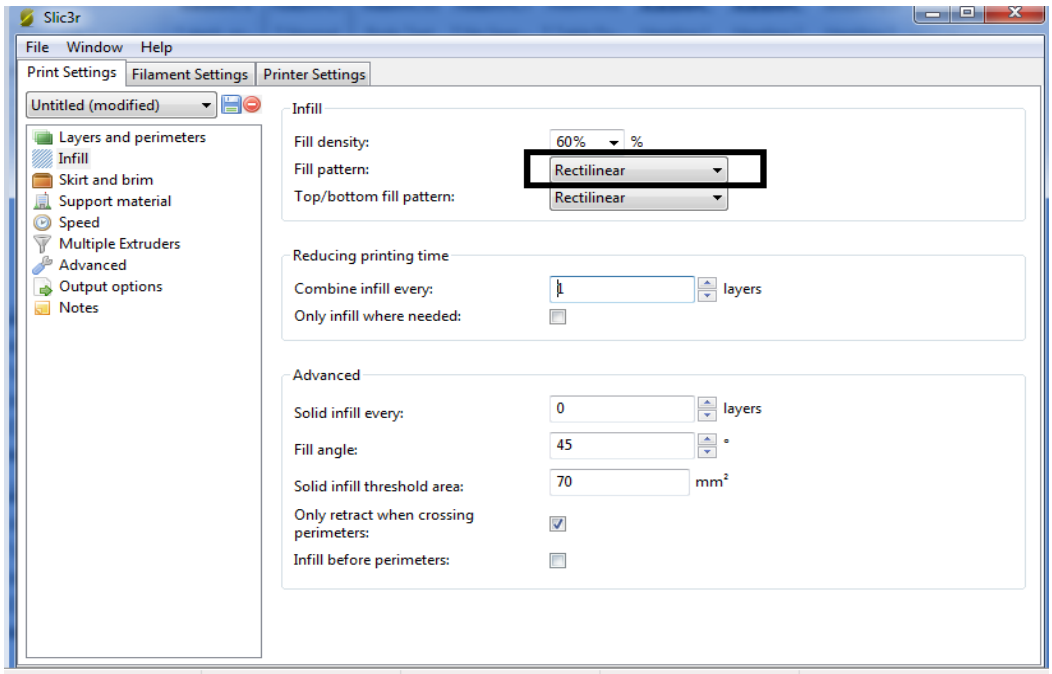
Các giá trị thông số khác như độ dày của từng lớp in (mm), các kiểu in bên trong mẫu, kiểu in mặt trên và mặt dưới của mẫu in, kiểu di chuyển đầu in khi in

Support, góc nghiêng in support, độ dày thành (mm), độ dày mặt trên và mặt dưới mẫu (mm), số lớp in thành, số lớp in mặt trên và mặt dưới mẫu in, tốc độ in (mm/s), độ dày lớp in đầu tiên (mm) → chọn giá trị trung bình.

3.3.3 Thông số thí nghiệm với sự thay đổi kiểu in bên trong mẫu

- Với mẫu in thứ 1: thực hiện thí nghiệm với các kiểu in bên trong mẫu: rectilinear.

Các giá trị thông số khác như mật độ điền đầy (%), độ dày của từng lớp in (mm), kiểu in mặt trên và mặt dưới của mẫu in, kiểu di chuyển đầu in khi in Support, góc nghiêng in support, độ dày thành (mm), độ dày mặt trên và mặt dưới mẫu (mm), số lớp in thành, số lớp in mặt trên và mặt dưới mẫu in, tốc độ in (mm/s), độ dày lớp in đầu tiên (mm) → chọn giá trị trung bình.



***Hình 3.12**: Thiết lập kiểu in bên trong mẫu: rectilinear*

- Tương tự với mẫu in tiếp theo: thực hiện thí nghiệm với các kiểu in bên trong mẫu: honeycomb, line, concentric, 3d honeycomb

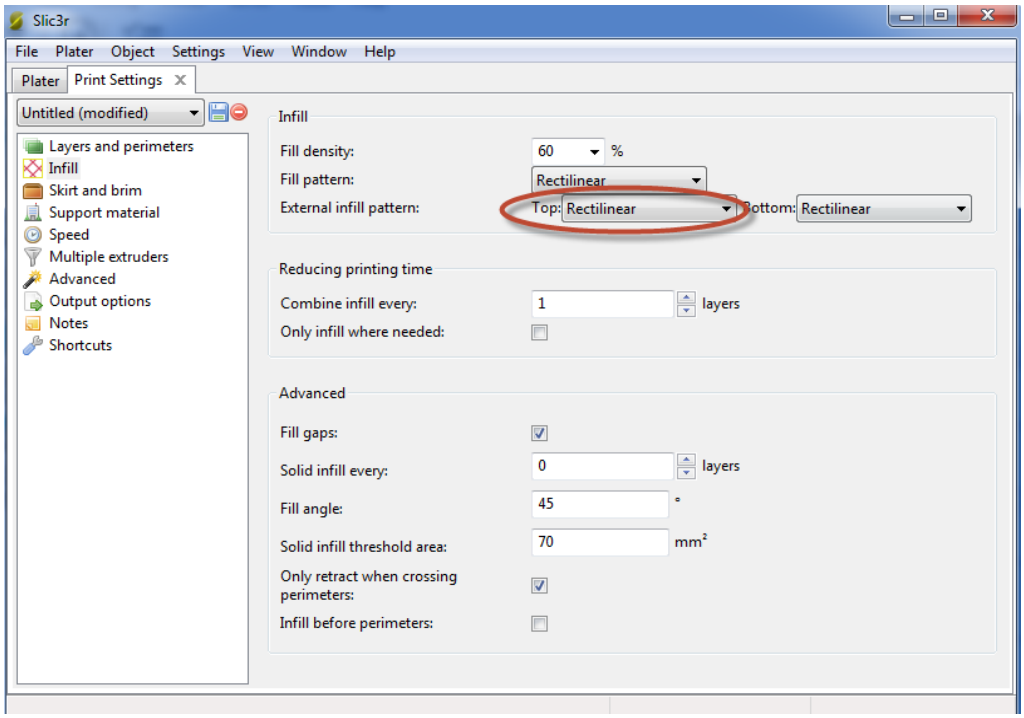
Các giá trị thông số khác như mật độ điền đầy (%), độ dày của từng lớp in (mm), kiểu in mặt trên và mặt dưới của mẫu in, kiểu di chuyển đầu in khi in Support, góc nghiêng in support, độ dày thành (mm), độ dày mặt trên và mặt dưới

mẫu (mm), số lớp in thành, số lớp in mặt trên và mặt dưới mẫu in, tốc độ in (mm/s), độ dày lớp in đầu tiên (mm) → chọn giá trị trung bình.

3.3.4 Thông số thí nghiệm với sự thay đổi kiểu in ở mặt trên mẫu

- Với mẫu in thứ 1: thực hiện thí nghiệm với các kiểu in ở mặt trên mẫu: rectilinear.

Các giá trị thông số khác như mật độ điền đầy (%), độ dày của từng lớp in (mm), kiểu in bên trong của mẫu in, kiểu in mặt dưới của mẫu in, kiểu di chuyển đầu in khi in Support, góc nghiêng in support, độ dày thành (mm), độ dày mặt trên và mặt dưới mẫu (mm), nhiệt độ, số lớp in thành, số lớp in mặt trên và mặt dưới mẫu in, tốc độ in (mm/s), độ dày lớp in đầu tiên (mm) → chọn giá trị trung bình.



***Hình 3.13**: Thiết lập kiểu in ở mặt trên mẫu: rectilinear*

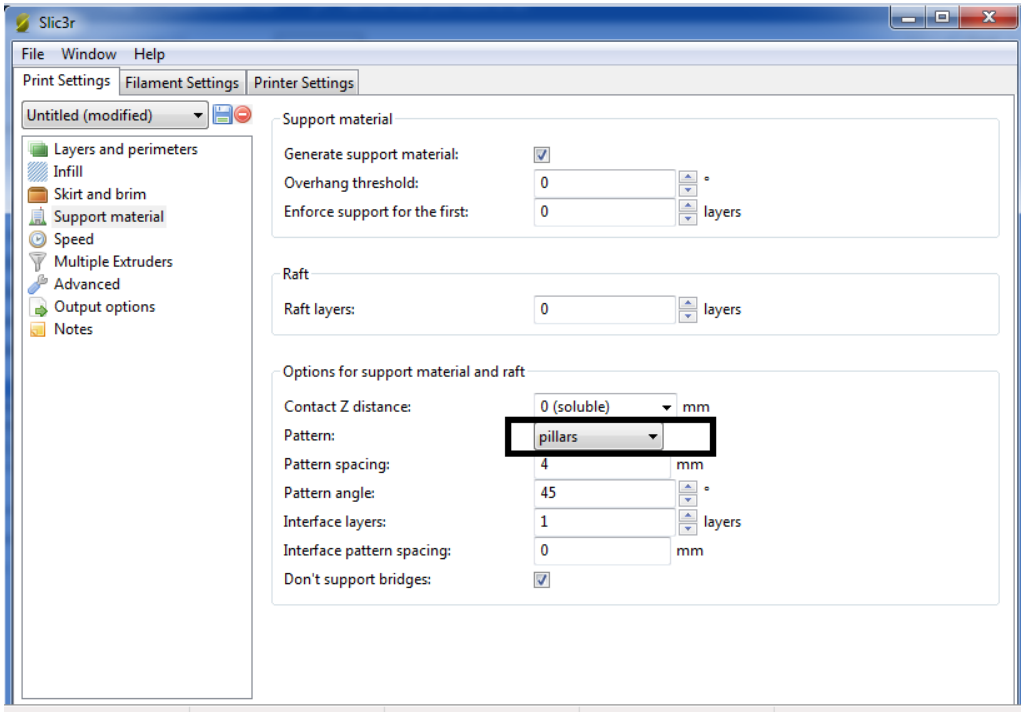
- Tương tự với mẫu in tiếp theo: thực hiện thí nghiệm với các kiểu in ở mặt trên mẫu: concentric, hilbert curve, octagram spiral, archimedeanchords

Các giá trị thông số khác như mật độ điền đầy (%), độ dày của từng lớp in (mm), kiểu in bên trong của mẫu in, kiểu in mặt dưới của mẫu in, kiểu di chuyển đầu in khi in Support, góc nghiêng in support, độ dày thành (mm), độ dày mặt trên và mặt dưới mẫu (mm), số lớp in thành, số lớp in mặt trên và mặt dưới mẫu in, tốc độ in (mm/s), độ dày lớp in đầu tiên (mm) → chọn giá trị trung bình.

3.3.5 Thông số thí nghiệm với sự thay đổi support

- Với mẫu in thứ 1: thực hiện thí nghiệm với kiểu di chuyển đầu in khi in Support: pillars

Các giá trị thông số khác như mật độ điền đầy (%), độ dày của từng lớp in (mm), các kiểu in bên trong mẫu, kiểu in mặt trên và mặt dưới của mẫu in, góc nghiêng in support, độ dày thành (mm), độ dày mặt trên và mặt dưới mẫu (mm), số lớp in thành, số lớp in mặt trên và mặt dưới mẫu in, tốc độ in (mm/s), độ dày lớp in đầu tiên (mm) → chọn giá trị trung bình.



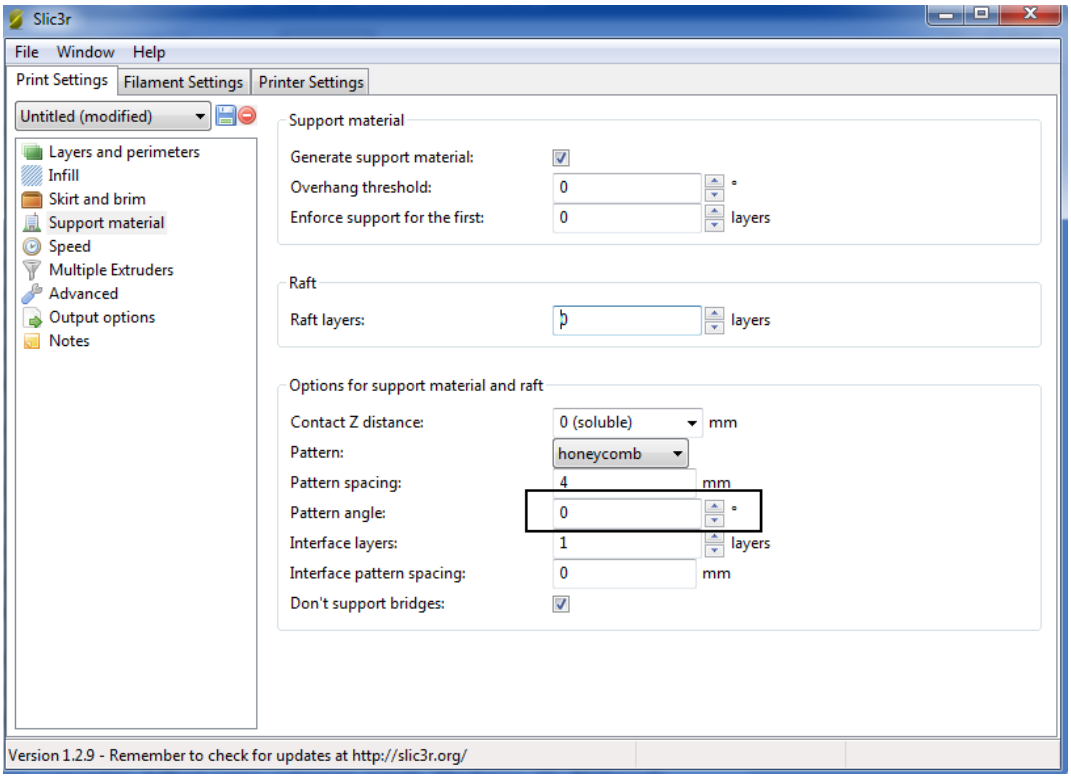
***Hình 3.14**: Thiết lập kiểu di chuyển đầu in khi in Support: pillars*

- Tương tự với mẫu in tiếp theo: thực hiện thí nghiệm với kiểu di chuyển đầu in khi in Support: rectilinear, honeycomb

Các giá trị thông số khác như mật độ điền đầy (%), độ dày của từng lớp in (mm), các kiểu in bên trong mẫu, kiểu in mặt trên và mặt dưới của mẫu in, góc nghiêng in support, độ dày thành (mm), độ dày mặt trên và mặt dưới mẫu (mm), số lớp in thành, số lớp in mặt trên và mặt dưới mẫu in, tốc độ in (mm/s), độ dày lớp in đầu tiên (mm) → chọn giá trị trung bình.

- Với mẫu in thứ 4: thực hiện thí nghiệm với góc nghiêng in: 0°c)

Các giá trị thông số khác như mật độ điền đầy (%), độ dày của từng lớp in (mm), các kiểu in bên trong mẫu, kiểu in mặt trên và mặt dưới của mẫu in, kiểu di chuyển đầu in khi in Support, độ dày thành (mm), độ dày mặt trên và mặt dưới mẫu (mm), số lớp in thành, số lớp in mặt trên và mặt dưới mẫu in, tốc độ in (mm/s), độ dày lớp in đầu tiên (mm) → chọn giá trị trung bình.



***Hình 3.15**: Thiết lập góc nghiêng in: 0°c*

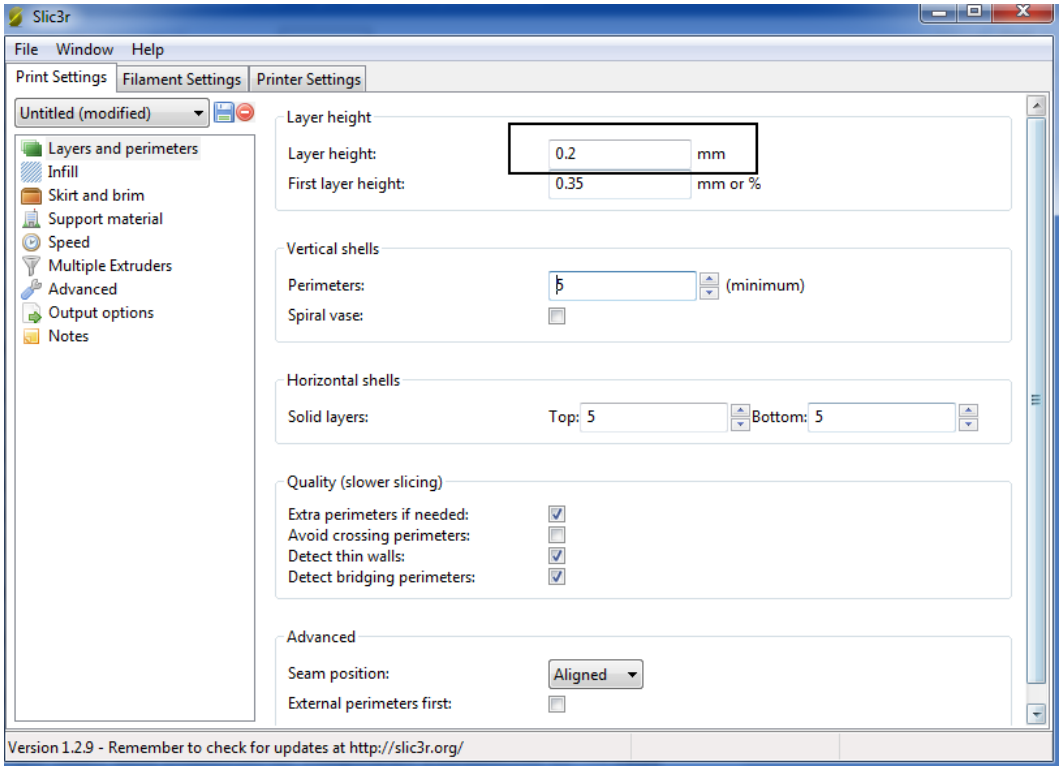
- Tương tự với mẫu in tiếp theo: thực hiện thí nghiệm với góc nghiêng in (pattern Angle: 45°c, 90°c)

Các giá trị thông số khác như mật độ điền đầy (%), độ dày của từng lớp in (mm), các kiểu in bên trong mẫu, kiểu in mặt trên và mặt dưới của mẫu in, kiểu di chuyển đầu in khi in Support, độ dày thành (mm), độ dày mặt trên và mặt dưới mẫu (mm), số lớp in thành, số lớp in mặt trên và mặt dưới mẫu in, tốc độ in (mm/s), độ dày lớp in đầu tiên (mm) → chọn giá trị trung bình.

3.3.6 Thông số thí nghiệm với sự thay đổi độ dày từng lớp in

- Với mẫu in thứ 1: thực hiện thí nghiệm với độ dày lớp in: 0.2 (mm)

Các giá trị thông số khác như mật độ điền đầy (%), các kiểu in bên trong mẫu, kiểu in mặt trên và mặt dưới của mẫu in, kiểu di chuyển đầu in khi in Support, góc nghiêng in support, độ dày thành (mm), độ dày mặt trên và mặt dưới mẫu (mm), số lớp in thành, số lớp in mặt trên và mặt dưới mẫu in, tốc độ in (mm/s), độ dày lớp in đầu tiên (mm) → chọn giá trị trung bình.



***Hình 3.16**: Thiết lập độ dày lớp in: 0.2mm*

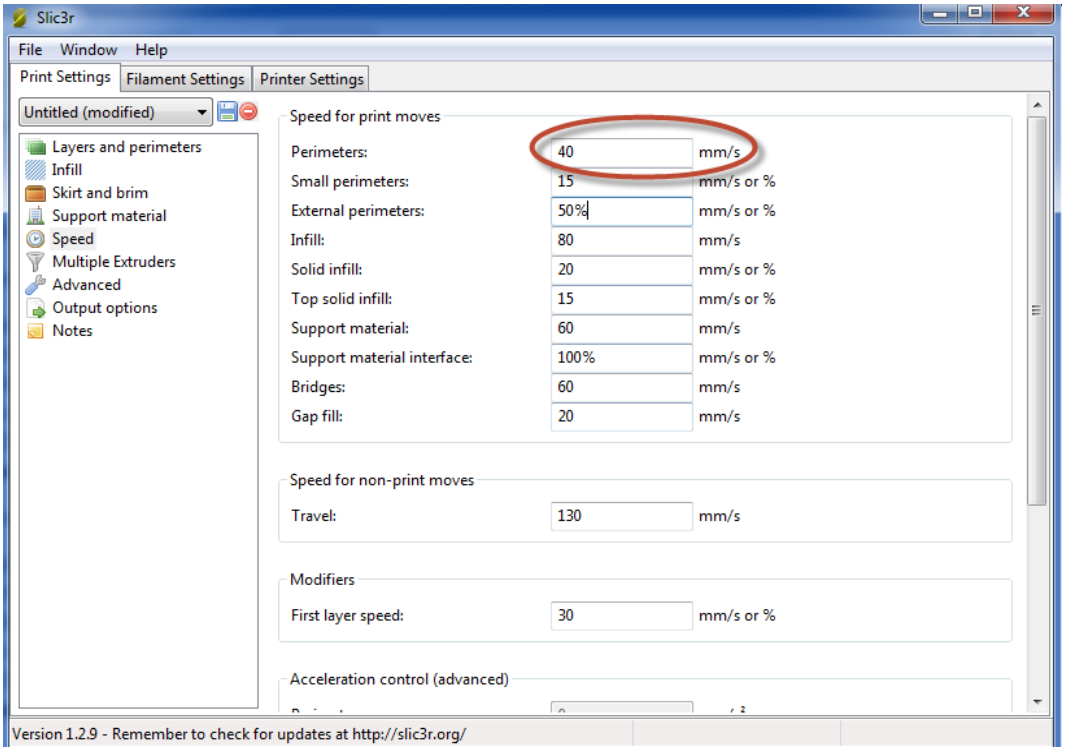
- Tương tự với mẫu in tiếp theo: thực hiện thí nghiệm với độ dày lớp in: 0.25mm, 0.3mm, 0.35mm, 0.4mm

Các giá trị thông số khác như mật độ điền đầy (%), các kiểu in bên trong mẫu, kiểu in mặt trên và mặt dưới của mẫu in, kiểu di chuyển đầu in khi in Support, góc nghiêng in support, độ dày thành (mm), độ dày mặt trên và mặt dưới mẫu (mm), số lớp in thành, số lớp in mặt trên và mặt dưới mẫu in, tốc độ in (mm/s), độ dày lớp in đầu tiên (mm) → chọn giá trị trung bình.

3.3.7 Thông số thí nghiệm với sự thay đổi tốc độ in

- Với mẫu in thứ 1: thực hiện thí nghiệm với tốc độ in thành: 40(mm/s)

Các giá trị thông số khác như mật độ điền đầy (%), độ dày của từng lớp in (mm), vật liệu nhựa PLA, các kiểu in bên trong mẫu, kiểu in mặt trên và mặt dưới của mẫu in, kiểu di chuyển đầu in khi in Support, góc nghiêng in support, độ dày thành (mm), độ dày mặt trên và mặt dưới mẫu (mm), số lớp in thành, số lớp in mặt trên và mặt dưới mẫu in, độ dày lớp in đầu tiên (mm) → chọn giá trị trung bình.



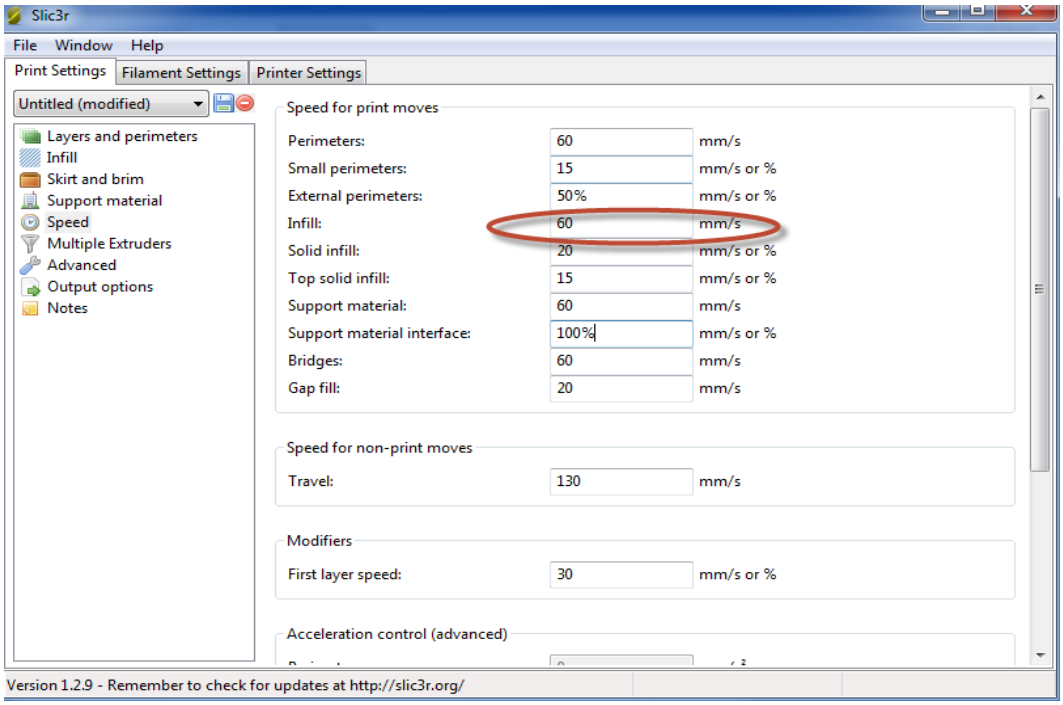
***Hình 3.17**: Thiết lập tốc độ in thành: 40mm/s*

- Tương tự với mẫu in tiếp theo: thực hiện thí nghiệm với tốc độ in thành: 50(mm/s), 60(mm/s), 70(mm/s), 80(mm/s)

Các giá trị thông số khác như mật độ điền đầy (%), độ dày của từng lớp in (mm), vật liệu nhựa PLA, các kiểu in bên trong mẫu, kiểu in mặt trên và mặt dưới của mẫu in, kiểu di chuyển đầu in khi in Support, góc nghiêng in support, độ dày thành (mm), độ dày mặt trên và mặt dưới mẫu (mm), số lớp in thành, số lớp in mặt trên và mặt dưới mẫu in, độ dày lớp in đầu tiên (mm) → chọn giá trị trung bình.

- Với mẫu in thứ 6: thực hiện thí nghiệm với tốc độ in bên trong mẫu in: 60(mm/s)

Các giá trị thông số khác như mật độ điền đầy (%), độ dày của từng lớp in (mm), vật liệu nhựa PLA, các kiểu in bên trong mẫu, kiểu in mặt trên và mặt dưới của mẫu in, kiểu di chuyển đầu in khi in Support, góc nghiêng in support, độ dày thành (mm), độ dày mặt trên và mặt dưới mẫu (mm), số lớp in thành, số lớp in mặt trên và mặt dưới mẫu in, độ dày lớp in đầu tiên (mm) → chọn giá trị trung bình.



***Hình 3.18**: Thiết lập tốc độ in bên trong mẫu in: 60mm/s*

- Tương tự với mẫu in tiếp theo: thực hiện thí nghiệm với tốc độ in bên trong mẫu in: 70(mm/s), 80(mm/s), 90(mm/s), 100(mm/s)

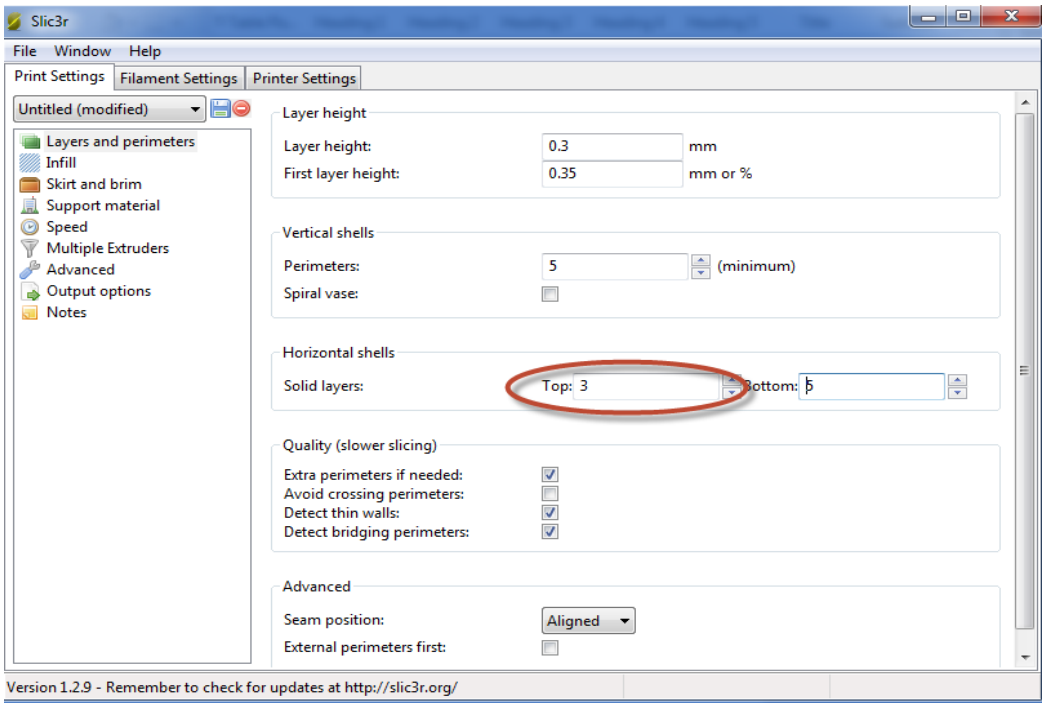
Các giá trị thông số khác như mật độ điền đầy (%), độ dày của từng lớp in (mm), vật liệu nhựa PLA, các kiểu in bên trong mẫu, kiểu in mặt trên và mặt dưới của mẫu in, kiểu di chuyển đầu in khi in Support, góc nghiêng in support, độ dày thành (mm), độ dày mặt trên và mặt dưới mẫu (mm), số lớp in thành, số lớp in mặt trên và mặt dưới mẫu in, độ dày lớp in đầu tiên (mm) → chọn giá trị trung bình.

3.3.8 Thông số thí nghiệm với sự thay đổi số lớp in mặt trên mẫu in

- Với mẫu in thứ 1: thực hiện thí nghiệm với số lớp in mặt trên mẫu: 3

Các giá trị thông số khác như mật độ điền đầy (%), độ dày của từng lớp in (mm), vật liệu nhựa PLA, các kiểu in bên trong mẫu, kiểu in mặt trên và mặt dưới của mẫu in, kiểu di chuyển đầu in khi in Support, góc nghiêng in support, độ dày

thành (mm), độ dày mặt trên và mặt dưới mẫu (mm), số lớp in thành, số lớp in mặt dưới mẫu in, tốc độ in (mm/s), độ dày lớp in đầu tiên (mm) → chọn giá trị trung bình.



***Hình 3.19**: Thiết lập số lớp in mặt trên mẫu: 3*

- Tương tự với mẫu in tiếp theo: thực hiện thí nghiệm với số lớp in mặt trên mẫu: 4, 5, 6, 7

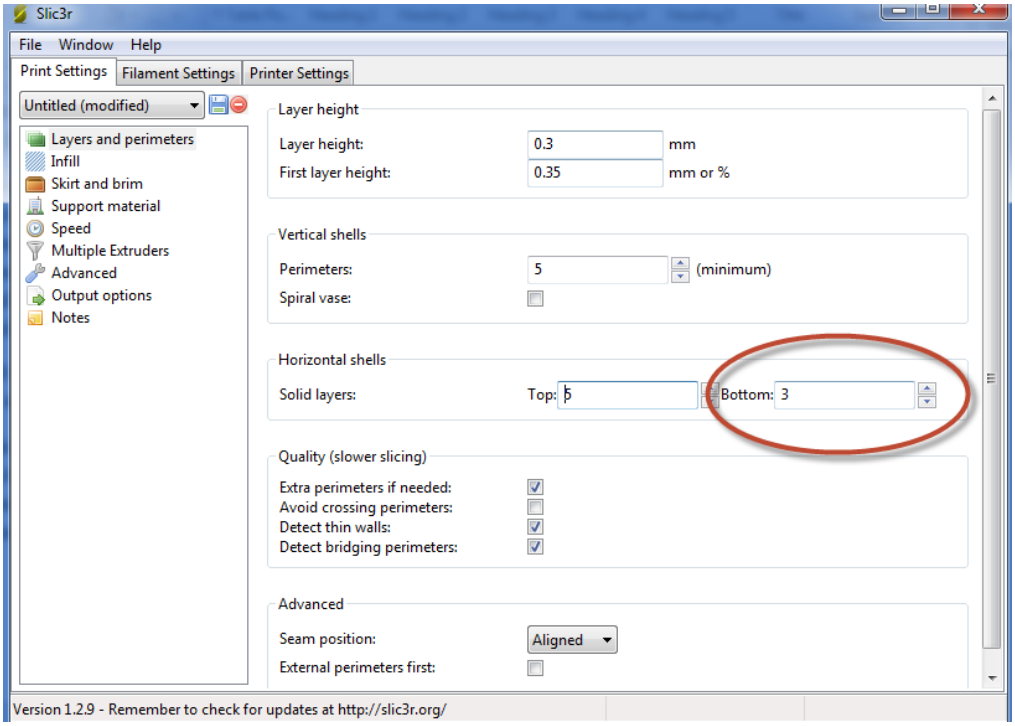
Các giá trị thông số khác như mật độ điền đầy (%), độ dày của từng lớp in (mm), vật liệu nhựa PLA, các kiểu in bên trong mẫu, kiểu in mặt trên và mặt dưới của mẫu in, kiểu di chuyển đầu in khi in Support, góc nghiêng in support, độ dày thành (mm), độ dày mặt trên và mặt dưới mẫu (mm), số lớp in thành, số lớp in mặt dưới mẫu in, tốc độ in (mm/s), độ dày lớp in đầu tiên (mm) → chọn giá trị trung bình.

3.3.9 Thông số thí nghiệm với sự thay đổi số lớp in mặt dưới mẫu in

- Với mẫu in thứ 1: thực hiện thí nghiệm với số lớp in mặt dưới mẫu in: 3

Các giá trị thông số khác như mật độ điền đầy (%), độ dày của từng lớp in (mm), vật liệu nhựa PLA, các kiểu in bên trong mẫu, kiểu in mặt trên và mặt dưới của mẫu in, kiểu di chuyển đầu in khi in Support, góc nghiêng in support, độ dày thành (mm), độ dày mặt trên và mặt dưới mẫu (mm), số lớp in thành, số lớp in mặt

trên mẫu in, tốc độ in (mm/s), độ dày lớp in đầu tiên (mm) → chọn giá trị trung bình.



***Hình 3.20**: Thiết lập số lớp in mặt dưới mẫu in: 3*

- Tương tự với mẫu in tiếp theo: thực hiện thí nghiệm với số lớp in mặt dưới mẫu in: 4,5,6,7

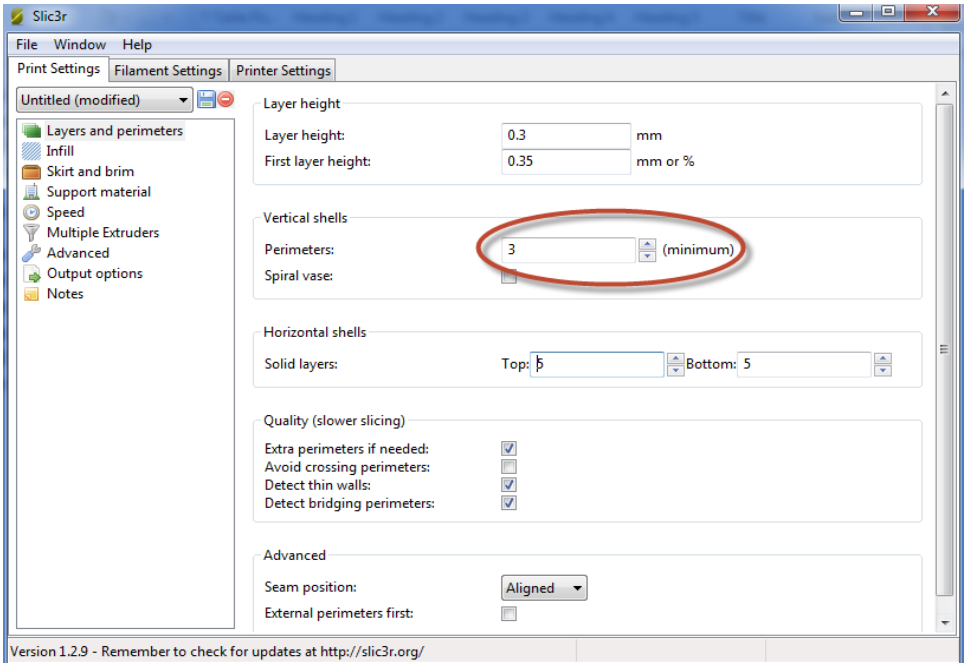
Các giá trị thông số khác như mật độ điền đầy (%), độ dày của từng lớp in (mm), vật liệu nhựa PLA, các kiểu in bên trong mẫu, kiểu in mặt trên và mặt dưới của mẫu in, kiểu di chuyển đầu in khi in Support, góc nghiêng in support, độ dày thành (mm), độ dày mặt trên và mặt dưới mẫu (mm), số lớp in thành, số lớp in mặt trên mẫu in, tốc độ in (mm/s), độ dày lớp in đầu tiên (mm) → chọn giá trị trung bình.

3.3.10 Thông số thí nghiệm với sự thay đổi số lớp in bên thành mẫu in

- Với mẫu in thứ 1: thực hiện thí nghiệm với số lớp in bên thành mẫu: 3

Các giá trị thông số khác như mật độ điền đầy (%), độ dày của từng lớp in (mm), vật liệu nhựa PLA, các kiểu in bên trong mẫu, kiểu in mặt trên và mặt dưới của mẫu in, kiểu di chuyển đầu in khi in Support, góc nghiêng in support, độ dày

thành (mm), độ dày mặt trên và mặt dưới mẫu (mm), số lớp in mặt trên và mặt dưới mẫu in, tốc độ in (mm/s), độ dày lớp in đầu tiên (mm) → chọn giá trị trung bình.



***Hình 3.21**: số lớp in bên thành mẫu: 3*

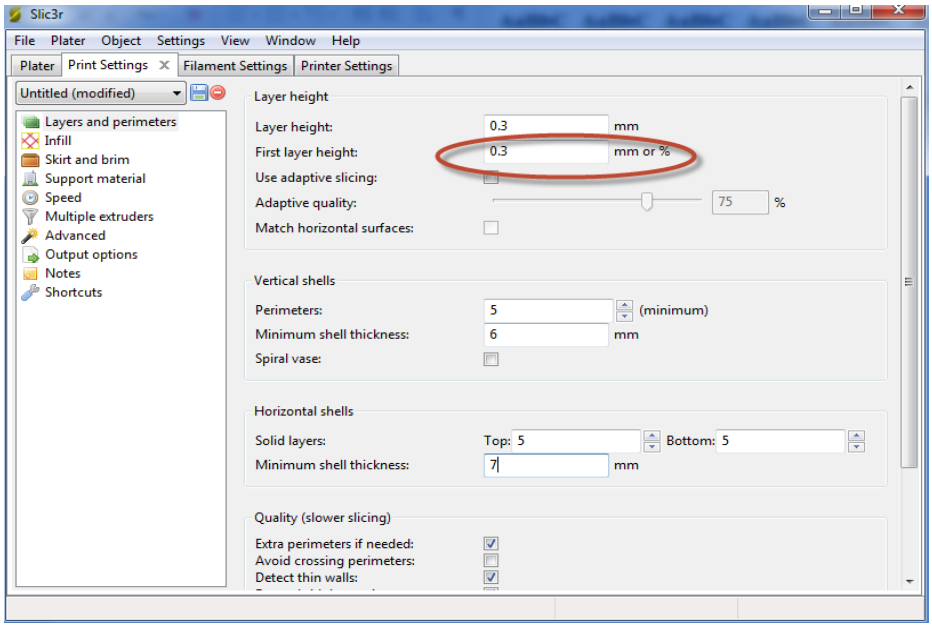
- Tương tự với mẫu in tiếp theo: thực hiện thí nghiệm với số lớp in bên thành mẫu: 4,5,6,7

Các giá trị thông số khác như mật độ điền đầy (%), độ dày của từng lớp in (mm), vật liệu nhựa PLA, các kiểu in bên trong mẫu, kiểu in mặt trên và mặt dưới của mẫu in, kiểu di chuyển đầu in khi in Support, góc nghiêng in support, độ dày thành (mm), độ dày mặt trên và mặt dưới mẫu (mm), số lớp in mặt trên và mặt dưới mẫu in, tốc độ in (mm/s), độ dày lớp in đầu tiên (mm) → chọn giá trị trung bình.

3.3.11 Thông số thí nghiệm với sự thay đổi độ dày lớp in đầu tiên mẫu

- Với mẫu in thứ 1: thực hiện thí nghiệm với độ dày lớp in đầu tiên mẫu: **0.3mm**

Các giá trị thông số khác như mật độ điền đầy (%), độ dày của từng lớp in (mm), vật liệu nhựa PLA, các kiểu in bên trong mẫu, kiểu in mặt trên và mặt dưới của mẫu in, kiểu di chuyển đầu in khi in Support, góc nghiêng in support, độ dày thành (mm), độ dày mặt trên và mặt dưới mẫu (mm), số lớp in thành, số lớp in mặt trên và mặt dưới mẫu in, tốc độ in (mm/s), độ dày lớp in đầu tiên (mm) → chọn giá trị trung bình.



***Hình 3.22**: Thiết lập độ dày lớp in đầu tiên mẫu: 0.3mm*

- Tương tự với mẫu in tiếp theo: thực hiện thí nghiệm với độ dày lớp in đầu tiên mẫu: 0.35mm, 0.4mm

Các giá trị thông số khác như mật độ điền đầy (%), độ dày của từng lớp in (mm), vật liệu nhựa PLA, các kiểu in bên trong mẫu, kiểu in mặt trên và mặt dưới của mẫu in, kiểu di chuyển đầu in khi in Support, góc nghiêng in support, độ dày thành (mm), độ dày mặt trên và mặt dưới mẫu (mm), số lớp in thành, số lớp in mặt trên và mặt dưới mẫu in, tốc độ in (mm/s), độ dày lớp in đầu tiên (mm) → chọn giá trị trung bình.

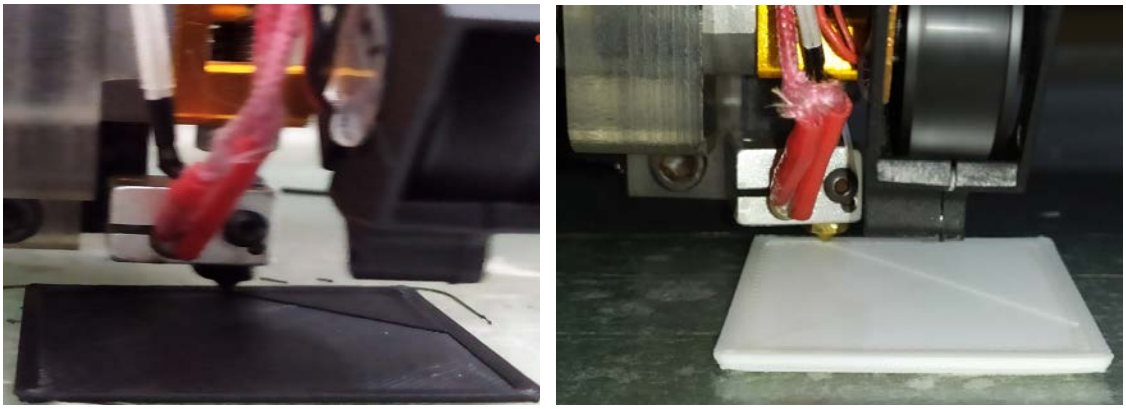
CHƯƠNG 4

PHÂN TÍCH KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM VÀ THẢO LUẬN

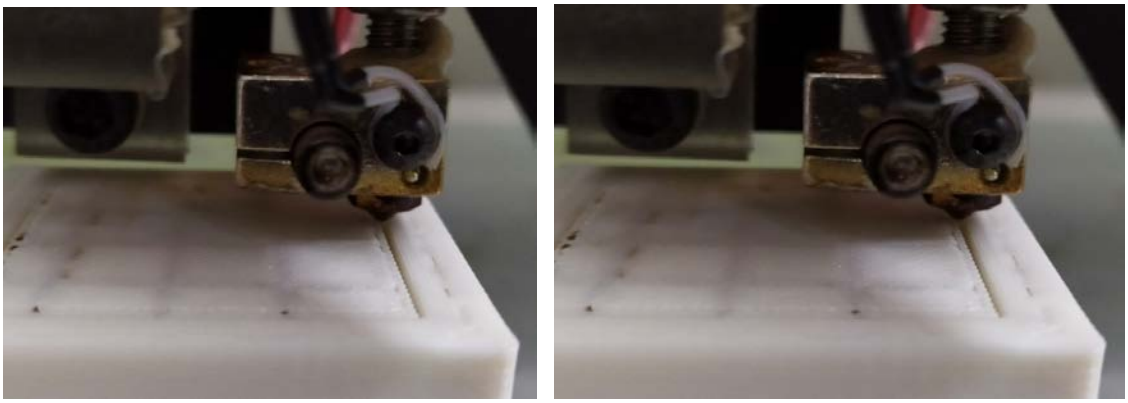
4.1 Kiểu đường di chuyển bên trong mẫu in

Tiến hành thí nghiệm in với những kiểu đường di chuyển bên trong chi tiết in **infill Pattern:** rectilinear, honeycomb, line, concentric, 3d honeycomb.

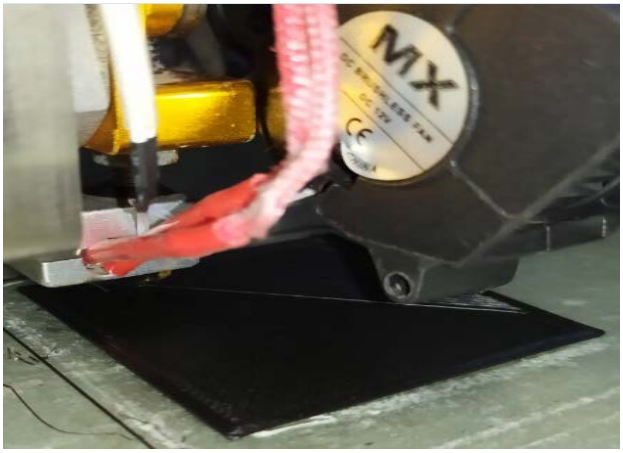
4.1.1 Hình ảnh thực nghiệm kiểu đường di chuyển:



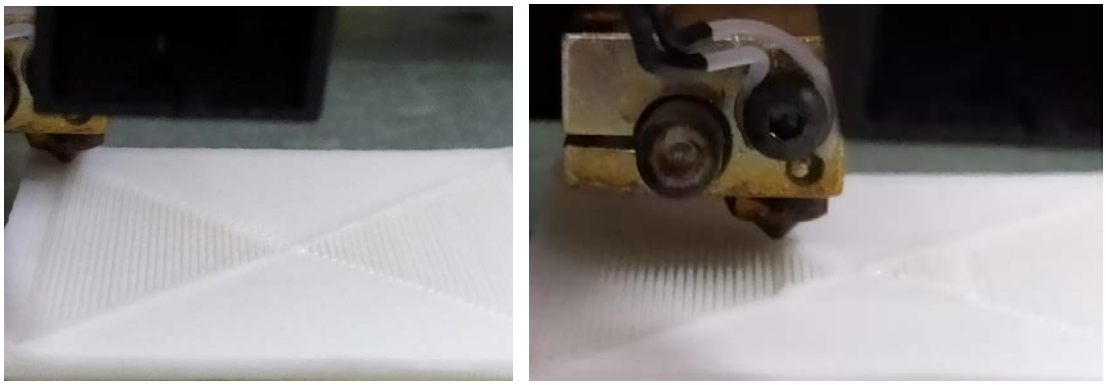
***Hình 4.1**: Kiểu đường di chuyển rectilinear*



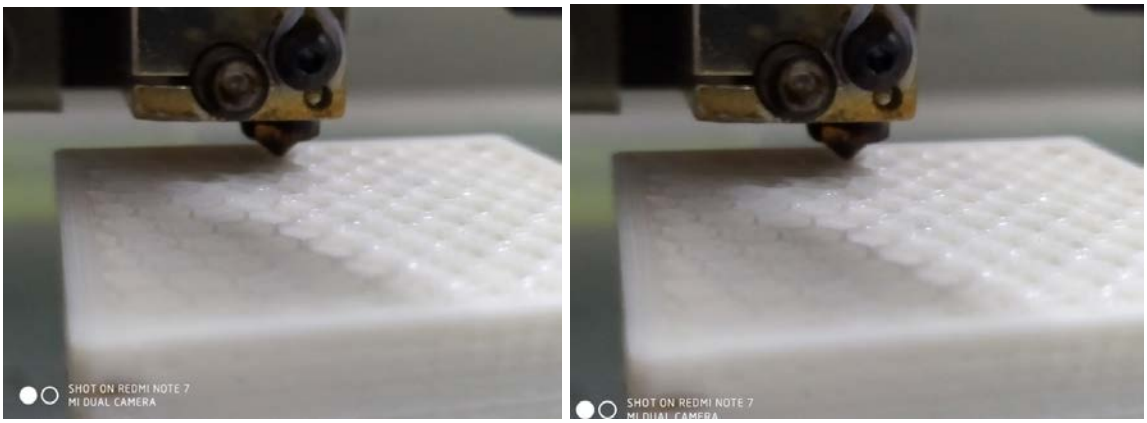
***Hình 4.1**: Kiểu đường di chuyển rectilinear*



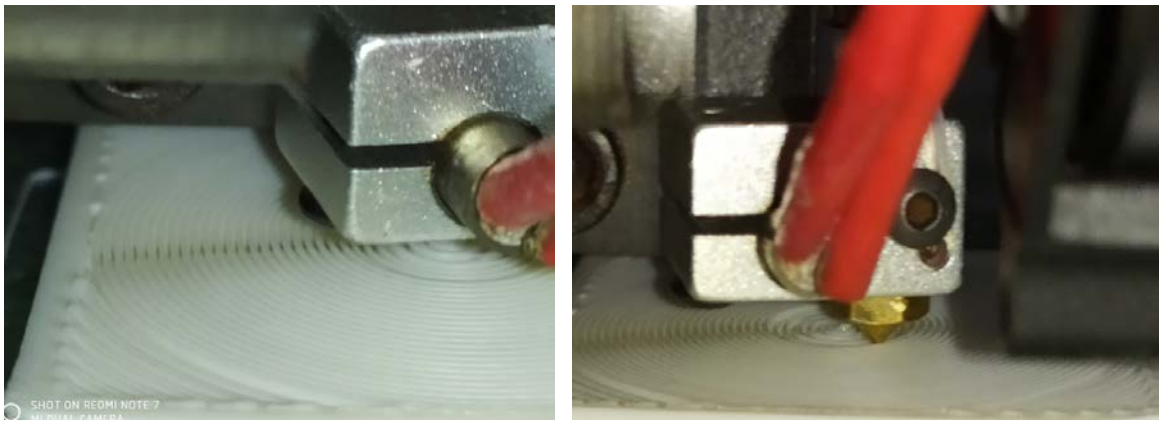
***Hình 4.2**: Kiểu đường di chuyển line*



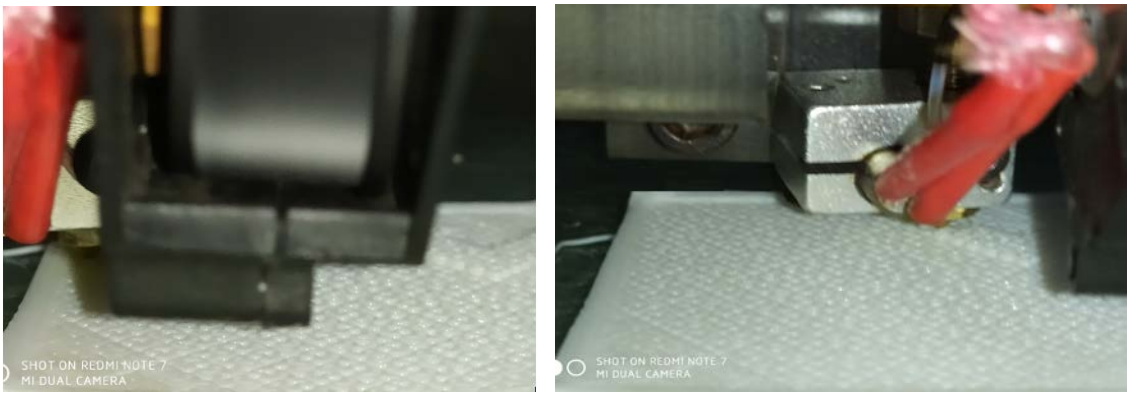
***Hình 4.3**: Kiểu đường di chuyển concentric*



***Hình 4.4**: Kiểu đường di chuyển honeycomb*



***Hình 4.5**: Kiểu đường di chuyển archimedeanchords*



***Hình 4.6**: Kiểu đường di chuyển hilbertcure*

4.1.2 Kết quả thực nghiệm

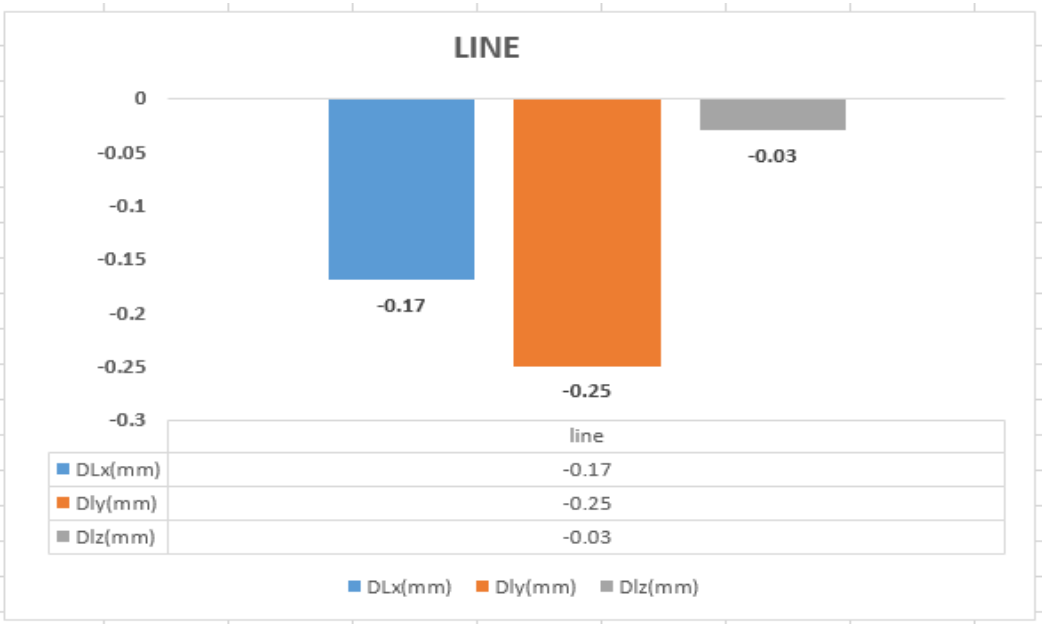
Sau khi tiến hành thí nghiệm ta thu được kết quả thực nghiệm như sau:

-Độ sai lệch kích thước theo phương x y z của các kiểu đường di chuyển đầu in.

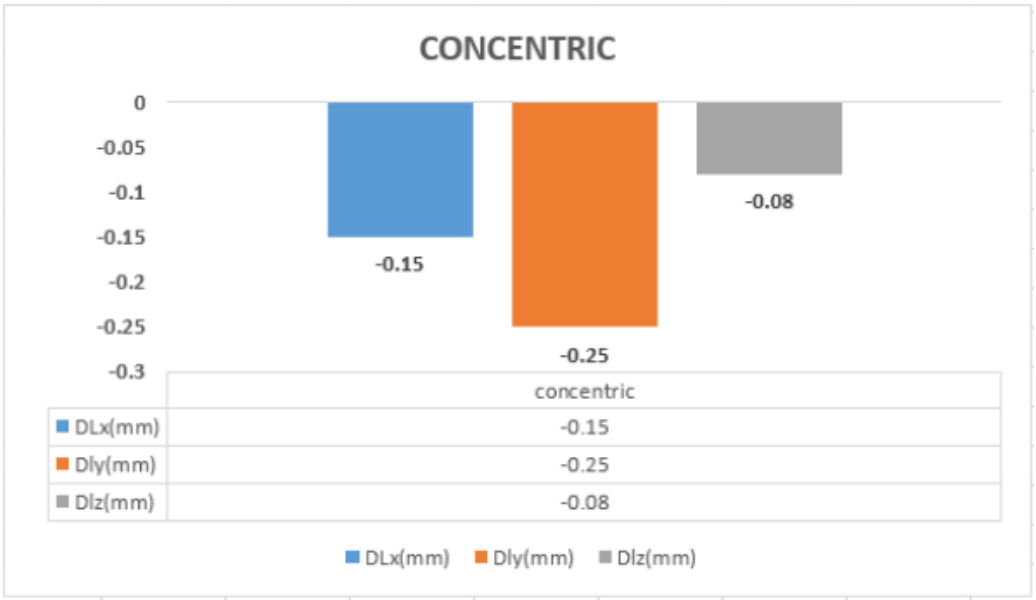
	ΔLx(mm)	Δly(mm)	Δlz(mm)
line	-0.17	-0.25	-0.03
concentric	-0.15	-0.25	-0.08
rectiliner	-0.01	-0.15	-0.16
honeycomb	-0.12	-0.12	-0.08
3d honeycomb	-0.08	-0.21	-0.25

***Hình 4.7**: Độ sai lệch kích thước theo phương x y z*

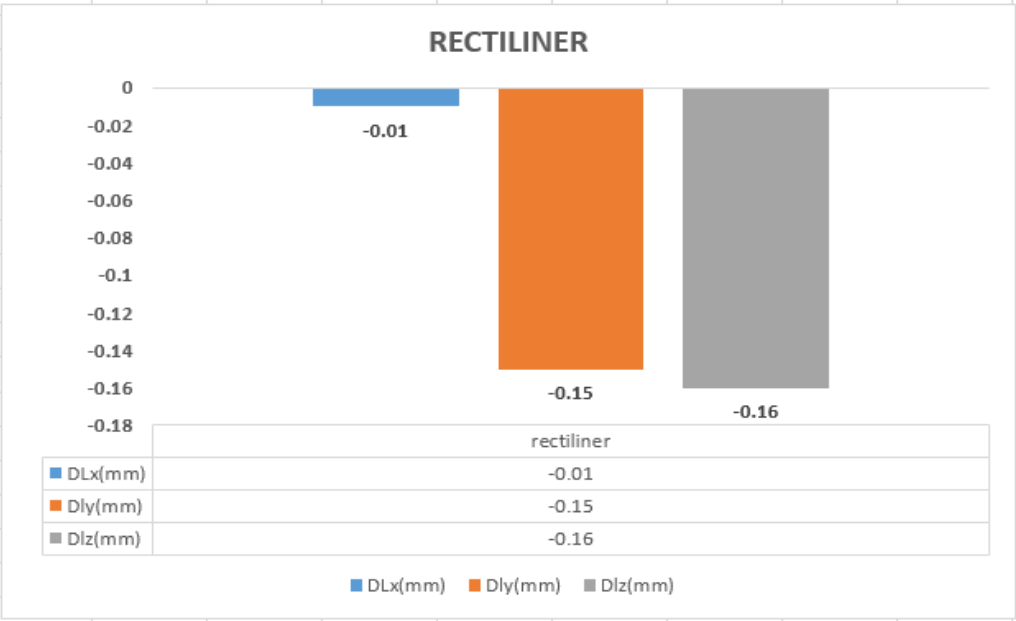
-Biểu đồ thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z của các kiểu đường di chuyển đầu in.



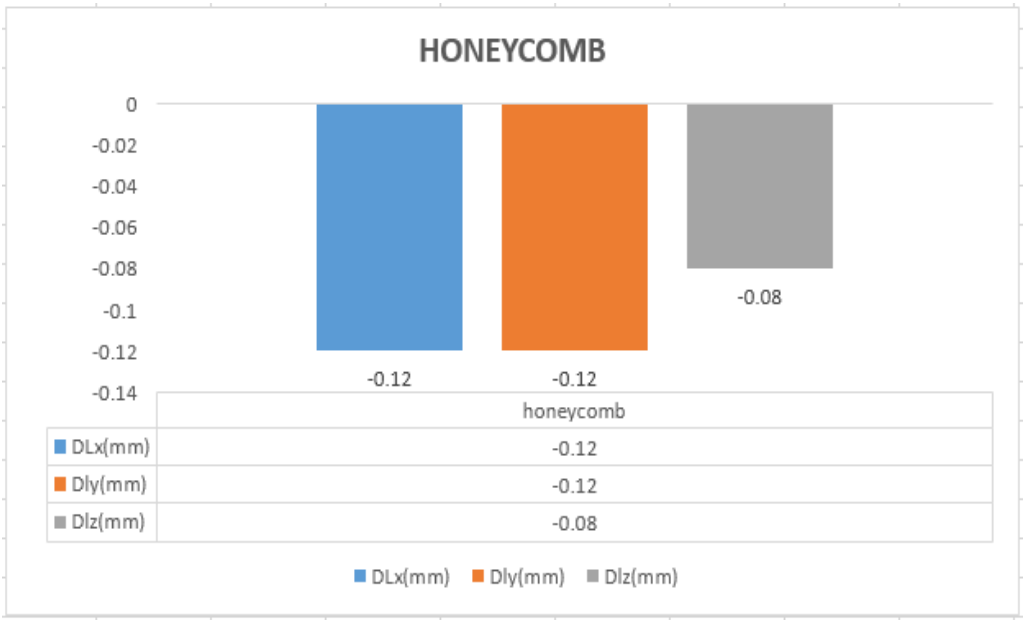
***Hình 4.8**: Biểu đồ thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z ở kiểu di chuyển line*



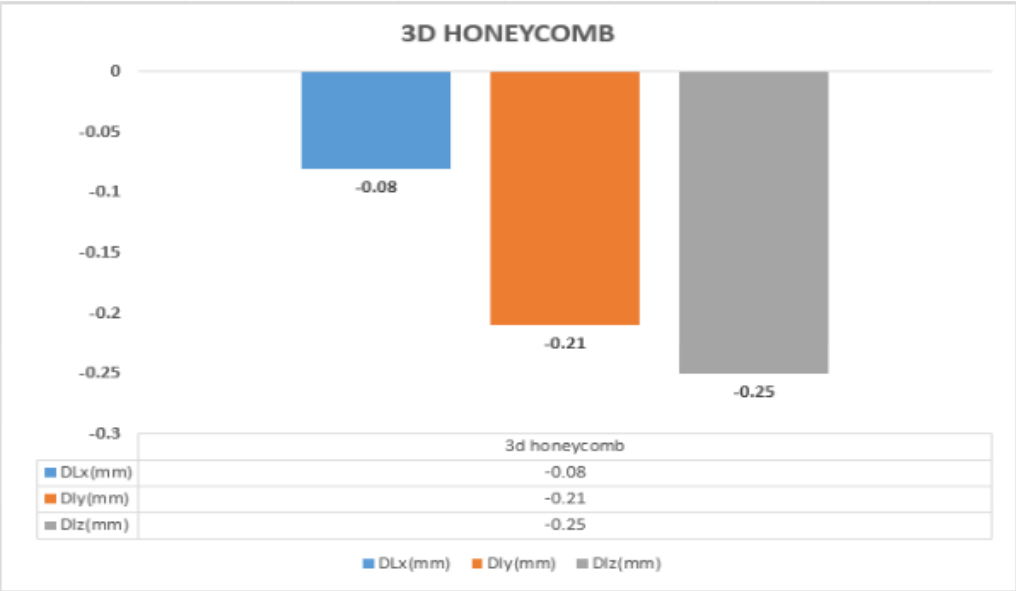
***Hình 4.9**: Biểu đồ thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z ở kiểu di chuyển concentric*



***Hình 4.10**: Biểu đồ thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z ở kiểu di chuyển rectiliner*

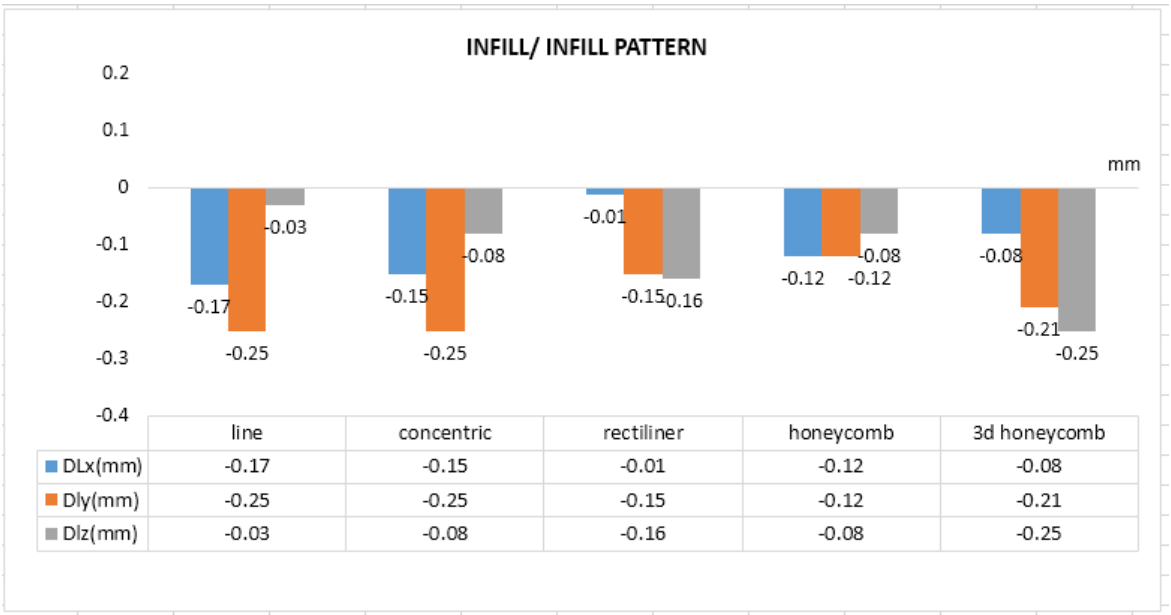


***Hình 4.11**: Biểu đồ thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z ở kiểu di chuyển honeycomb*



***Hình 4.12**: Biểu đồ thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z ở kiểu di chuyển 3d honeycomb*

-Biểu đồ tổng thể thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z của các kiểu di chuyển:



***Hình 4.13**: Biểu đồ tổng thể thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z*

Nhận xét: Từ biểu đồ thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z ta nhận thấy rằng: khi tiến hành thí nghiệm với những kiểu di chuyển đầu in bên trong

sản phẩm: rectilinear, honeycomb, line, concentric, 3d honeycomb khác nhau thì độ sai lệch kích thước đối với kiểu di chuyển đầu in honeycomb, kiểu line và kiểu rectilinear là thấp. Kiểu rectilinear và kiểu line về cơ bản là giống nhau về kiểu chạy tuy nhiên ở kiểu line giữa các đường chạy nhựa có liên kết với nhau do đó kiểu chạy này giảm thời gian các đường chạy không. Khác với kiểu rectilinear không có sự liên kết với nhau do đó tốn thêm thời gian cho khoảng chạy không in. Kiểu honeycomb là các kiểu chạy nhựa tượng đối phù hợp với lớp ở phía trong khi với những kiểu chạy nhựa này có thể in với tốc độ cao hơn, giảm bớt thời gian in hơn. Vì thế từ đó ta có thể chọn kiểu line và kiểu honeycomb là kiểu di chuyển đầu in bên trong sản phẩm là tối ưu nhất.

4.2 Kiểu đường di chuyển ở mặt bên trên và bên dưới mẫu in

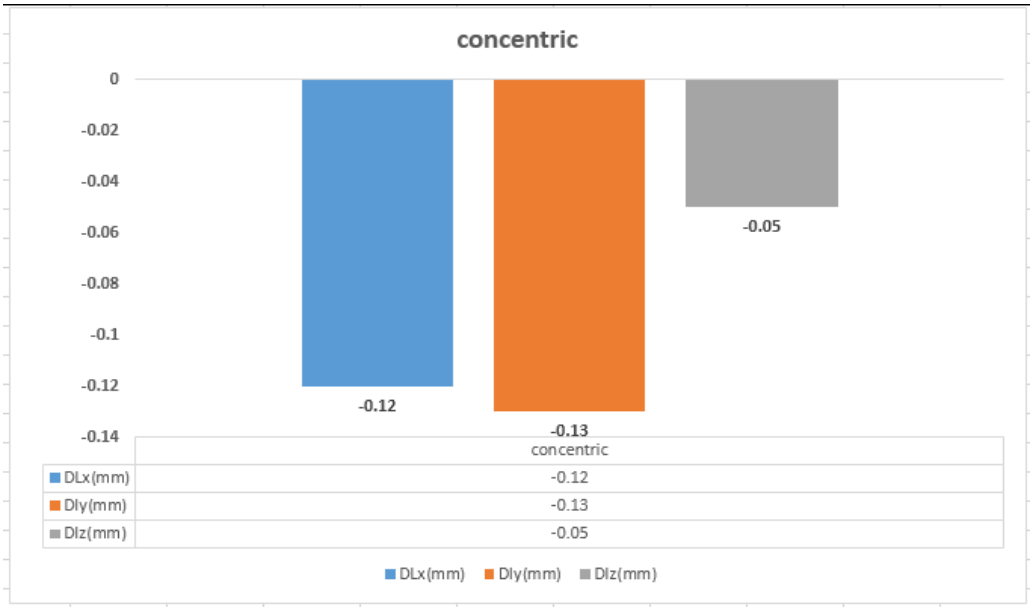
Sau khi tiến hành thí nghiệm in với những kiểu đường di chuyển ở mặt bên trên, bên dưới mẫu: rectilinear, concentric, hilbert curve, octagram spiral, archimedeanchords.

-Độ sai lệch kích thước theo phương x y z của các kiểu đường di chuyển đầu in.

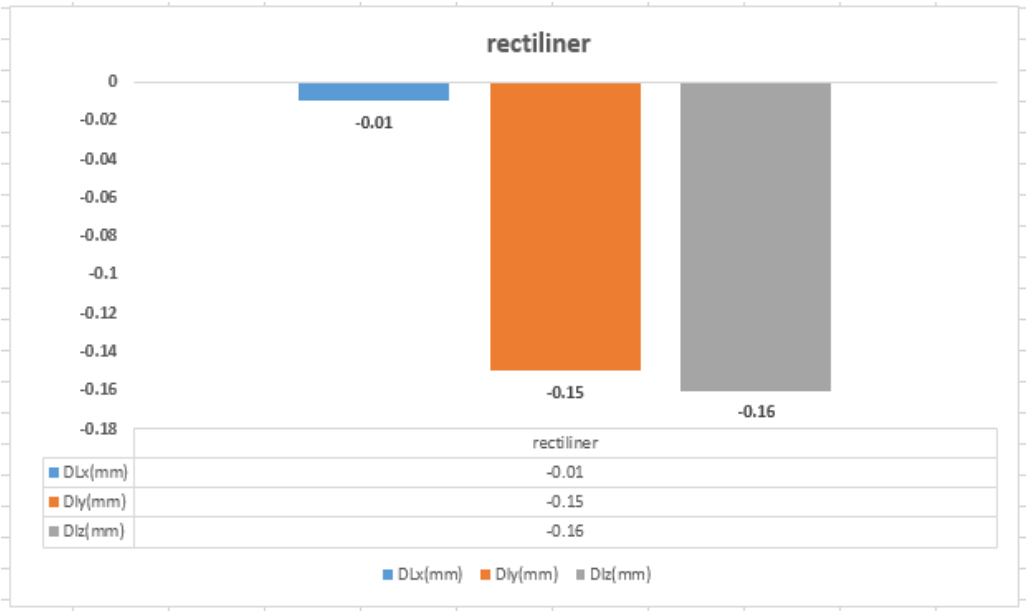
	ΔLx(mm)	Δly(mm)	Δlz(mm)
concentric	-0.12	-0.13	-0.05
rectiliner	-0.01	-0.15	-0.16
hilbert curve	-0.33	-0.37	-0.02
octagam spiral	-0.28	-0.25	-0.05
archimedeanch	-0.18	-0.13	-0.08

***Hình 4.14**: Độ sai lệch kích thước theo phương x y z*

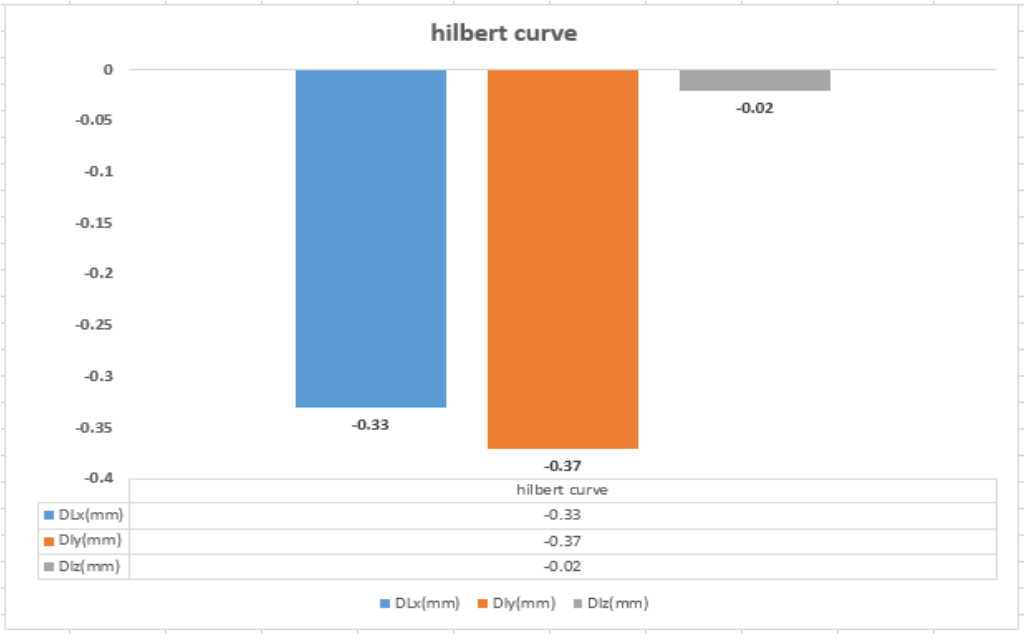
-Biểu đồ thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z của các kiểu đường di chuyển đầu in.



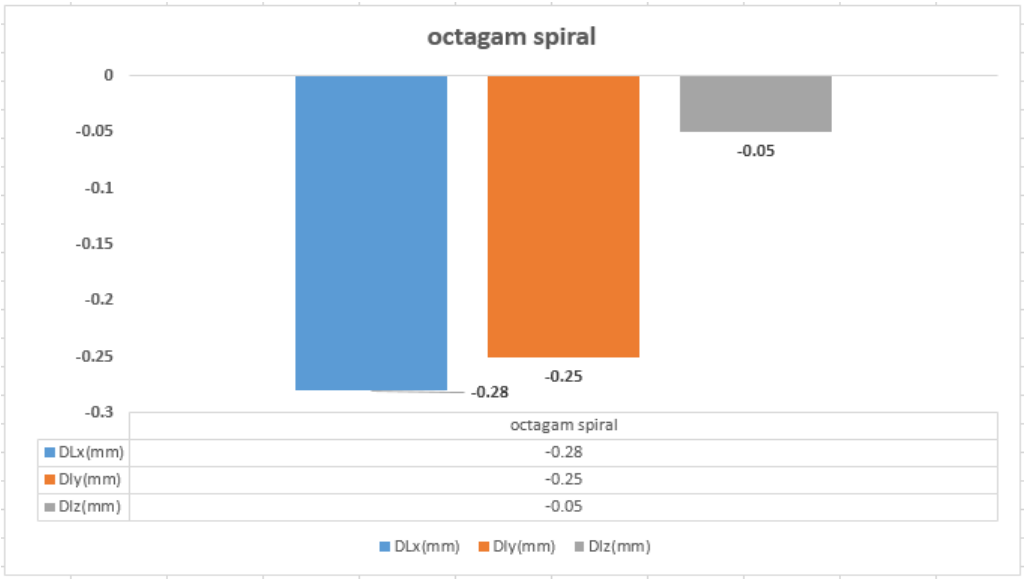
***Hình 4.15**: Biểu đồ thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z ở kiểu di chuyển concentric*



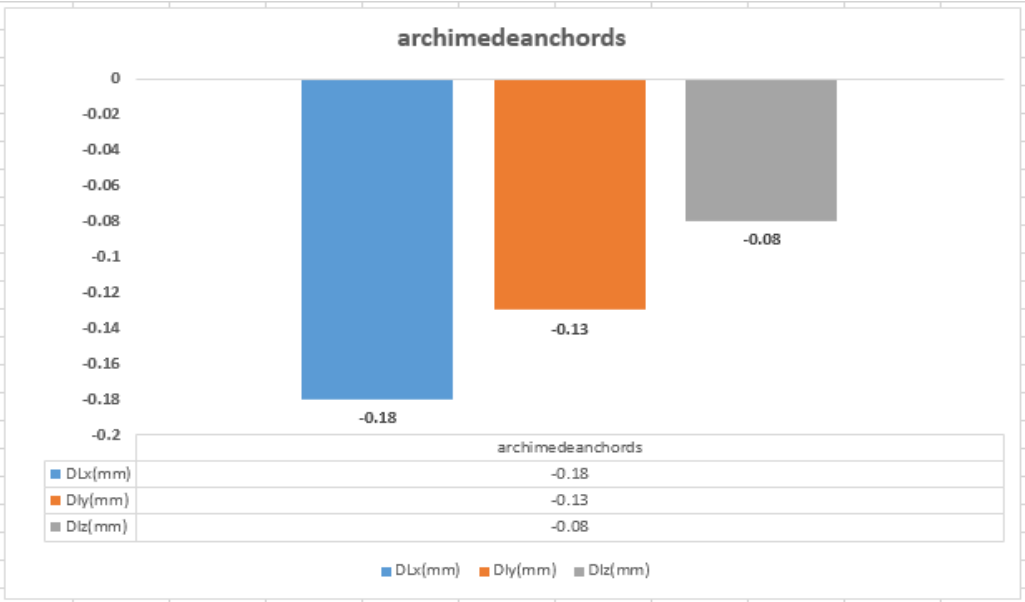
***Hình 4.16**: Biểu đồ thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z ở kiểu di chuyển rectiliner*



***Hình 4.17**: Biểu đồ thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z ở kiểu di chuyển Hilbert curve*

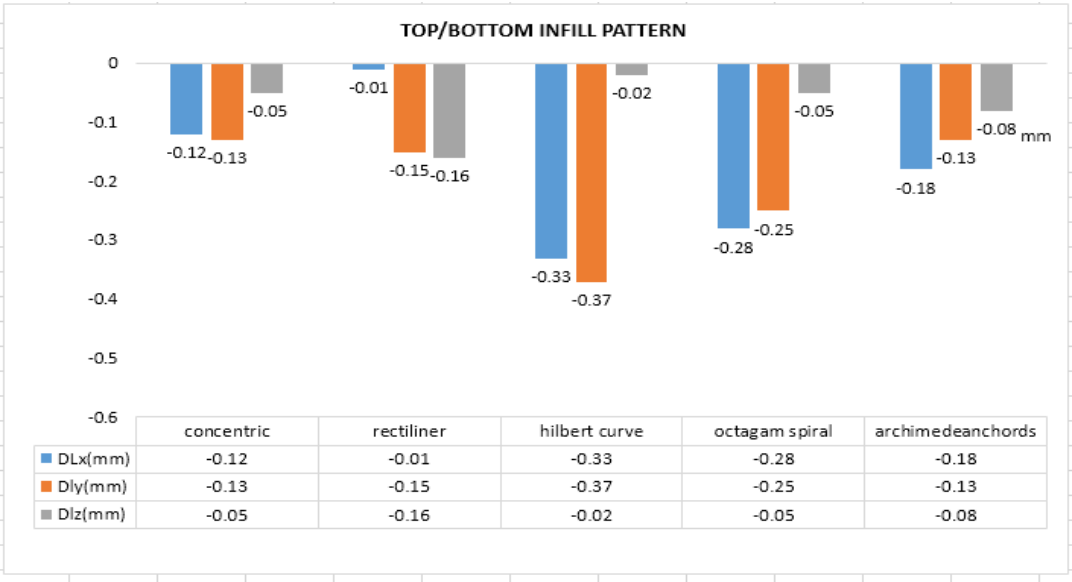


***Hình 4.18**: Biểu đồ thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z ở kiểu di chuyển octagam spiral*



***Hình 4.19**: Biểu đồ thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z ở kiểu di chuyển archimedeanchords*

-Biểu đồ tổng thể thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z của các kiểu đường di chuyển đầu in:



***Hình 4.20**: Biểu đồ tổng thể thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z*

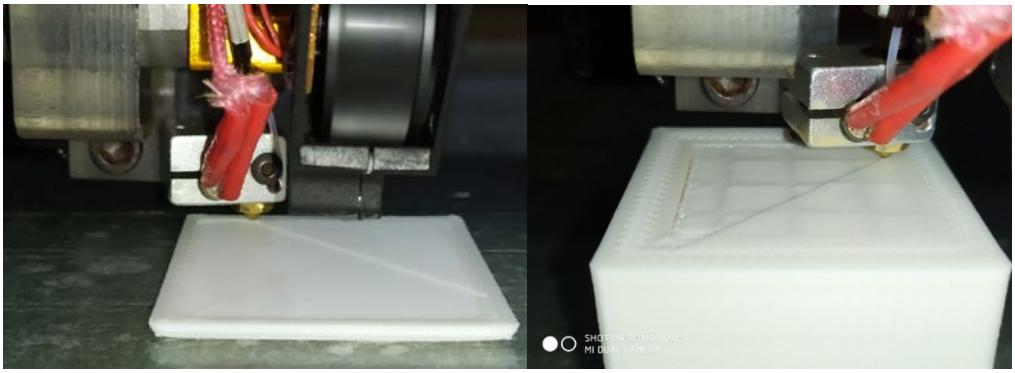
Nhận xét: Từ biểu đồ thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z ta nhận thấy rằng: kiểu đường di chuyển ở lớp bên trên, bên dưới mẫu: rectilinear, concentric, hilbert curve, octagram spiral, archimedeanchords khác nhau thì độ sai

lệch kích thước theo phương X đối với kiểu di chuyển đầu in concentric và kiểu rectilinear là thấp. Độ sai lệch kích thước theo phương Y đối với kiểu di chuyển đầu in concentric là thấp nhất. Và độ sai lệch kích thước theo phương Z đối với kiểu di chuyển đầu in concentric và kiểu hilbert curve là thấp hơn những kiểu in còn lại. Kiểu rectilinear, concentric thường dùng cho những lớp đáy và lớp phía trên của mẫu in do đạt được thẩm mĩ cao hơn những kiểu chạy khác. Vì thế ta có thể chọn kiểu concentric và kiểu rectilinear là kiểu di chuyển đầu in ở lớp bên trên và bên dưới mẫu là tối ưu nhất.

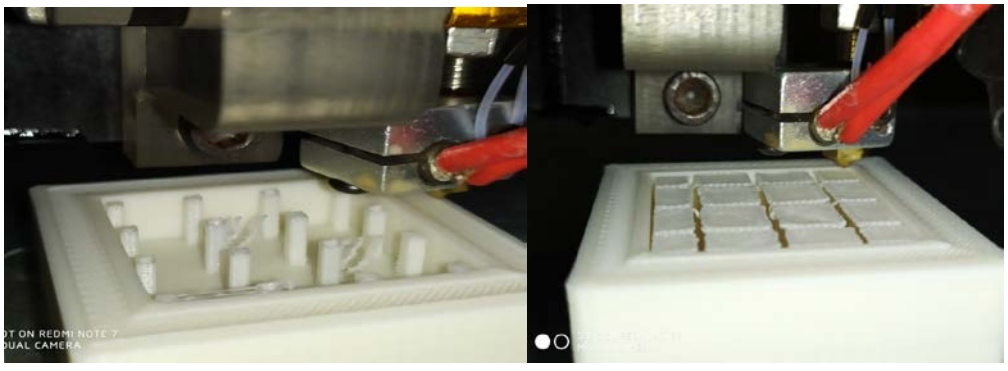
4.3 Thay đổi vật liệu in

Tiến hành thí nghiệm in với vật liệu PLA, ABS, PETG

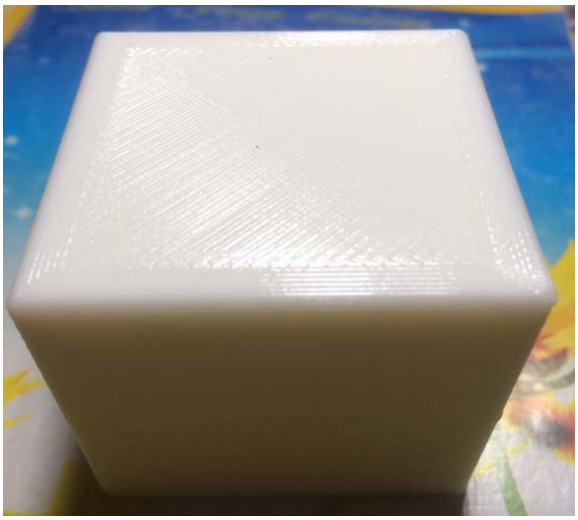
4.3.1 Hình ảnh thực nghiệm



***Hình 4.21**: Đường di chuyển đầu in ở mặt đáy và mặt trên khi sử dụng nhựa PLA*

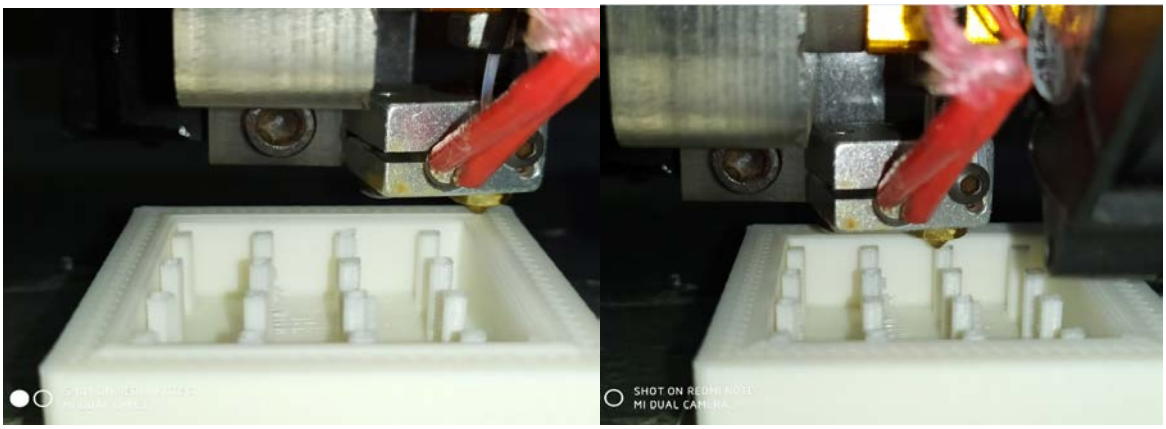


***Hình 4.22**: In ở vị trí thành và vị trí support mẫu khi sử dụng nhựa PLA*



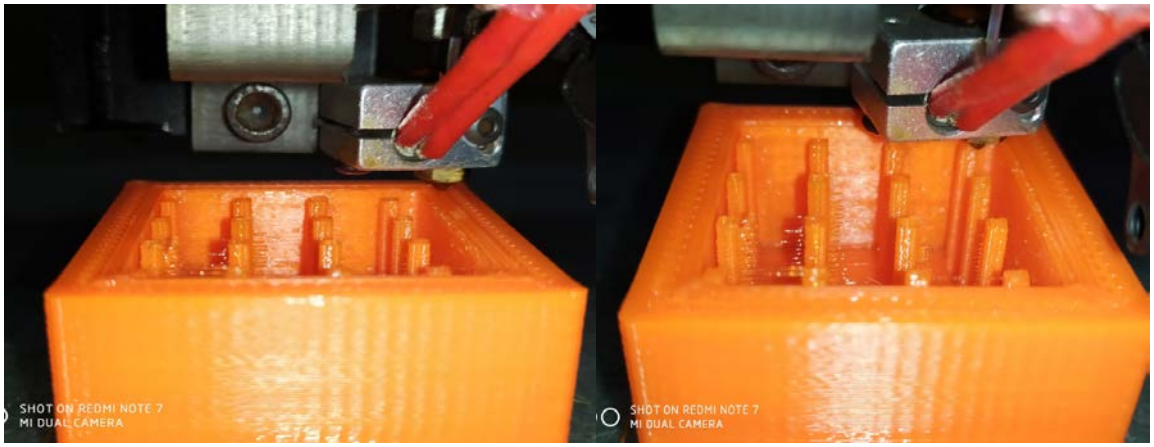
***Hình 4.23**: Chi tiết hoàn thiện khi sử dụng nhựa PLA để in*

***Hình 4.24**: Hình cuộn nhựa in ABS*



***Hình 4.25**: In ở thành và vị trí support mẫu in khi sử dụng nhựa ABS*

***Hình 4.26**: Cuộn nhựa PETG dùng để in*



***Hình 4.27**: In ở thành và vị trí support mẫu in khi sử dụng nhựa PETG*

4.3.2. Kết quả thực nghiệm và nhận xét

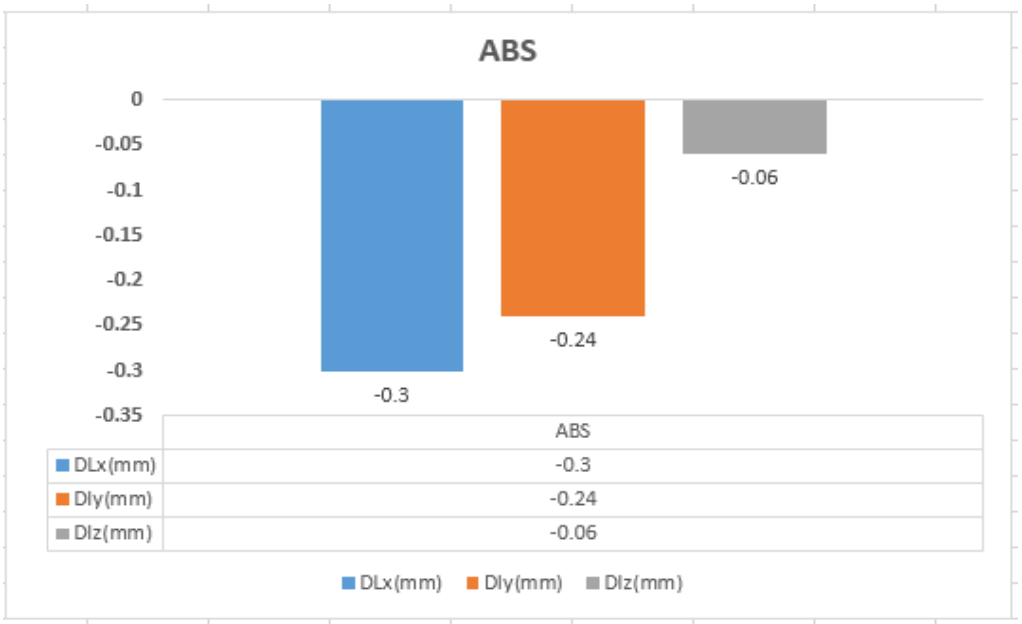
Sau khi tiến hành thí nghiệm in với vật liệu PLA, ABS, PETG ta thu được kết quả thực nghiệm như sau:

-Độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi sử dụng vật liệu PLA, ABS và PETG:

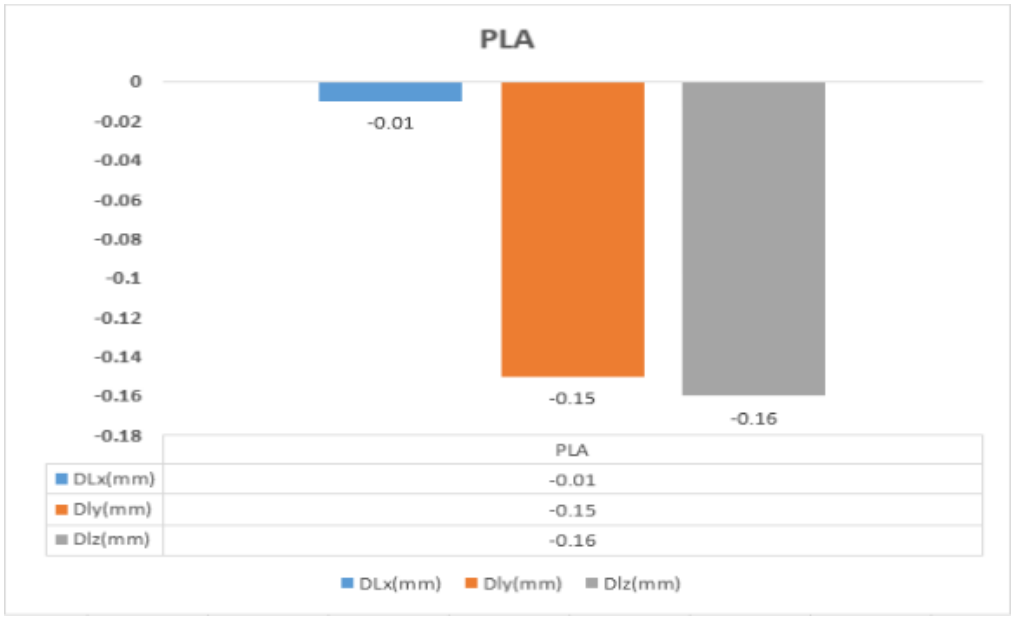
	ΔLx(mm)	Δly(mm)	Δlz(mm)
ABS	-0.3	-0.24	-0.06
PLA	-0.01	-0.15	-0.16
PETG	-0.08	-0.15	-0.3

***Hình 4.28**: Độ sai lệch kích thước theo phương x y z*

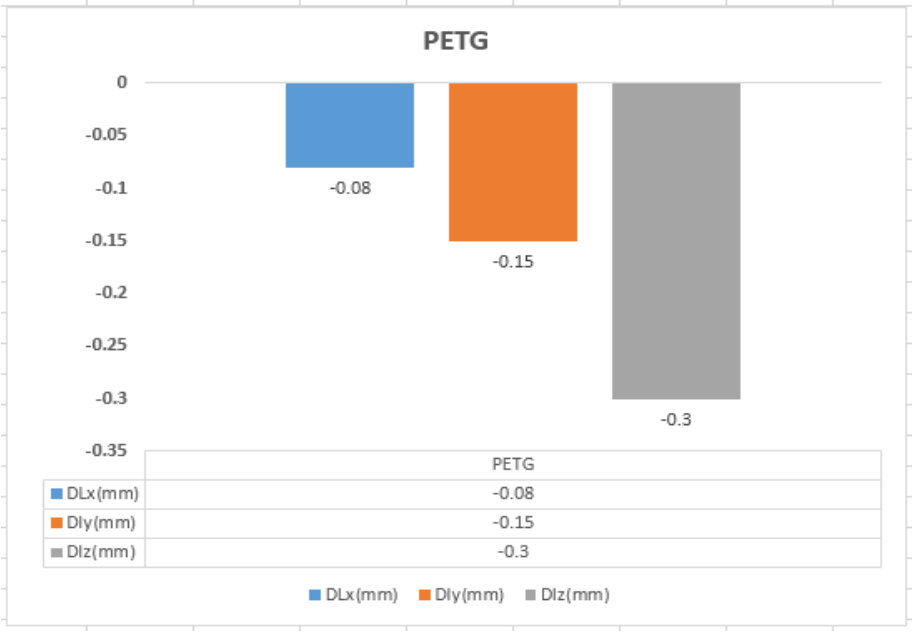
-Biểu đồ thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z:



***Hình 4.29**: Biểu đồ thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi sử dụng vật liệu ABS*

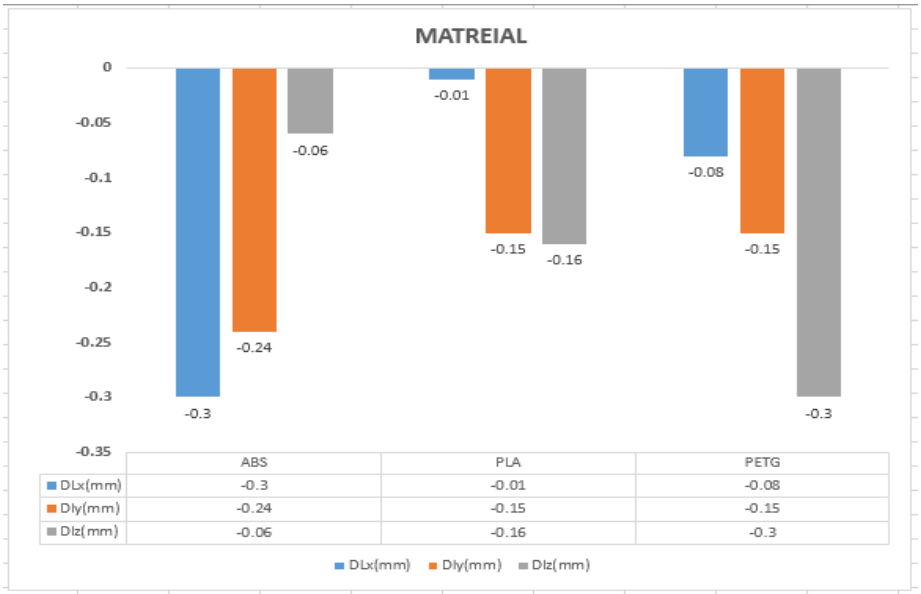


***Hình 4.30**: Biểu đồ thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi sử dụng vật liệu PLA*



***Hình 4.31**: Biểu đồ thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi sử dụng vật liệu PETG*

-Biểu đồ tổng thể thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z của 3 loại vật liệu PLA, ABS, và vật liệu PETG:



***Hình 4.32**: Biểu đồ tổng thể thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z của 3 loại vật liệu PLA, ABS, PETG*

Nhận xét: Nhựa in cũng là 1 thành phần quyết định chất lượng của sản phẩm in ra, khi in ra sản phẩm có những lỗ nhỏ trên bề mặt, hoặc đầu in bị tắc không rõ nguyên nhân, đầu in gây ra tiếng nổ tí tách có thể gây ra thiếu nhựa với sản phẩm in và ảnh hưởng đến độ chính xác của mẫu in.

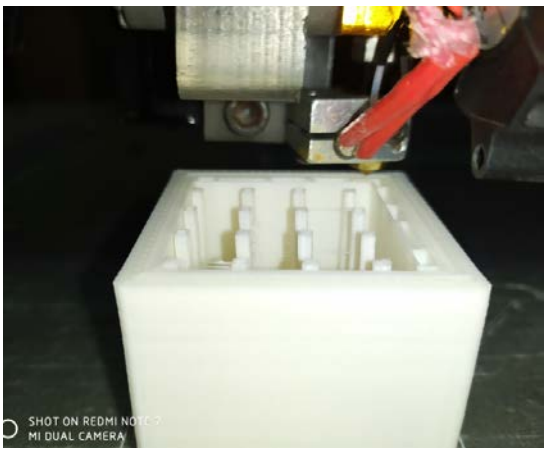
Từ biểu đồ thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z ta nhận thấy rằng: khi tiến hành thí nghiệm in với 3 loại vật liệu PLA, ABS, PETG khác nhau thì độ sai lệch kích thước theo phương X, Y đối với vật liệu PLA là thấp nhất. Và độ sai lệch kích thước theo phương Z đối với vật liệu ABS là thấp nhất. Vật liệu nhựa ABS và nhựa PETG có độ sai lệch kích thước lớn hơn.

Nhựa ABS phải cần nhiệt độ in cao, do in với nhiệt độ cao như vậy nên trong quá trình in sản phẩm có thể bị cong vênh, gãy do đó nên thiết kế thêm các hệ thống support để hạn chế hiện tượng này. Mặt khác các lớp đầu tiên của mẫu in thường không kết dính với bàn in do bị nguội quá nhanh. Nhựa ABS cũng có xu hướng co lại khi nó nguội. Vì thế khi in dẫn đến sai lệch kích thước lớn.

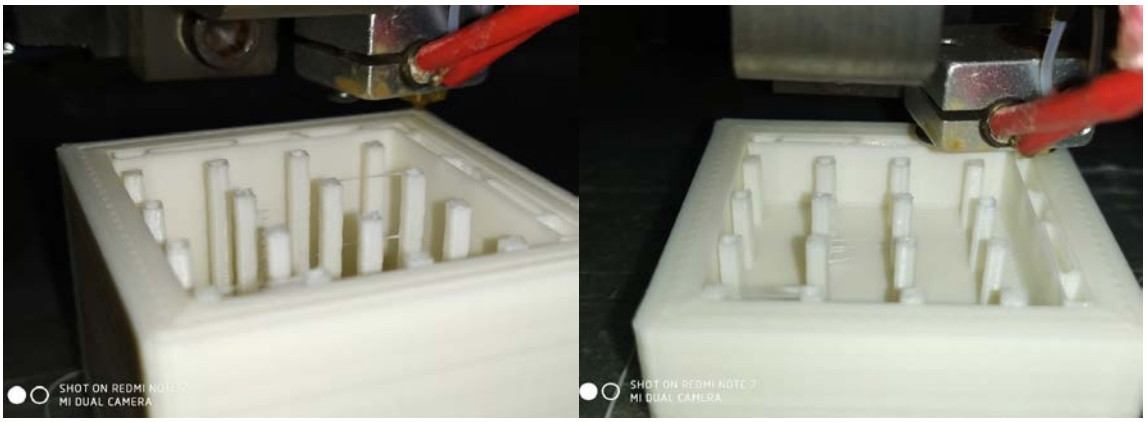
Nhựa PLA là nhựa nhiệt dẻo thường có nguồn gốc tự nhiên, do đó không gây độc hại khi sử dụng, phù hợp và thân thiện với môi trường, ít mùi, tốc độ in cao độ phân giải tốt, tỉ mỉ, ít cong hoặc vênh phù hợp với những sản phẩm đòi hỏi sự tỉ mỉ cao. Vì thế khi sử dụng vật liệu nhựa PLA để in có thể đạt chất lượng và độ chính xác kích thước là tốt nhất.

4.4 Thử nghiệm độ chính xác với các dạng chiều dày của mẫu in

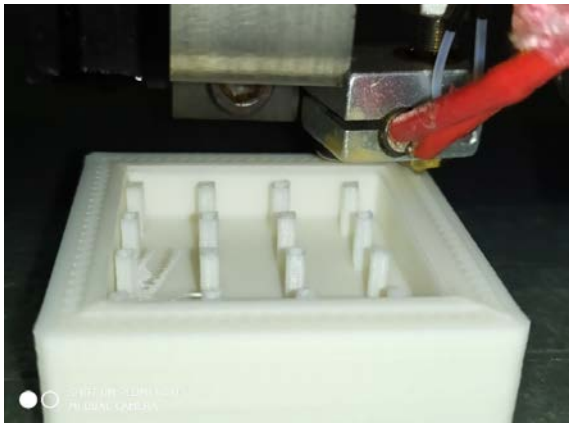
4.4.1 Hình ảnh thực nghiệm



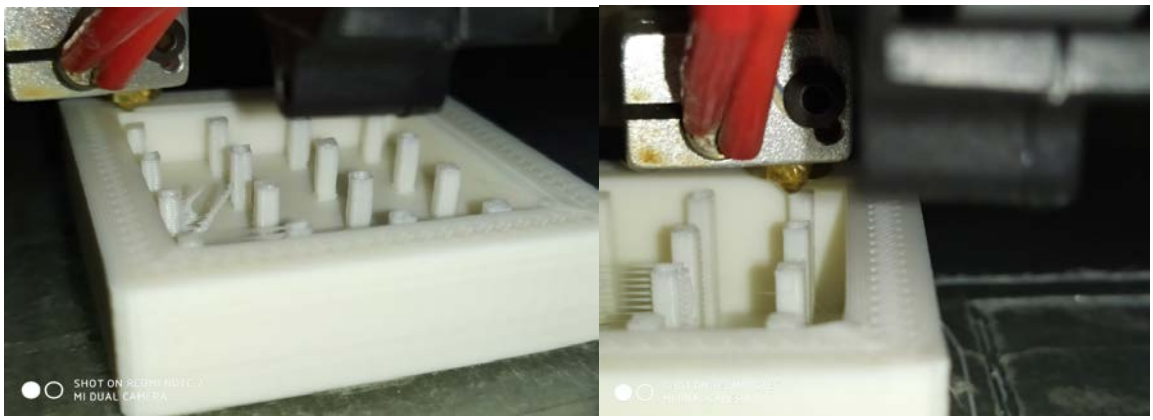
***Hình 4.33**: Độ dày thành mẫu in: 4mm*



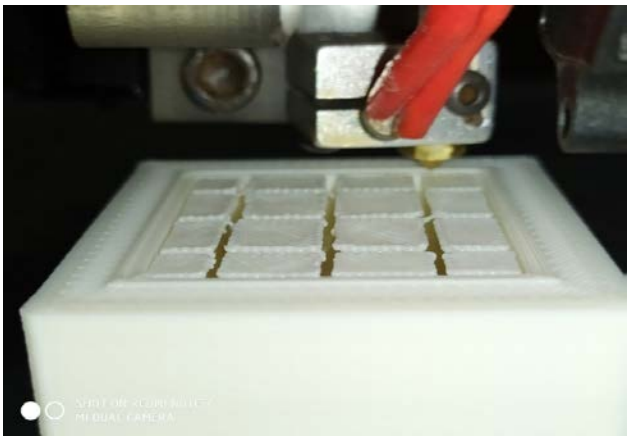
***Hình 4.34**: Độ dày thành mẫu in: 5mm*



***Hình 4.35**: Độ dày thành mẫu in: 6mm*

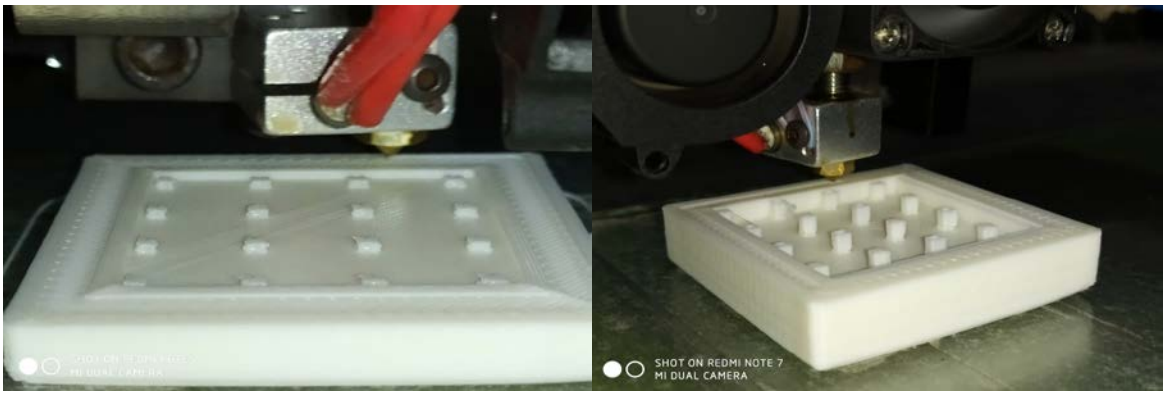


***Hình 4.36**: Độ dày thành mẫu in: 7mm*

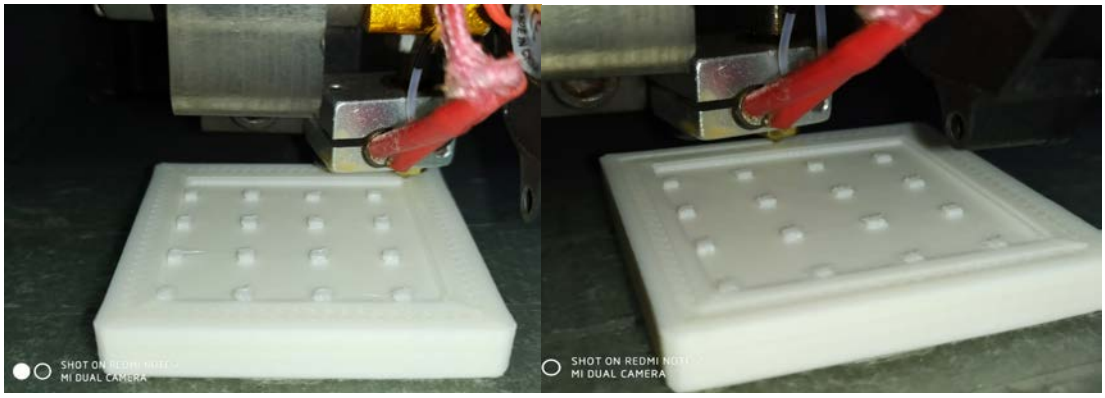


***Hình 4.37**: Độ dày thành mẫu in: 8mm*

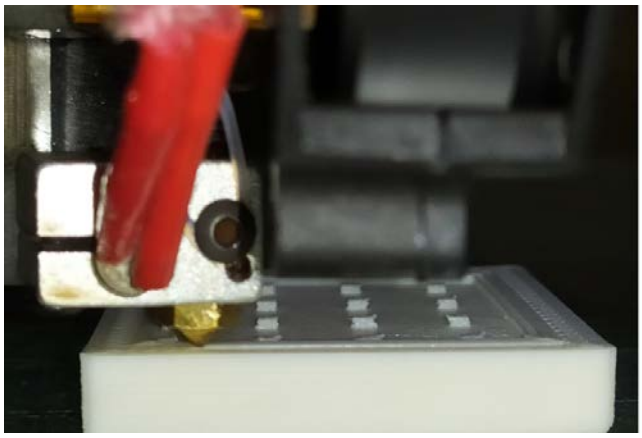
4.4.2 Hình ảnh thực nghiệm độ dày độ dày ở lớp trên và lớp dưới mẫu in



***Hình 4.38**: Độ dày lớp dưới mẫu in: 6mm*



***Hình 4.39**: Độ dày lớp dưới mẫu in: 7mm*



***Hình 4.40**: Độ dày lớp dưới mẫu in: 8mm*

4.4.2. Kết quả thực nghiệm và nhận xét

4.4.2.1 Thay đổi chiều dày thành mẫu in

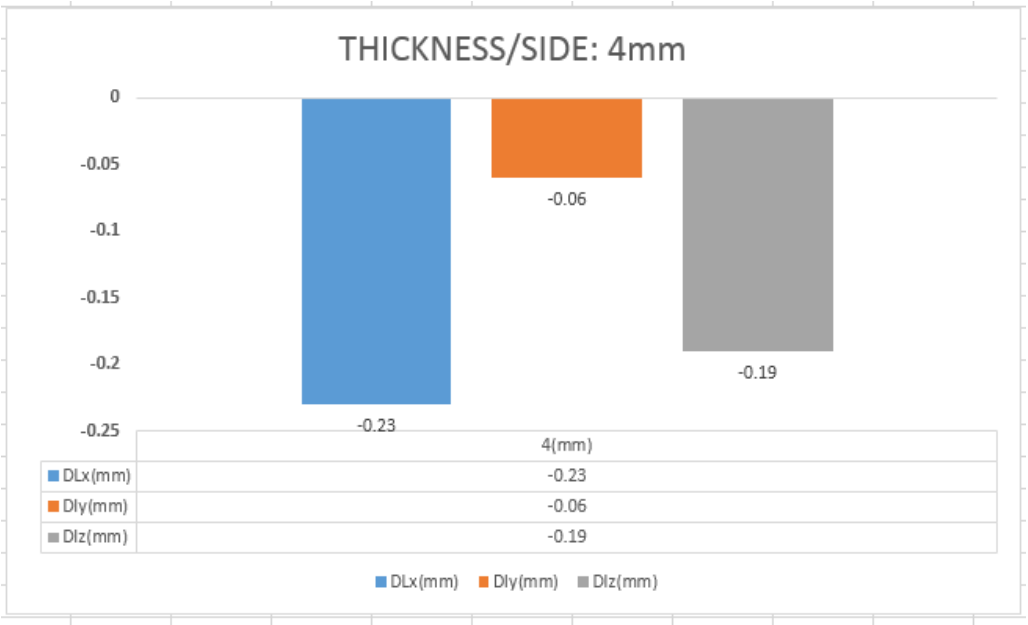
Sau khi tiến hành thí nghiệm in với những kiểu thay đổi chiều dày thành chi tiết in. Ta thu được kết quả thực nghiệm như sau:

-Độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thay đổi chiều dày thành chi tiết: 4(mm), 5(mm), 6(mm), 7(mm), 8(mm)

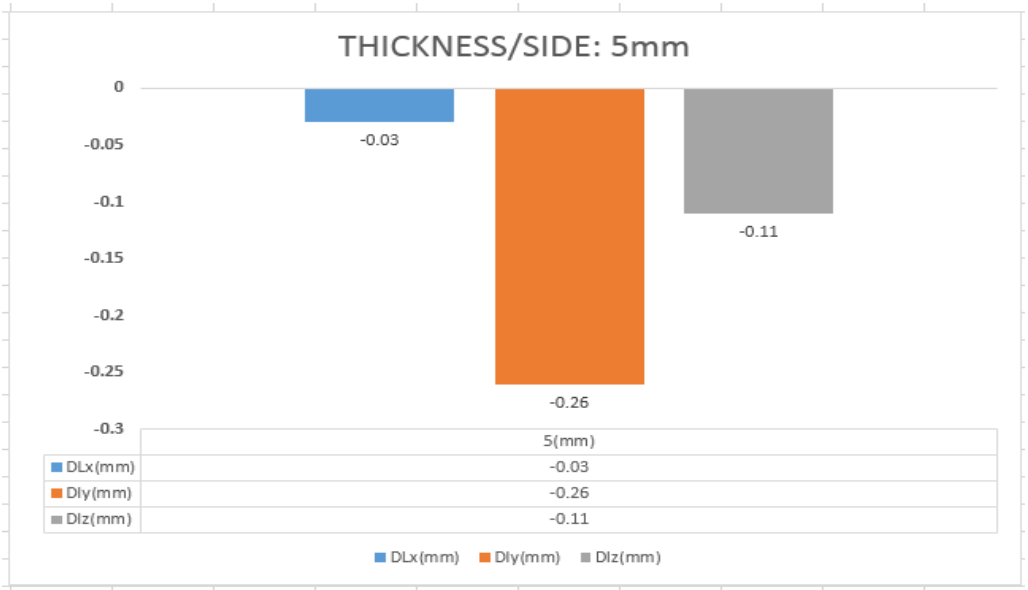
	ΔLx(mm)	Δly(mm)	Δlz(mm)
4(mm)	-0.23	-0.06	-0.19
5(mm)	-0.03	-0.26	-0.11
6(mm)	-0.01	-0.15	-0.16
7(mm)	-0.12	-0.02	-0.15
8(mm)	-0.09	-0.02	-0.02

***Hình 4.41**: Độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thay đổi chiều dày thành mẫu in*

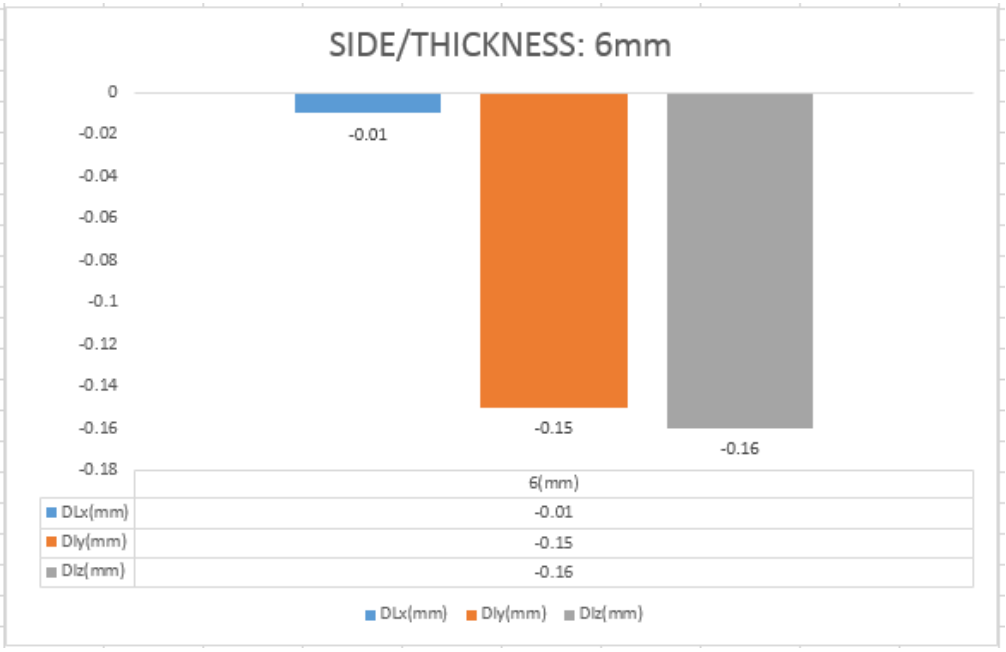
-Biểu đồ thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thay đổi chiều dày thành chi tiết:



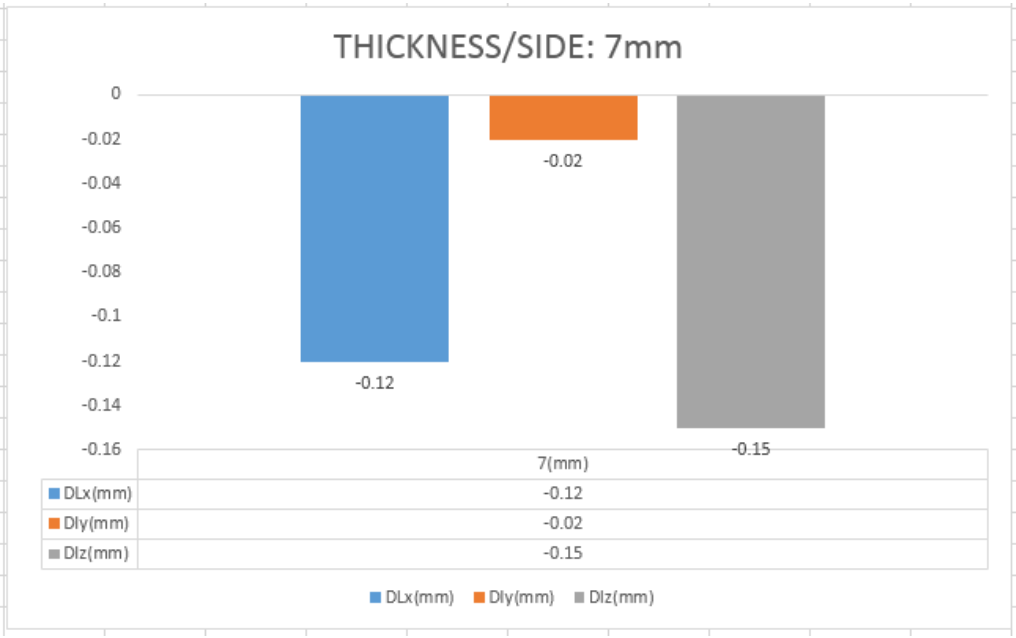
***Hình 4.42**: Biểu đồ thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thành mẫu in :4mm*



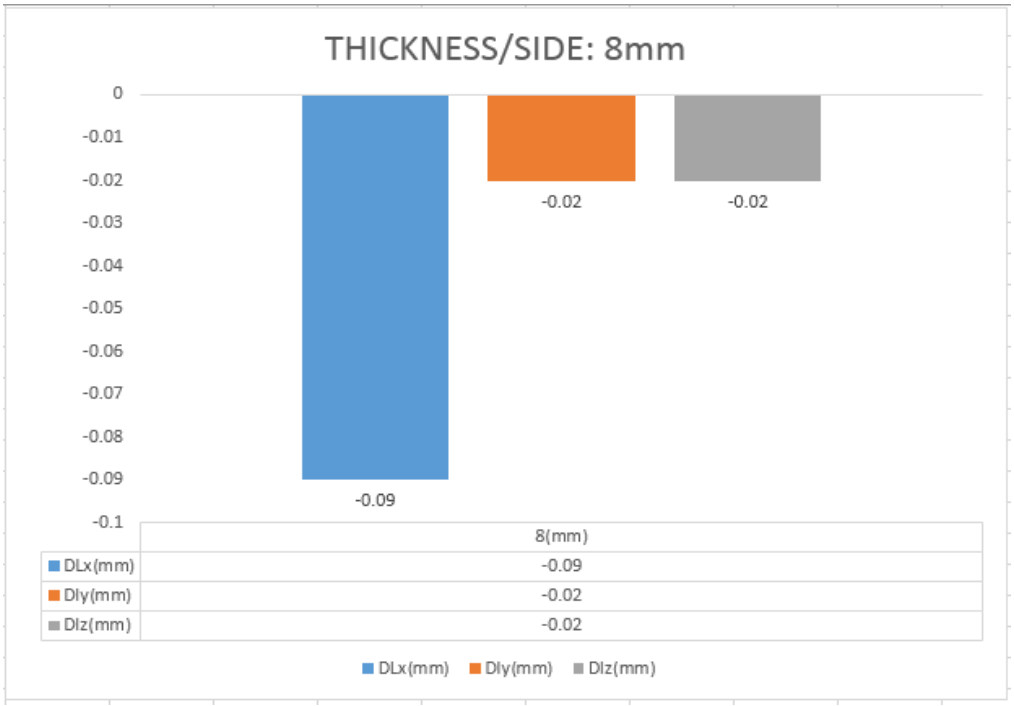
***Hình 4.43**: Biểu đồ thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thành mẫu in:5mm*



***Hình 4.44**: Biểu đồ thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thành mẫu in: 6mm*

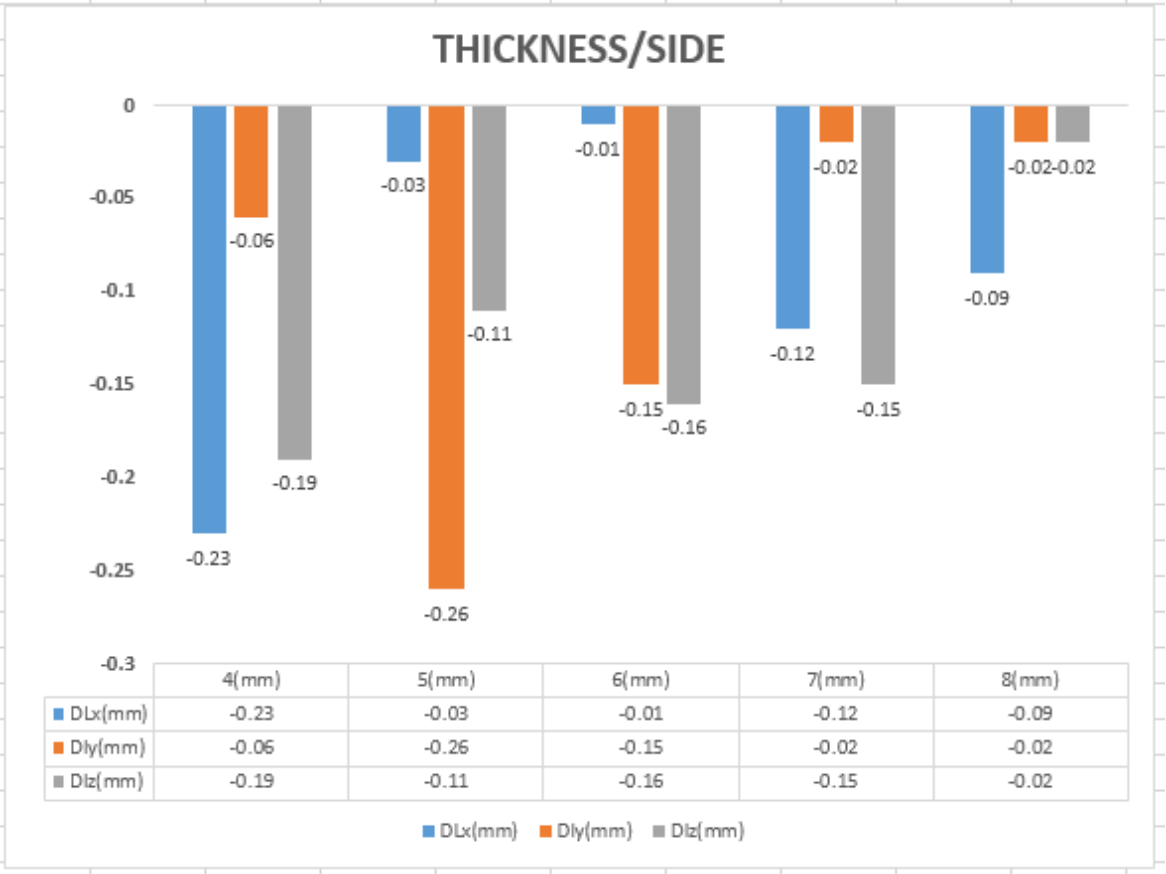


***Hình 4.45**: Biểu đồ thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thành mẫu in:7mm*



***Hình 4.46**: Biểu đồ thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thành mẫu in:8mm*

-Biểu đồ tổng thể thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thay đổi chiều dày thành mẫu in:



***Hình 4.47**: Biểu đồ tổng thể thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z*

Nhận xét: Từ biểu đồ thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z ta nhận thấy rằng: độ sai lệch kích thước đối với thành có chiều dày: 4(mm), 5(mm) là cao hơn độ sai lệch những chiều dày còn lại. Chiều dày thành chi tiết càng lớn (7-8mm) thì độ sai lệch kích thước của chi tiết in càng thấp, chi tiết in càng chính xác. Cài đặt càng cao cho độ dày thành thì các bức tường bên ngoài của sản phẩm in sẽ càng dày. Rõ ràng, độ dày thành càng lớn tạo ra một vật thể chắc chắn hơn, vì vậy nếu chi tiết cần đến chất lượng độ chính xác cao thì phải tăng độ dày thành một cách thích hợp. Ngược lại, nếu chi tiết dùng để trang trí thường không đòi hỏi đến độ dày thành nhiều. Việc tăng độ dày thành trong các trường hợp này không mang lại lợi ích thực sự cao.

4.4.2.2 Thay đổi chiều dày ở lớp dưới mẫu in

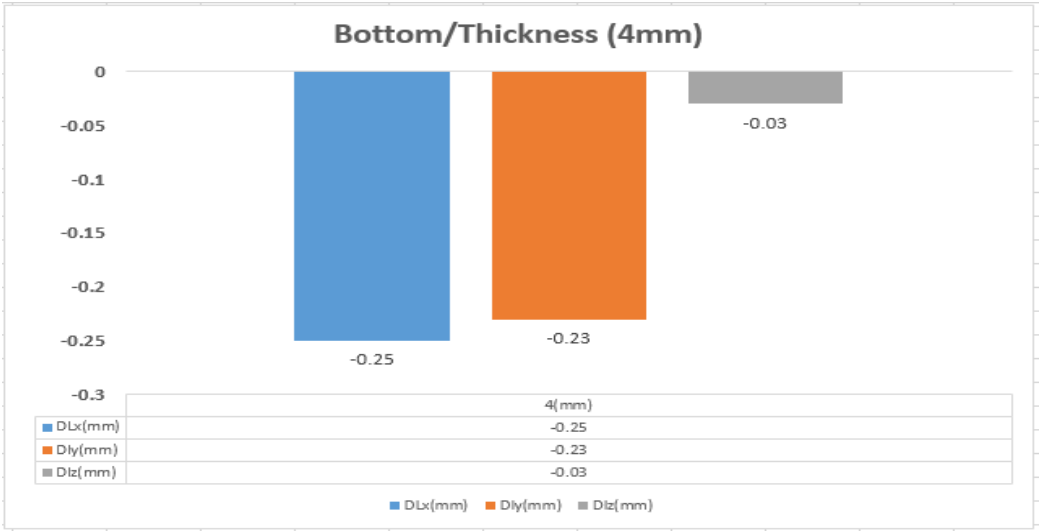
Sau khi tiến hành thử nghiệm in với những kiểu thay đổi chiều dày ở lớp dưới mẫu in. Ta thu được kết quả thực nghiệm như sau:

-Độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thay đổi chiều dày lớp dưới mẫu in: 4(mm), 5(mm), 6(mm), 7(mm), 8(mm)

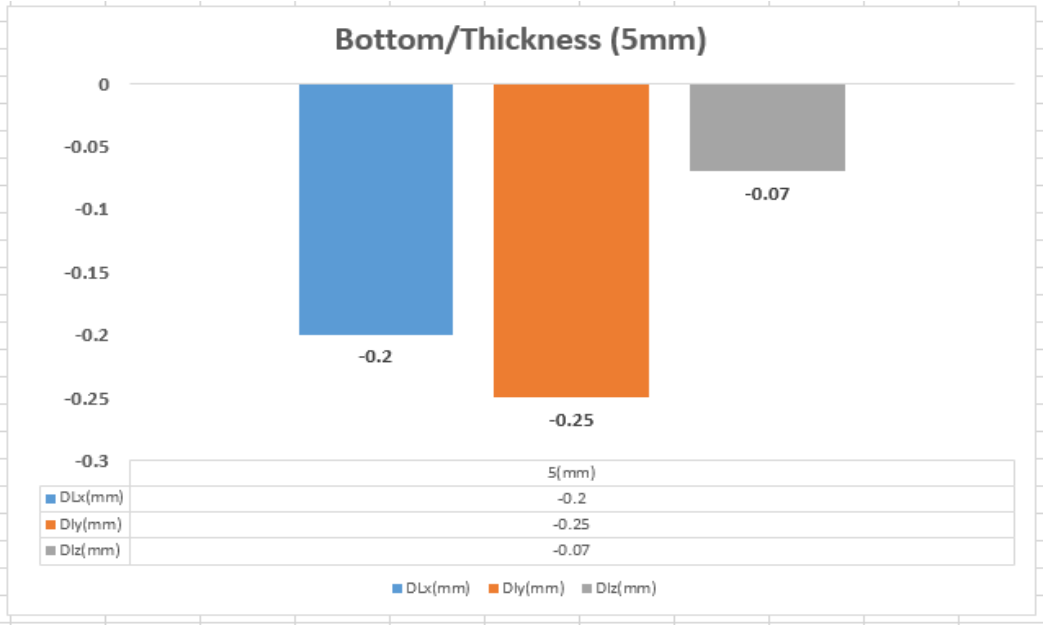
	ΔLx(mm)	Δly(mm)	Δlz(mm)
4(mm)	-0.25	-0.23	-0.03
5(mm)	-0.2	-0.25	-0.07
6(mm)	-0.01	-0.15	-0.16
7(mm)	-0.18	-0.17	-0.01
8(mm)	-0.1	-0.12	-0.01

***Hình 4.48**: Độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thay đổi chiều dày lớp dưới mẫu in*

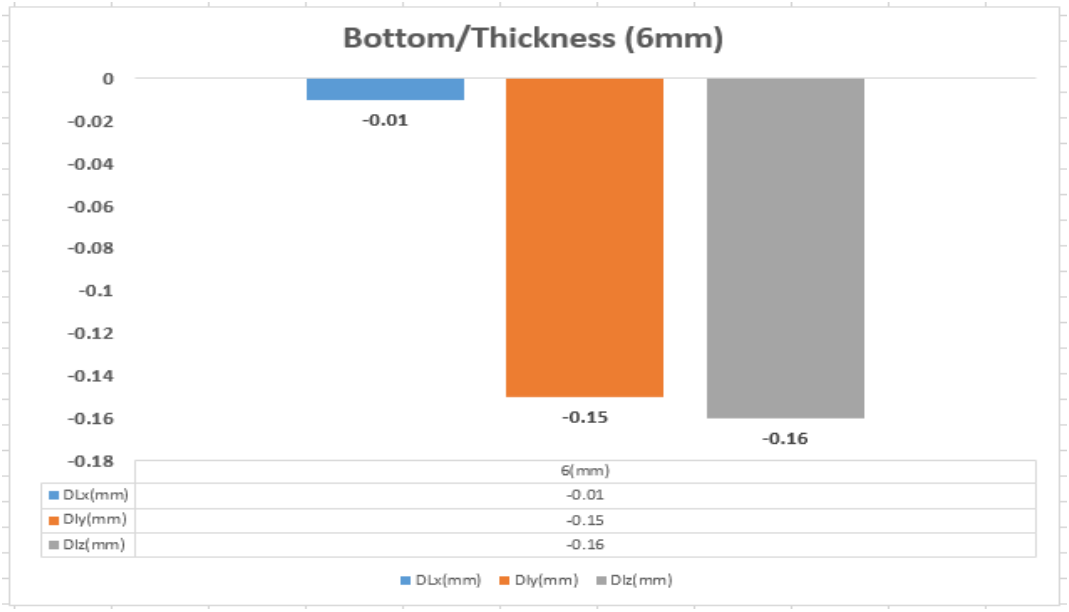
-Biểu đồ thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thay đổi chiều dày lớp dưới mẫu in:



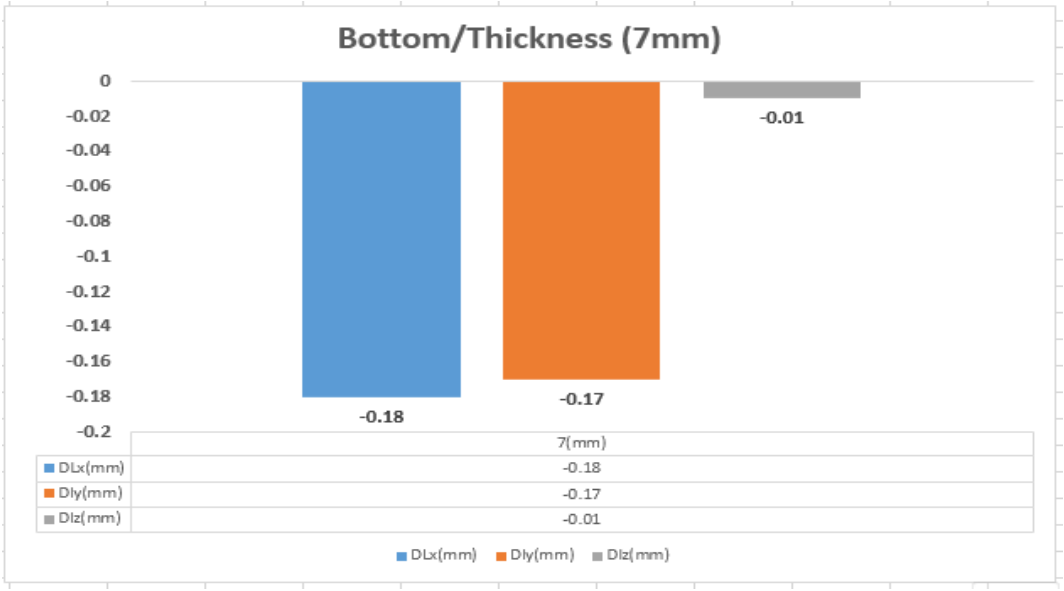
***Hình 4.49**: Biểu đồ thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi chiều dày lớp dưới 4(mm)*



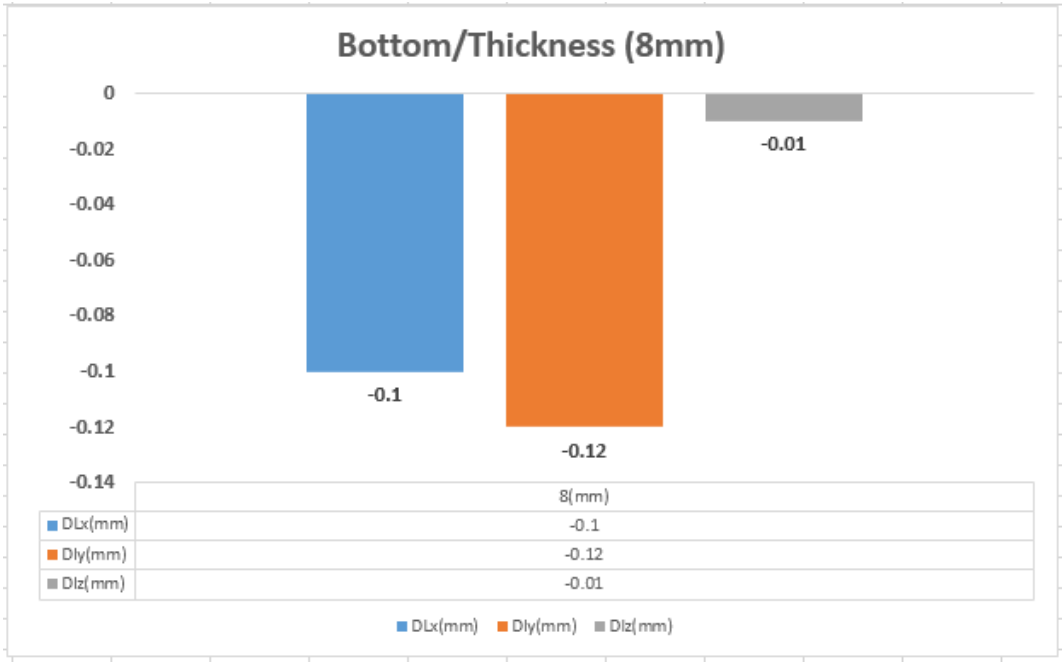
***Hình 4.50**: Biểu đồ thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi chiều dày lớp dưới 5(mm)*



***Hình 4.51**: Biểu đồ thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi chiều dày lớp dưới 6(mm)*

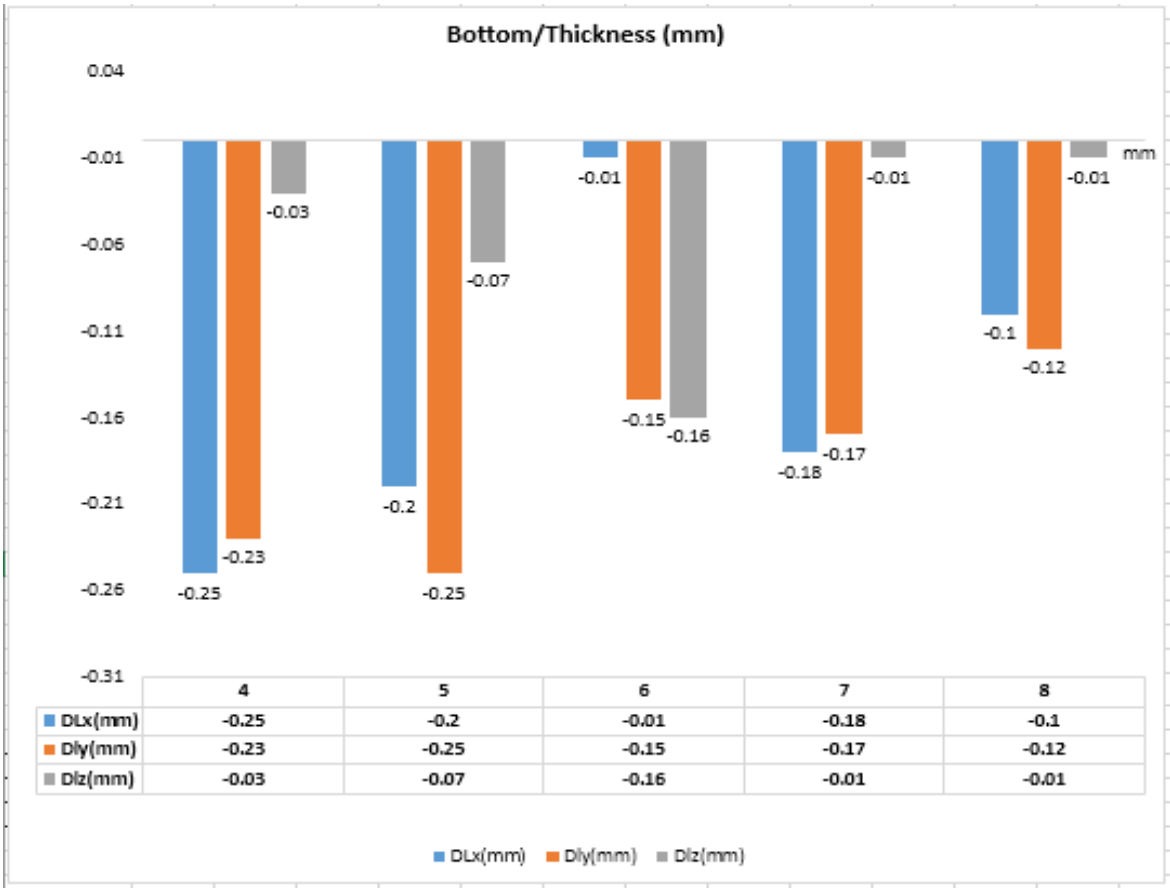


***Hình 4.52**: Biểu đồ thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi chiều dày lớp dưới 7(mm)*



***Hình 4.53**: Biểu đồ thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi chiều dày lớp dưới 8(mm)*

-Biểu đồ tổng thể thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thay đổi chiều dày lớp dưới mẫu in:



***Hình 4.54**: Biểu đồ tổng thể thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thay đổi chiều dày lớp dưới mẫu in*

Nhận xét: Từ biểu đồ thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z ta nhận thấy rằng: khi tiến hành thử nghiệm với những kiểu thay đổi chiều dày lớp dưới mẫu in khác nhau thì độ sai lệch kích thước theo phương X đối với lớp dưới có chiều dày: 6(mm),8(mm) là thấp. Độ sai lệch kích thước theo phương Y, và phương Z đối với lớp dưới có chiều dày: 8(mm) là thấp nhất. Qua đó ta thấy rằng chiều dày lớp dưới (bottom/thickness) chi tiết càng lớn: 8(mm) thì mẫu in càng cứng vững, chắc chắn, độ sai lệch kích thước của mẫu in thấp, mẫu in càng chính xác.

4.4.2.3 Thay đổi chiều dày ở lớp trên mẫu in

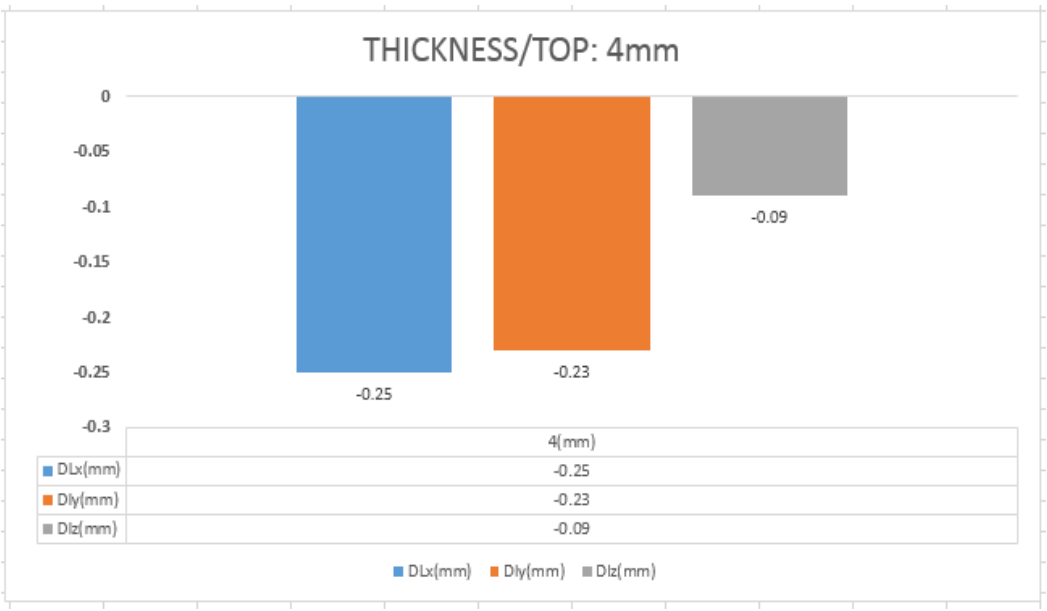
Sau khi tiến hành thử nghiệm in với những kiểu thay đổi chiều dày ở lớp trên mẫu in. Ta thu được kết quả thực nghiệm như sau:

-**Độ sai lệch kích thước** theo phương x y z khi thay đổi chiều dày lớp trên mẫu in: 4(mm), 5(mm), 6(mm), 7(mm), 8(mm):

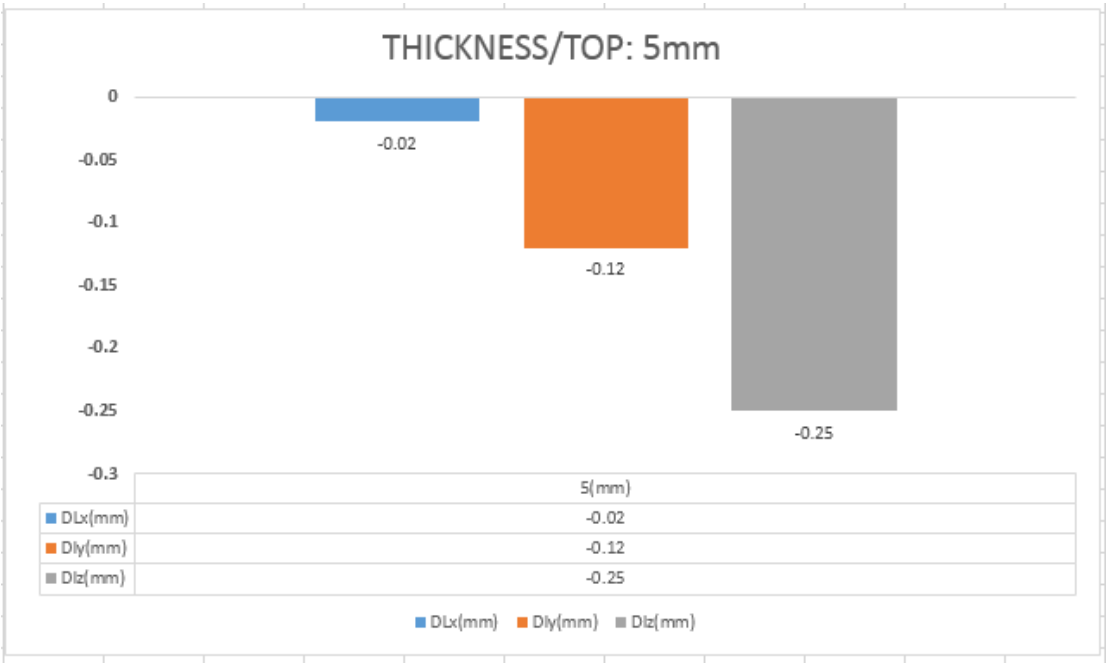
	ΔLx(mm)	Δly(mm)	Δlz(mm)
4(mm)	-0.25	-0.23	-0.09
5(mm)	-0.02	-0.12	-0.25
6(mm)	-0.01	-0.15	-0.16
7(mm)	-0.06	-0.18	-0.06
8(mm)	-0.04	-0.15	-0.02

***Hình 4.55**: Độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thay đổi chiều dày lớp trên mẫu in*

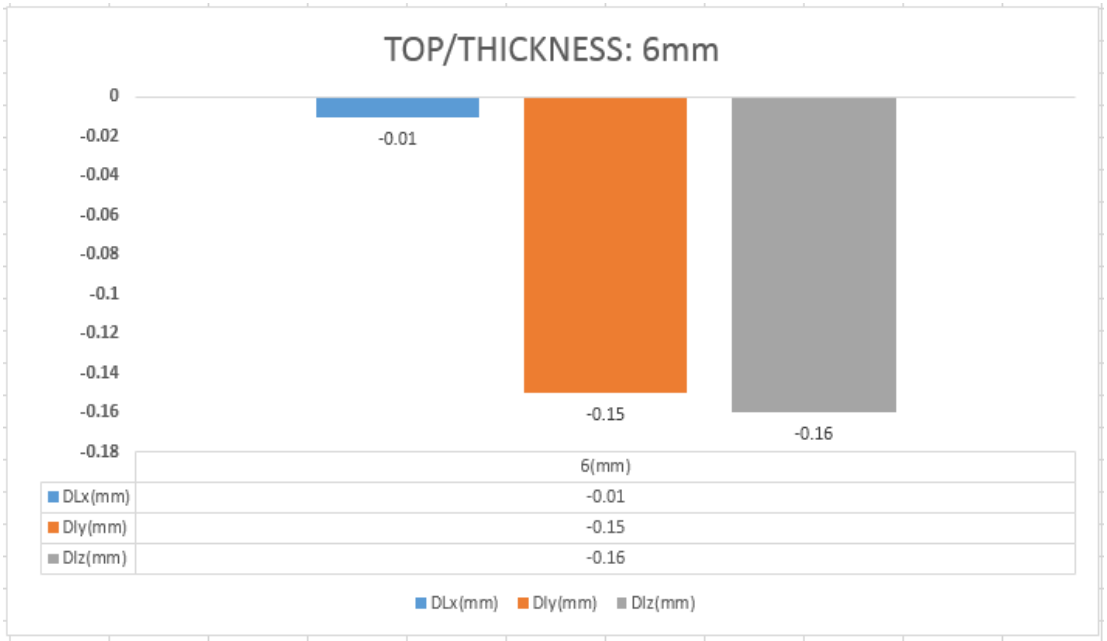
-Biểu đồ thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thay đổi chiều dày lớp trên mẫu in:



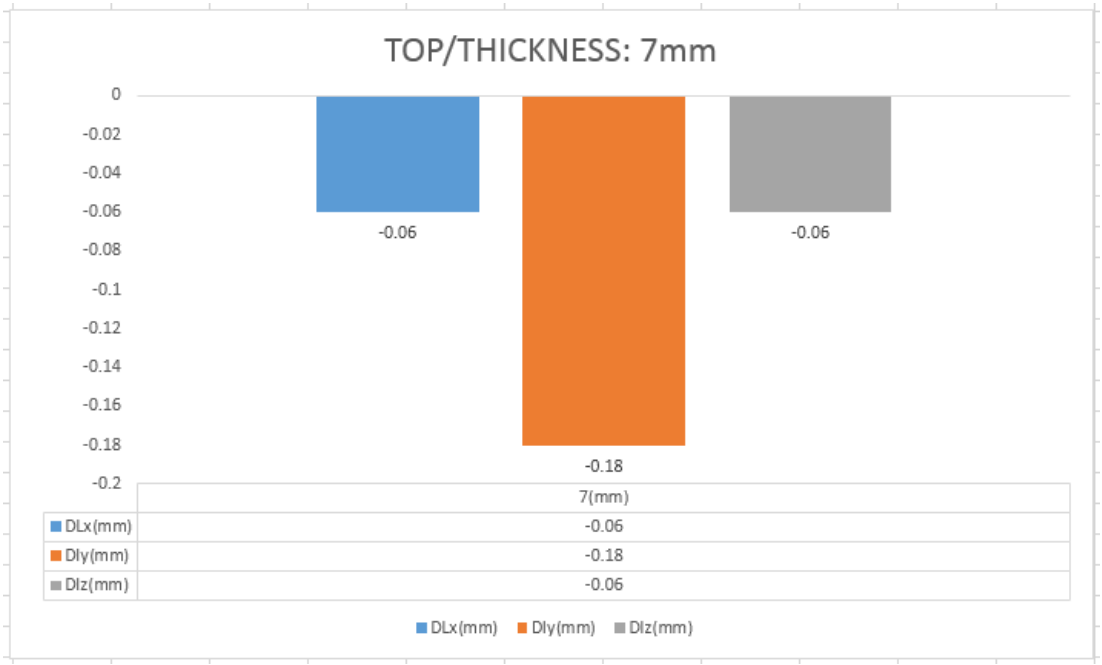
***Hình 4.56**: Biểu đồ thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi chiều dày lớp trên 4(mm)*



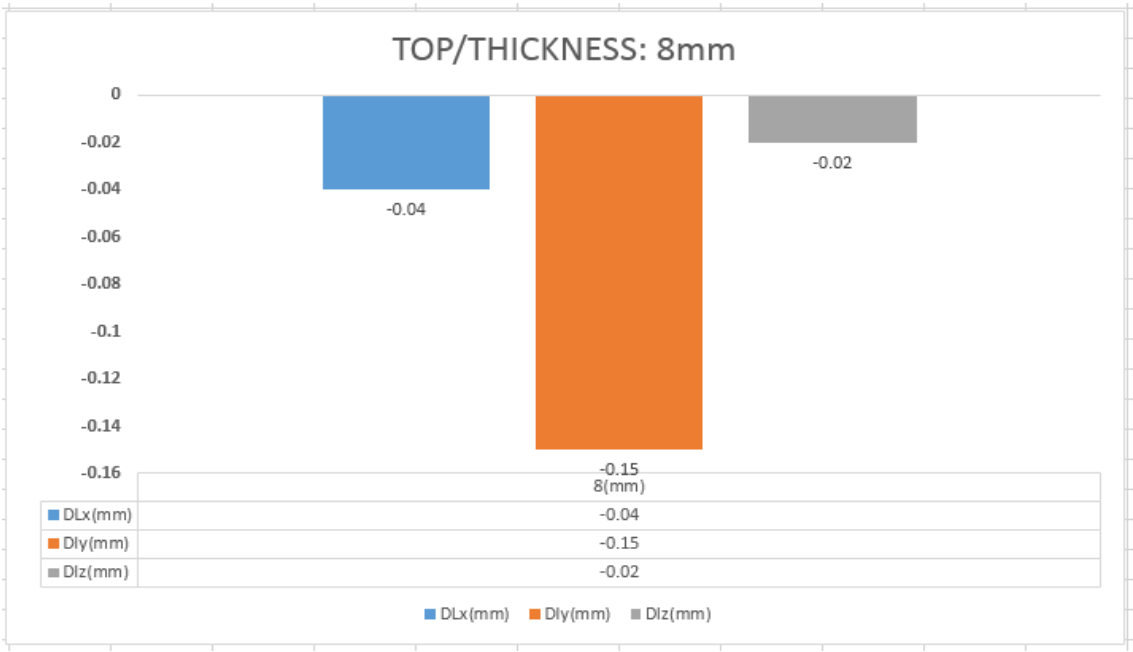
***Hình 4.57**: Biểu đồ thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi chiều dày lớp trên 5(mm)*



***Hình 4.58**: Biểu đồ thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi chiều dày lớp trên 6(mm)*

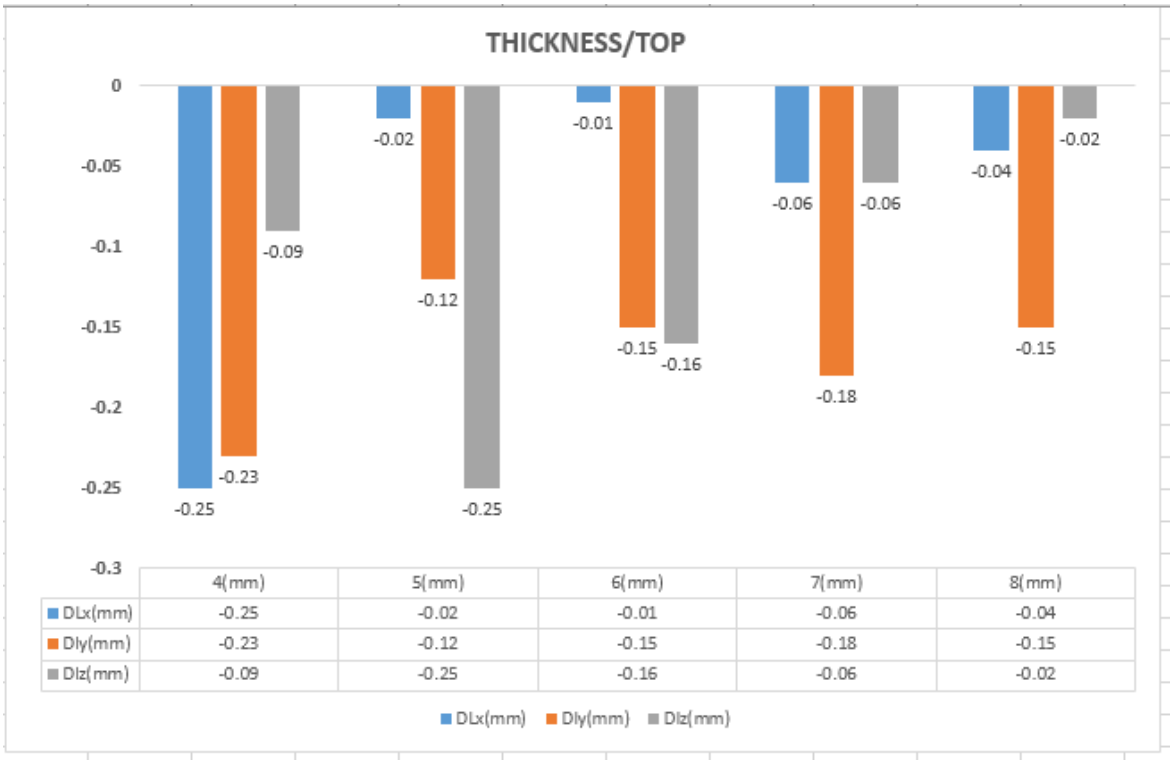


***Hình 4.59**: Biểu đồ thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi chiều dày lớp trên 7(mm)*



***Hình 4.60**: Biểu đồ thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi chiều dày lớp trên 8(mm)*

-Biểu đồ tổng thể thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thay đổi chiều dày lớp trên mẫu in:



***Hình 4.61**: Biểu đồ tổng thể thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thay đổi chiều dày lớp trên mẫu in*

Nhận xét: Từ biểu đồ thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z ta nhận thấy rằng: khi tiến hành thử nghiệm với những kiểu thay đổi chiều dày lớp trên mẫu in khác nhau thì độ sai lệch kích thước theo phương X đối với lớp trên có chiều dày: 6(mm),8(mm) là thấp. Độ sai lệch kích thước theo phương Y có chiều dày: 5(mm) 8(mm) là thấp. Và độ sai lệch kích thước theo phương Z đối với lớp dưới có chiều dày: 8(mm) là thấp nhất. Qua đó ta thấy chiều dày lớp trên (top/thickness) chi tiết càng nhỏ thì chi tiết in không chắc chắn, xuất hiện hiện tượng co rút nhựa làm cho chi tiết in có thể bị biến dạng, cong vênh. Ngược lại chiều dày lớn: 7(mm) 8(mm) thì chi tiết in càng chắc chắn, độ sai lệch kích thước của chi tiết in thấp, chi tiết in càng chính xác.

4.5 Thử nghiệm độ chính xác với các mật độ điền đầy sản phẩm

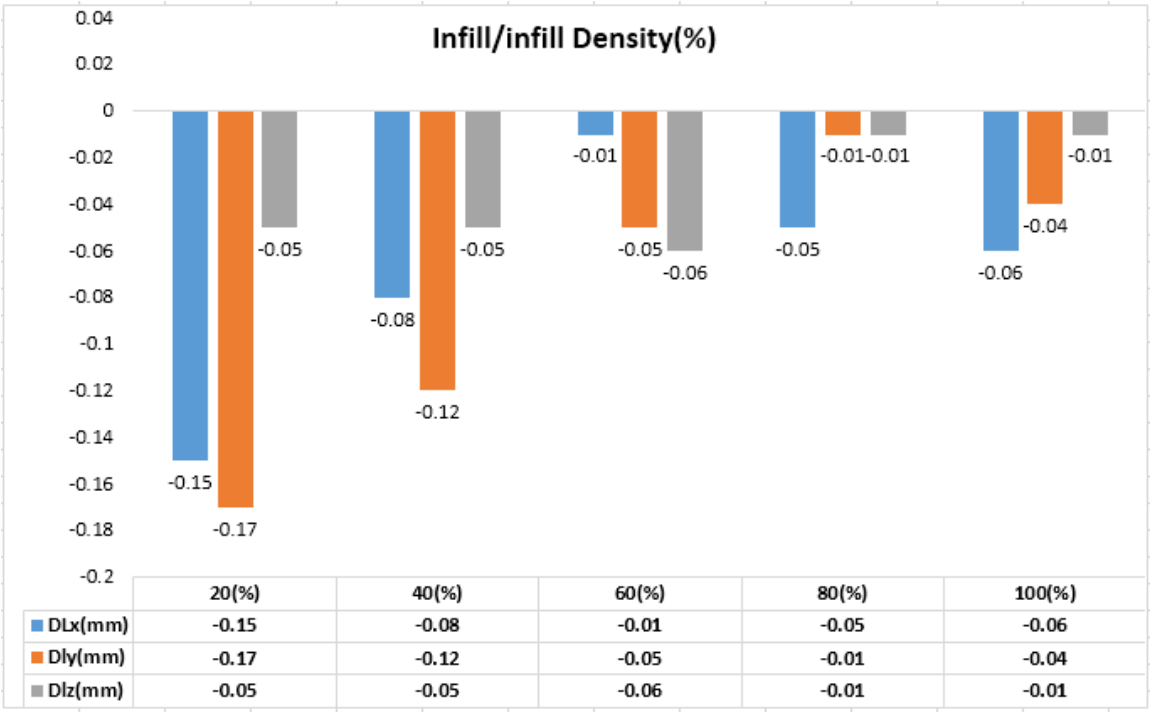
Sau khi tiến hành thí nghiệm in với những kiểu mật độ điền đầy mẫu in: 20(%), 40(%), 60(%), 80(%), 100(%). Ta thu được kết quả thực nghiệm như sau:

-Độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thay đổi mật độ điền đầy mẫu in: 20(%), 40(%), 60(%), 80(%), 100(%).

	20(%)	40(%)	60(%)	80(%)	100(%)
ΔLx(mm)	-0.15	-0.08	-0.01	-0.05	-0.06
Δly(mm)	-0.17	-0.12	-0.05	-0.01	-0.04
Δlz(mm)	-0.05	-0.05	-0.06	-0.01	-0.01

***Hình 4.62**: Độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thay đổi mật độ điền đầy mẫu in*

- Biểu đồ tổng thể thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thay đổi mật độ điền đầy mẫu in:



***Hình 4.63**: Biểu đồ tổng thể thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thay đổi mật độ điền đầy mẫu in*

Nhận xét: Từ biểu đồ thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z ta nhận thấy rằng: mật độ điền đầy mẫu in: 20(%), 40(%), 60(%), 80(%), 100(%) khác nhau thì độ sai lệch kích thước đối với kiểu mật độ điền đầy sản phẩm 60(%),80(%), 100(%) là thấp. Qua đó ta thấy được mật độ điền đầy sản phẩm càng lớn thì độ chính xác kích thước sản phẩm in càng cao, sản phẩm càng bền vững, thời gian in

càng lâu. Vì vậy tùy vào chất lượng của sản phẩm in và điều kiện làm việc của chi tiết in mà ta có thể chọn mật độ điền đầy sản phẩm cho hợp lý. Ta nên chọn mật độ điền đầy sản phẩm 60(%),80(%) để tiết kiệm thời gian in và chi phí in mà vẫn đạt được độ chính xác kích thước sản phẩm cao.

4.6 Thử nghiệm độ chính xác với các dạng thay đổi số lớp in bên thành

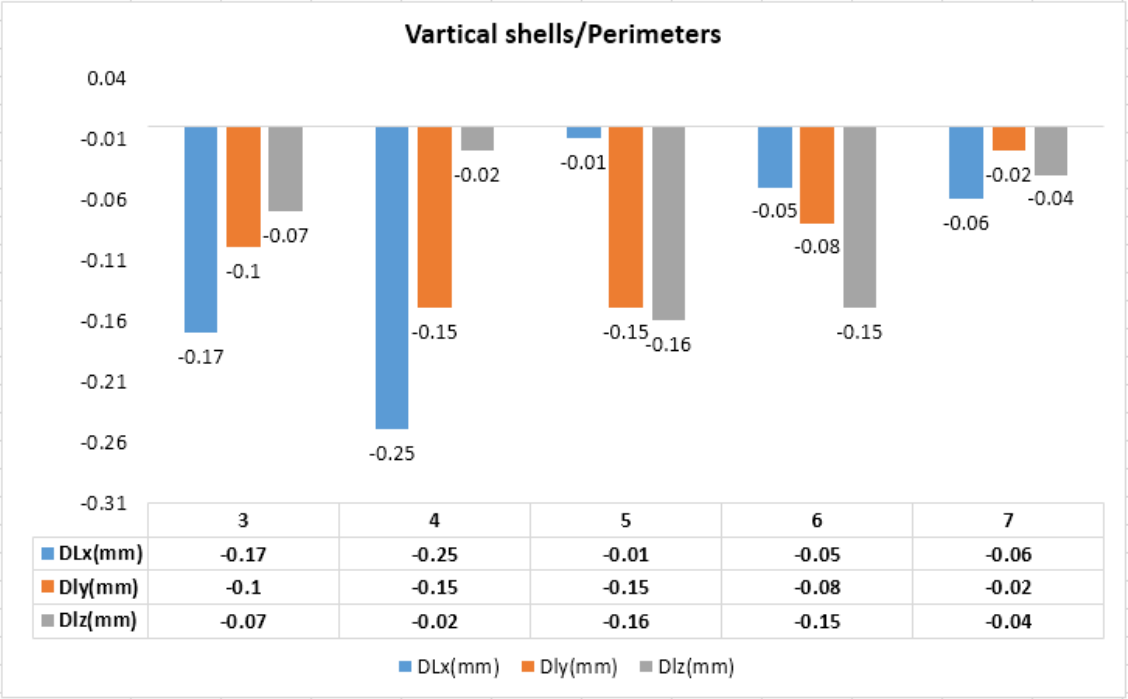
Sau khi tiến hành thử nghiệm in với những kiểu thay đổi số lớp in bên thành mẫu in. Ta thu được kết quả thực nghiệm như sau:

-Độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thay đổi số lớp in bên thành mẫu in:

	3	4	5	6	7
ΔLx(mm)	-0.17	-0.25	-0.01	-0.05	-0.06
Δly(mm)	-0.1	-0.15	-0.15	-0.08	-0.02
Δlz(mm)	-0.07	-0.02	-0.16	-0.15	-0.04

***Hình 4.64**: Độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thay đổi số lớp in bên thành mẫu in*

- Biểu đồ tổng thể thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thay đổi số lớp in bên thành mẫu in:



***Hình 4.65**: Biểu đồ tổng thể thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thay đổi số lớp in bên thành mẫu in*

Nhận xét: Từ biểu đồ thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z ta nhận thấy rằng: khi tiến hành thử nghiệm với những kiểu thay đổi số lớp in bên thành mẫu in khác nhau thì độ sai lệch kích thước theo phương X đối với lớp in bên thành mẫu in: 5 và 6 lớp là thấp nhất. Độ sai lệch kích thước theo phương Y, Z đối với lớp in bên thành mẫu in: 7 lớp là thấp nhất. Vì vậy ta nên chọn số lớp in bên thành mẫu in càng lớn (6 đến 7 lớp) thì chi tiết in càng cứng vững, chắc chắn, độ sai lệch kích thước của chi tiết in thấp, chi tiết in càng chính xác.

4.7 Thử nghiệm độ chính xác với các dạng thay đổi số lớp in bao phủ bên trên cùng mẫu in

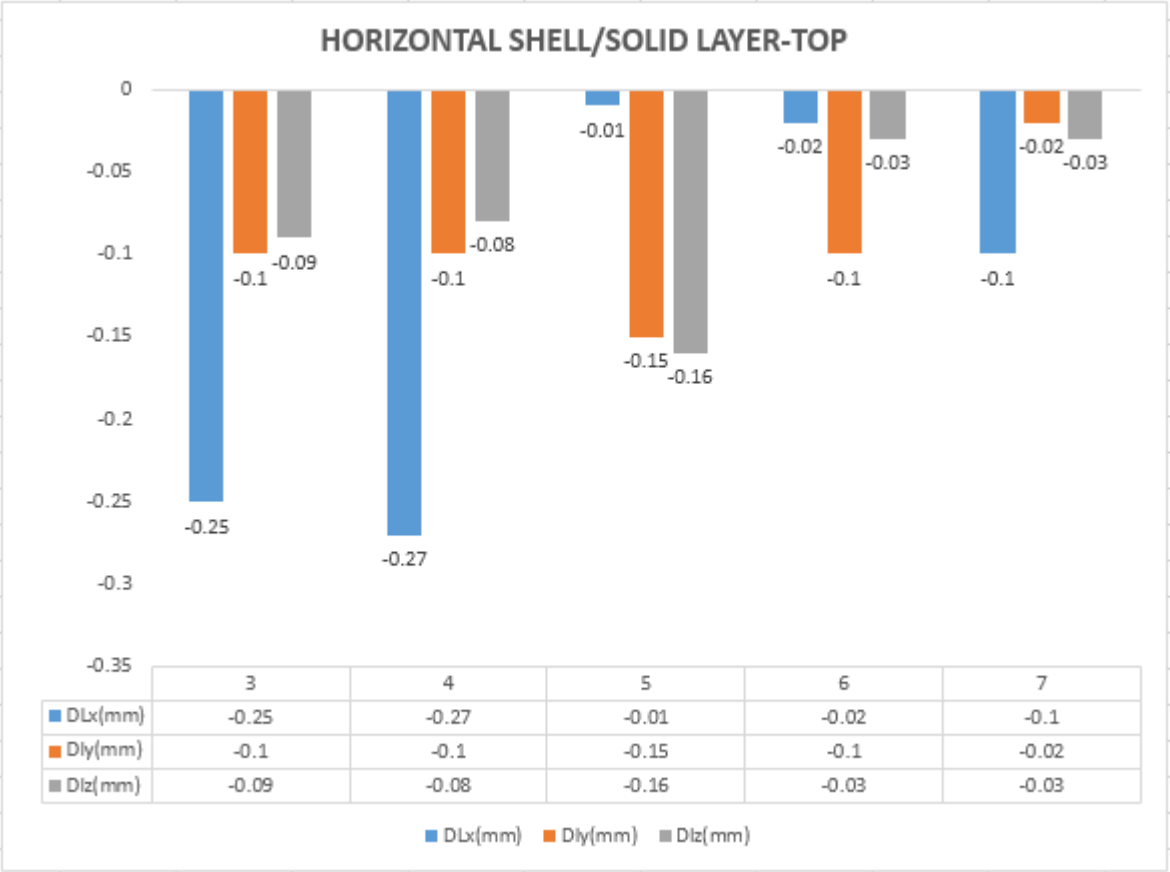
Sau khi tiến hành thử nghiệm in với những kiểu thay đổi số lớp in bao phủ bên trên cùng mẫu in. Ta thu được kết quả thực nghiệm như sau:

-Độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thay đổi số lớp in bao phủ bên trên cùng mẫu in:

	ΔLx(mm)	Δly(mm)	Δlz(mm)
3	-0.25	-0.1	-0.09
4	-0.27	-0.1	-0.08
5	-0.01	-0.15	-0.16
6	-0.02	-0.1	-0.03
7	-0.1	-0.02	-0.03

***Hình 4.66**: Độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thay đổi số lớp in bao phủ bên trên cùng mẫu in*

- Biểu đồ tổng thể thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thay đổi số lớp in bao phủ bên trên cùng mẫu in:



***Hình 4.67**: Biểu đồ tổng thể thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thay đổi số lớp in bao phủ bên trên cùng mẫu in*

Nhận xét: Từ biểu đồ thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z ta nhận thấy rằng: khi tiến hành thử nghiệm với những kiểu thay đổi số lớp in bao phủ bên trên cùng mẫu in khác nhau thì độ sai lệch kích thước theo phương X đối với lớp in bao phủ bên trên cùng mẫu in: 5 và 6 lớp là thấp nhất. Độ sai lệch kích thước theo phương Y, và phương Z đối với lớp in bao phủ bên trên cùng mẫu in: 6 và 7 lớp là thấp hơn những lớp in còn lại. Qua đó ta thấy rằng số lớp in bao phủ bên trên cùng chi tiết càng lớn thì chi tiết in càng cứng vững, chắc chắn, bề mặt in của chi tiết càng chính xác, hạn chế sự co rút nhựa sau khi in, độ sai lệch kích thước của chi tiết in thấp, chi tiết in càng chính xác.

4.8 Thử nghiệm độ chính xác với các dạng thay đổi số lớp in bao phủ bên dưới cùng mẫu in

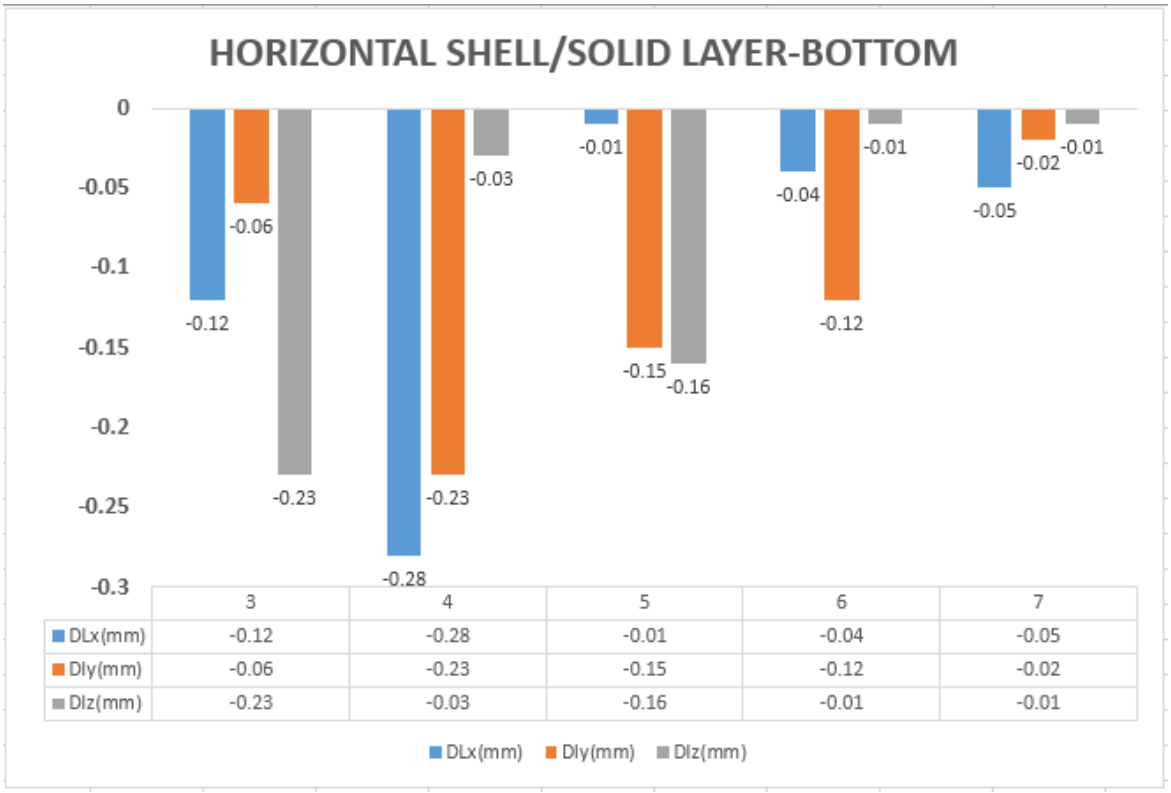
Sau khi tiến hành thử nghiệm in với những kiểu thay đổi số lớp in bao phủ bên bên dưới cùng mẫu in. Ta thu được kết quả thực nghiệm như sau:

-Độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thay đổi số lớp in bao phủ bên dưới cùng mẫu in:

	ΔLx(mm)	Δly(mm)	Δlz(mm)
3	-0.12	-0.06	-0.23
4	-0.28	-0.23	-0.03
5	-0.01	-0.15	-0.16
6	-0.04	-0.12	-0.01
7	-0.05	-0.02	-0.01

***Hình 4.68**: Độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thay đổi số lớp in bao phủ bên dưới cùng mẫu in*

- Biểu đồ tổng thể thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thay đổi số lớp in bao phủ bên dưới cùng mẫu in:



***Hình 4.69**: Biểu đồ tổng thể thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thay đổi số lớp in bao phủ bên dưới cùng mẫu in*

Nhận xét: Như chúng ta đã biết số lớp in bao phủ bên dưới cùng rất quan trọng. Lớp dưới điền đầy, chắc chắn thì tạo tiền đề cho các lớp trên chính xác theo.Từ biểu đồ thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z ta nhận thấy rằng: khi tiến hành thử nghiệm với những kiểu thay đổi số lớp in bao phủ bên dưới cùng mẫu in khác nhau thì độ sai lệch kích thước theo phương X đối với lớp in bao phủ bên dưới cùng mẫu in: 5, 6, lớp là thấp. Độ sai lệch kích thước theo phương Y, và phương Z đối với lớp in bao phủ bên dưới cùng mẫu in: 7 lớp là thấp hơn những lớp in còn lại. Qua đó ta thấy rằng số lớp in bao phủ bên dưới cùng mẫu in càng lớn thì chi mẫu in càng cứng vững, hạn chế sự co rút nhựa sau khi in, hạn chế sự cong vênh.Vì vậy ta nên chọn số lớp in bao phủ bên dưới cùng mẫu in: 6 đến 7 lớp để in thì đạt được sai lệch kích thước của mẫu in thấp, mẫu in càng chính xác.

4.9 Thử nghiệm độ chính xác với các dạng thay đổi kiểu đường di chuyển khi in support

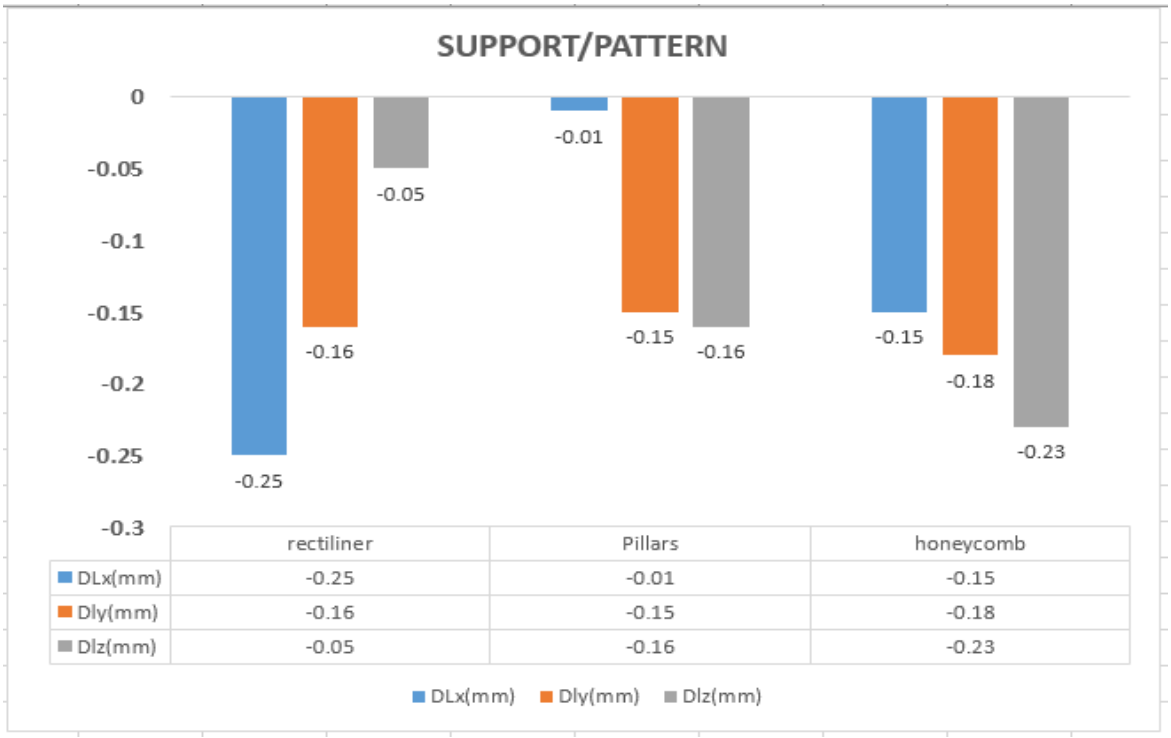
Sau khi tiến hành thí nghiệm in với những kiểu đường di chuyển khi in support: rectiliner, Pillars, honeycomb. Ta thu được kết quả thực nghiệm như sau:

-Độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thay đổi những kiểu đường di chuyển khi in support: rectiliner, Pillars, honeycomb

	ΔLx(mm)	Δly(mm)	Δlz(mm)
rectiliner	-0.25	-0.16	-0.05
Pillars	-0.01	-0.15	-0.16
honeycomb	-0.15	-0.18	-0.23

***Hình 4.70**: Độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thay đổi những kiểu đường di chuyển khi in support*

- Biểu đồ tổng thể thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thay đổi những kiểu đường di chuyển khi in support:



***Hình 4.71**: Biểu đồ tổng thể thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thay đổi những kiểu đường di chuyển khi in support*

Nhận xét: Support rất quan trọng, là cấu rúc vật liệu được tạo ra nhằm nâng đỡ các bộ phần của vật in. Vì vậy ta nên lựa chọn cài đặt thông số in support cho hợp lý thì chi tiết mới đạt độ chính xác cao. Sau khi tiến hành thì nghiệm với 3 kiểu di chuyển đầu in khác nhau thì độ sai lệch kích thước đối với kiểu đường di chuyển Pillars là thấp. Kiểu rectilinear không có sự liên kết với nhau do đó tốn thêm thời gian cho khoảng chạy không in. Kiểu honeycomb là các kiểu chạy nhựa tượng đối phù hợp với lớp ở phía trong khi với những kiểu chạy nhựa này có thể in với tốc độ cao hơn, giảm bớt thời gian in hơn. Vì thế từ đó ta có thể chọn kiểu đường di chuyển Pillars là kiểu di chuyển đầu in khi insupport là tối ưu nhất.

4.10 Thử nghiệm độ chính xác với các dạng thay đổi kiểu góc nghiêng khi in support

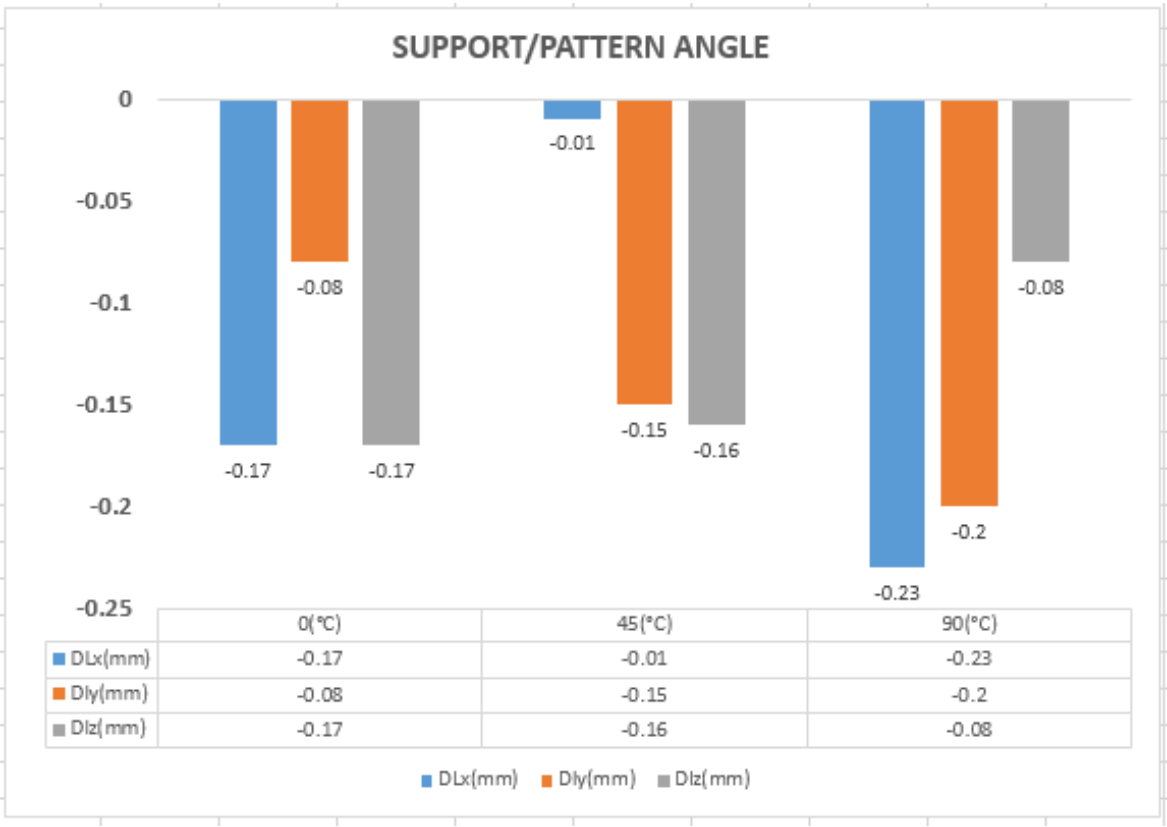
Sau khi tiến hành thí nghiệm in với những kiểu góc nghiêng khi in support của mẫu in: 0(°C), 45(°C), 90(°C). Ta thu được kết quả thực nghiệm như sau:

-Độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thay đổi những kiểu góc nghiêng khi in support của mẫu in: 0(°C), 45(°C), 90(°C)

	ΔLx(mm)	Δly(mm)	Δlz(mm)
0(°C)	-0.17	-0.08	-0.17
45(°C)	-0.01	-0.15	-0.16
90(°C)	-0.23	-0.2	-0.08

***Hình 4.72**: Độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thay đổi những kiểu góc nghiêng khi in support của mẫu in*

- Biểu đồ tổng thể thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thay đổi những kiểu góc nghiêng khi in support của mẫu in:



***Hình 4.73**: Biểu đồ tổng thể thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thay đổi kiểu góc nghiêng khi in support của mẫu in*

Nhận xét: Từ biểu đồ thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z ta nhận thấy rằng: Khi tiến hành thử nghiệm với những kiểu góc nghiêng khi in support của mẫu in: 0(°C), 45(°C), 90(°C) khác nhau thì độ sai lệch kích thước đối với kiểu góc nghiêng: 45(°C) là thấp. Đối với kiểu góc nghiêng: 45(°C) sau khi in ta có thể lấy support tách ra khỏi sản phẩm in một cách dễ dàng. Tiết kiệm thời gian, và tăng độ chính xác của kích thước sản phẩm khi in. Vì vậy khi in support ta nên chọn góc nghiêng 45(°C) để in.

4.11 Thử nghiệm độ chính xác với các dạng thay đổi tốc độ in thành của mẫu in

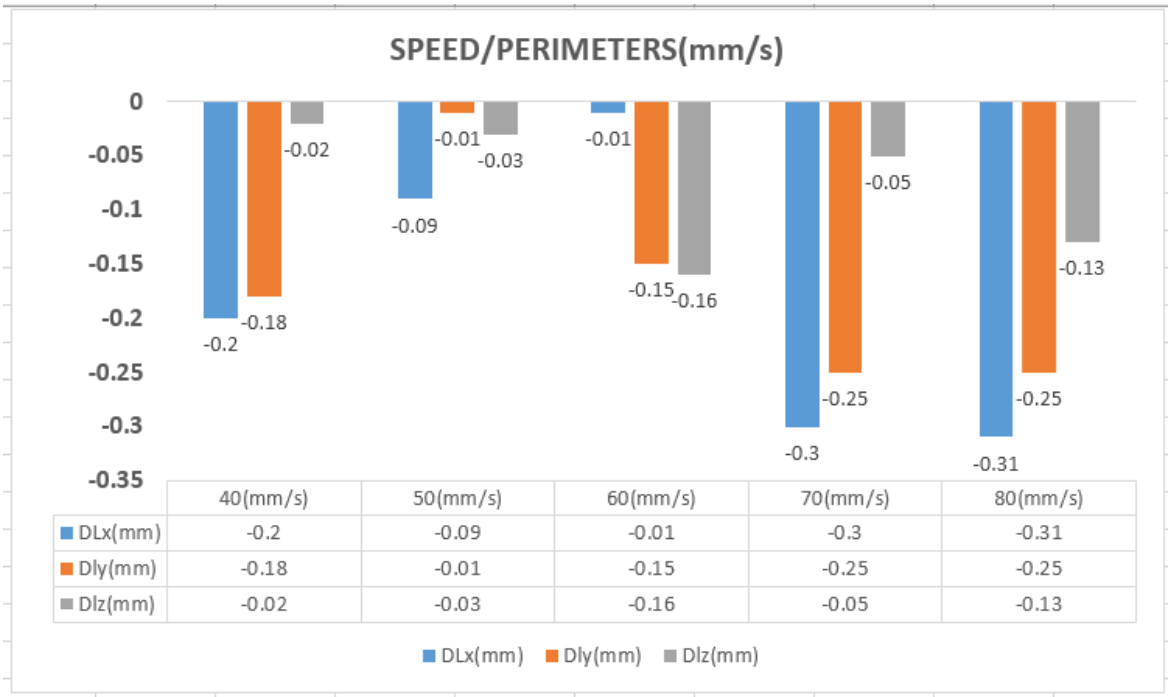
Sau khi tiến hành thí nghiệm in với những kiểu tốc độ in thành của mẫu in: 40 (mm/s), 50 (mm/s), 60 (mm/s), 70 (mm/s), 80 (mm/s). Ta thu được kết quả thực nghiệm như sau:

-Độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thay tốc độ in thành của mẫu in: 40 (mm/s), 50 (mm/s), 60 (mm/s), 70 (mm/s), 80 (mm/s)

	ΔLx(mm)	Δly(mm)	Δlz(mm)
40(mm/s)	-0.2	-0.18	-0.02
50(mm/s)	-0.09	-0.01	-0.03
60(mm/s)	-0.01	-0.15	-0.16
70(mm/s)	-0.3	-0.25	-0.05
80(mm/s)	-0.31	-0.25	-0.13

Hình 4.74*: Độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thay đổi tốc độ in thành của mẫu in*

- Biểu đồ tổng thể thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thay đổi tốc độ in thành của mẫu in:



***Hình 4.75**: Biểu đồ tổng thể thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thay đổi tốc độ in thành của mẫu in*

Nhận xét: Độ sai lệch kích thước đối với tốc độ in thành của mẫu in: 50 (mm/s), 60 (mm/s) là thấp. Tốc độ in thành mẫu in nằm trong khoảng 50 (mm/s), 60 (mm/s) có độ điền đầy sản phẩm tốt hơn, khả năng bám dính của các lớp vật liệu in càng cao. Tuy nhiên với tốc độ in quá thấp (40mm/s) thì thời gian in càng lâu, tốc độ thấp có thể khiến các đường nét (sợi nhựa được đùn ra) không đúng vị trí, gây ra hiện tượng đùn nhựa ở đầu phun, gây tắc nghẽn đầu phun. Tốc độ in quá nhanh thì có thể khiến các đường nét (sợi nhựa được đùn ra) không đúng vị trí, khả năng bám dính của các lớp vật liệu thấp, sản phẩm bị biến dạng cong vênh…Vì vậy ta nên chọn tốc độ : 50 (mm/s), 60 (mm/s) để in thành của mẫu in là tối ưu nhất.

4.12 Thử nghiệm độ chính xác với các dạng thay đổi tốc độ in phần điền đầy bên trong mẫu in

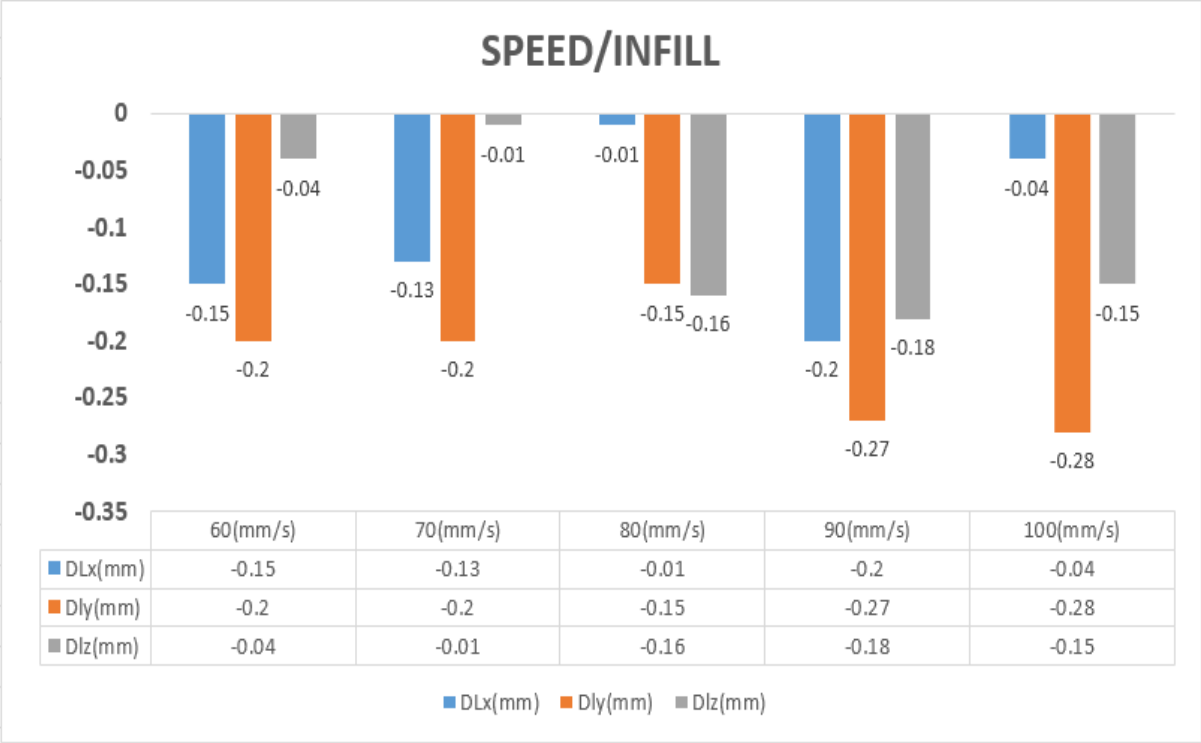
Sau khi tiến hành thí nghiệm in với những kiểu tốc độ in phần điền đầy bên trong của mẫu in: 60 (mm/s), 70 (mm/s), 80 (mm/s), 90(mm/s), 100(mm/s). Ta thu được kết quả thực nghiệm như sau:

-Độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thay tốc độ in phần điền đầy bên trong của mẫu in: 60 (mm/s), 70 (mm/s), 80 (mm/s), 90(mm/s), 100(mm/s):

	ΔLx(mm)	Δly(mm)	Δlz(mm)
60(mm/s)	-0.15	-0.2	-0.04
70(mm/s)	-0.13	-0.2	-0.01
80(mm/s)	-0.01	-0.15	-0.16
90(mm/s)	-0.2	-0.27	-0.18
100(mm/s)	-0.04	-0.28	-0.15

***Hình 4.76**: Độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thay đổi tốc độ in phần điền đầy bên trong của mẫu in*

- Biểu đồ tổng thể thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thay đổi tốc độ in phần điền đầy bên trong của mẫu in:



***Hình 4.77**: Biểu đồ tổng thể thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thay đổi tốc độ in phần điền đầy bên trong của mẫu in*

Nhận xét: Từ biểu đồ thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z ta nhận thấy rằng: tốc độ in phần điền đầy bên trong của mẫu in: 60 (mm/s), 70 (mm/s), 80 (mm/s), 90(mm/s), 100(mm/s) khác nhau thì độ sai lệch kích thước đối với tốc độ in phần điền đầy bên trong của mẫu in: 60 (mm/s), 70 (mm/s) là thấp. Qua đó ta thấy được tốc độ in phần điền đầy bên trong của mẫu in nằm trong khoảng 60 (mm/s), 70

(mm/s) thì độ chính xác kích thước sản phẩm in càng cao, ở tốc độ này thì khả năng bám dính của các lớp vật liệu in càng cao. Độ điền đầy sản phẩm càng tốt. Tuy nhiên với tốc độ in này thì thời gian in càng lâu. Tùy vào chất lượng của sản phẩm in và điều kiện làm việc của chi tiết in mà ta có thể chọn tốc in phần lắp đầy bên trong của sản phẩm in cho hợp lý. Để qua đó ta có thể tiết kiệm thời gian in và chi phí in.

4.13 Thử nghiệm độ chính xác với kiểu thay đổi độ dày lớp in

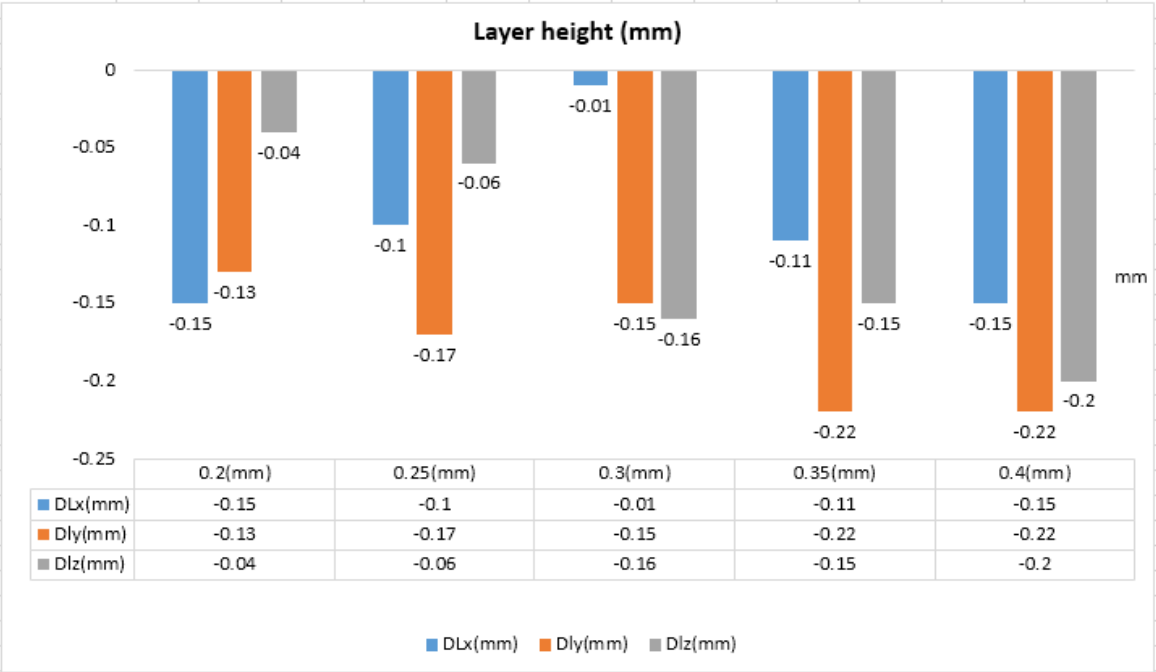
Sau khi tiến hành thí nghiệm in với những kiểu độ dày lớp in: 0.2 (mm), 0.25(mm), 0.3(mm), 0.35(mm), 0.4(mm). Ta thu được kết quả thực nghiệm như sau:

-Độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thay đổi độ dày lớp in: 0.2 (mm), 0.25(mm), 0.3(mm), 0.35(mm), 0.4(mm)

	0.2(mm)	0.25(mm)	0.3(mm)	0.35(mm)	0.4(mm)
ΔLx(mm)	-0.15	-0.1	-0.01	-0.11	-0.15
Δly(mm)	-0.13	-0.17	-0.15	-0.22	-0.22
Δlz(mm)	-0.04	-0.06	-0.16	-0.15	-0.2

***Hình 4.78**: Độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thay đổi độ dày lớp in*

- Biểu đồ tổng thể thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thay độ dày lớp in:



	0.2(mm)	0.25(mm)	0.3(mm)	0.35(mm)	0.4(mm)
DLx(mm)	-0.15	-0.1	-0.01	-0.11	-0.15
Dly(mm)	-0.13	-0.17	-0.15	-0.22	-0.22
Dlz(mm)	-0.04	-0.06	-0.16	-0.15	-0.2

***Hình 4.79**: Biểu đồ tổng thể thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thay đổi độ dày lớp in*

Nhận xét: Từ biểu đồ thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z ta nhận thấy rằng độ dày lớp in: 0.2 (mm), 0.25(mm), 0.3(mm), 0.35(mm), 0.4(mm) khác nhau thì độ sai lệch kích thước theo phương X đối với độ dày lớp in: 0.3 (mm), là thấp nhất. Độ sai lệch kích thước theo phương Y, và phương Z đối với độ dày lớp in: 0.2 (mm) và 0.25 (mm) là thấp hơn độ sai lệch kích thước của những lớp in còn lại. Qua đó ta thấy được độ dày lớp in sản phẩm nằm trong khoảng 0.2 (mm), 0.3(mm) thì độ chính xác kích thước sản phẩm in càng cao. Độ dày lớp in càng thấp thì chi tiết in càng mịn, tuy nhiên thời gian in chậm. Lớp in càng mỏng thì càng hạn chế được khác khuyết tật của mẫu in như những vết nhựa dư, chảy nhựa,…. Ngược lại lớp in càng dày thì thời gian in càng nhanh, tuy nhiên có thể có một số nhược điểm như sai lệch kích thước sẽ lớn hơn, độ bóng bề mặt thấp, chất lượng mẫu in không cao. Chiều dày một lớp in tối đa không quá đường kính của đầu phun nhựa.

4.14 Thử nghiệm độ chính xác với kiểu thay đổi độ dày lớp in đầu tiên

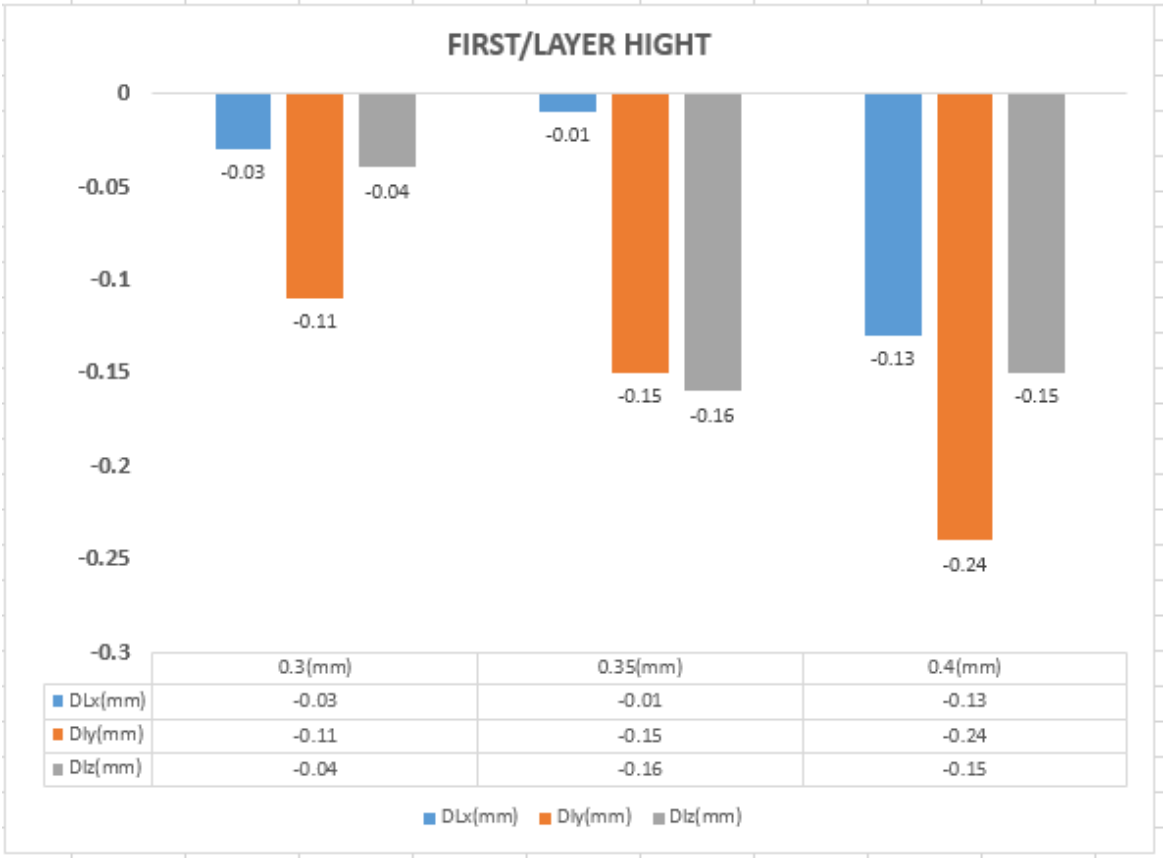
Sau khi tiến hành thí nghiệm in với những kiểu độ dày lớp in đầu tiên 0.3 (mm), 0.35(mm), 0.4(mm). Ta thu được kết quả thực nghiệm như sau:

-Độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thay đổi độ dày lớp in đầu tiên: 0.3 (mm), 0.35(mm), 0.4(mm)

	ΔLx(mm)	Δly(mm)	Δlz(mm)
0.3(mm)	-0.03	-0.11	-0.04
0.35(mm)	-0.01	-0.15	-0.16
0.4(mm)	-0.13	-0.24	-0.15

***Hình 4.80**: Độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thay đổi độ dày lớp in đầu tiên*

- Biểu đồ tổng thể thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thay độ dày lớp in đầu tiên:



***Hình 4.81**: Biểu đồ tổng thể thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thay đổi độ dày lớp in đầu tiên*

Nhận xét: Từ biểu đồ thể hiện độ sai lệch kích thước theo phương x y z ta nhận thấy rằng: độ dày lớp in đầu tiên 0.3 (mm), 0.35(mm), 0.4(mm) khác nhau thì độ sai lệch kích thước theo phương X đối với độ dày lớp in đầu: 0.3 (mm), 0.35 (mm) là thấp. Độ sai lệch kích thước theo phương Y, và phương Z đối với độ dày lớp in đầu

tiên mẫu in: 0.3 (mm) là thấp nhất. Qua đó ta thấy được độ dày lớp in đầu tiên sản phẩm nằm trong khoảng 0.3 (mm) thì độ chính xác kích thước sản phẩm in càng cao. Việc có được lớp in đầu tiên chính xác và bám dính chắc chắn vào bàn in thì có được một sản phẩm chính xác là rất cao. Độ dày lớp in càng nhỏ thì đảm bảo vật in bám chắc trên bàn in. Để có thông số phù hợp thì phải phụ thuộc vào hình dáng kích thước của mẫu in, cũng như kinh nghiệm in từng loại chi tiết và vật liệu khác nhau mà ta chọn độ dày lớp in đầu tiên cho hợp lý, hạn chế vật liệu in và tiết kiệm được thời gian in.

CHƯƠNG 5

KẾT LUẬN

Sau khi tiến hành thử nghiệm các mẫu in (hình 10) với những thông số in thay đổi khác nhau ta thu được kết quả như sau:

Mật độ điền đầy (biểu đồ hình 4.63) xác định lượng nhựa điền đầy bên trong chi tiết in. Sau khi tiến hành thí nghiệm với các dạng điền đầy sản phẩm khác nhau thì ta nhận thấy rằng: độ sai lệch kích thước đối với mật độ điền đầy mẫu 20(%),40(%) là cao hơn những phần trăm điền đầy còn lại. phần trăm điền đầy sản phẩm càng lớn thì tạo cấu trúc mạnh mẽ và bền vững bên trong chi tiết, độ chính xác kích thước sản phẩm in càng cao, tuy nhiên thời gian in càng lâu. Ta nên chọn phần trăm điền đầy sản phẩm 60(%),80(%) để tiết kiệm thời gian in và chi phí in mà vẫn đạt được độ chính xác cao.

Biểu đồ (hình 4.13) khi tiến hành thí nghiệm với những kiểu di chuyển đầu in bên trong sản phẩm khác nhau thì độ sai lệch kích thước đối với kiểu di chuyển đầu in honeycomb, kiểu rectilinear là thấp. Kiểu rectilinear là kiểu chạy nhựa dạng thẳng. Tuy nhiên ở kiểu chạy này các đường chạy nhựa không có sự liên kết với nhau do đó tốn thêm thời gian cho khoảng chạy không in. Kiểu honeycomb là các kiểu chạy nhựa tượng đối phù hợp với lớp ở phía trong khi với những kiểu chạy nhựa này có thể in với tốc độ cao hơn, giảm bớt thời gian in hơn, tiết kiệm vật liệu in. Vì thế từ đó ta có thể chọn kiểu honeycomb là kiểu di chuyển đầu in bên trong mẫu in là tối ưu nhất.

Từ biểu đồ (hình 4.20) này ta nhận thấy rằng độ sai lệch kích thước đối với kiểu di chuyển đầu in concentric và kiểu rectilinear là thấp hơn những kiểu điền đầy còn lại. Kiểu rectilinear, concentric thường dùng cho những lớp đáy và lớp phía trên của mẫu in do đạt được thẩm mĩ cao hơn những kiểu chạy khác. Vì vậy ta nên kiểu concentric và kiểu rectilinear là kiểu di chuyển đầu in ở lớp bên trên và bên dưới mẫu in là tốt nhất.

Số lớp in bên thành (biểu đồ hình 4.65): sau khi tiến hành thí nghiệm với số lớp in bên thành mẫu khác nhau thì độ sai lệch kích thước theo phương X, Y, Z đối với lớp in bên thành mẫu: 7 lớp là thấp nhất. Số lớp in bên thành mẫu càng lớn thì hạn chế sự co rút, cong vênh, và chi tiết in càng chính xác.

Số lớp in bao phủ bên dưới mẫu (biểu đồ hình 4.69) Như chúng ta đã biết số lớp in bao phủ bên dưới và bên trên cùng rất quan trọng. Bề mặt vật thể là từng lớp nhựa kết dính vào nhau. Lớp dưới quá thưa thì các lớp nhựa không có chỗ dựa chắc chắn, dễ biến dạng và tạo nên bề mặt sần sùi, nhiều khe hở. Nếu Lớp dưới điền đầy, chắc chắn thì tạo tiền đề cho các lớp trên chính xác theo. Tương tự Số lớp in bao phủ bên trên cùng mẫu càng lớn thì bề mặt in của mẫu càng chính xác, hạn chế sự chảy xệ, hạn chế sự co rút nhựa sau khi in. Đối với lớp in bao phủ bên dưới và bên trên cùng mẫu với 6-7 lớp thì độ sai lệch kích thước in là thấp nhất, mẫu in chính xác.

Vật liệu in (biểu đồ hình 4.32) Sau khi tiến hành thí nghiệm in với 3 loại vật liệu PLA, ABS, PETG khác nhau thì độ sai lệch kích thước đối với vật liệu PLA là thấp nhất. Vật liệu nhựa ABS và nhựa PETG có độ sai lệch kích thước lớn hơn.

Góc nghiêng in lớp hổ trợ mẫu: Từ (biểu đồ 7) ta thấy được độ sai lệch kích thước đối với kiểu góc nghiêng: 90(°C) là cao nhất. Đối với kiểu góc nghiêng: 45(°C) sau khi in ta có thể lấy support tách ra khỏi sản phẩm in một cách dễ dàng. Tiết kiệm thời gian, và tăng độ chính xác của kích thước sản phẩm khi in. Vì vậy khi in support ta nên chọn góc nghiêng 45(°C) để in.

Tốc độ in thành sản phẩm (biểu đồ hình 4.75) nằm trong khoảng 50 (mm/s), 60 (mm/s) có độ điền đầy tốt hơn, khả năng bám dính của các lớp vật liệu in càng cao. Tuy nhiên với tốc độ in quá thấp (40mm/s) thì thời gian in càng lâu, tốc độ thấp có thể gây ra hiện tượng đùn nhựa ở đầu phun, gây tắc nghẽn đầu phun. Tốc độ in quá nhanh thì có thể khiến các đường nét sợi nhựa được đùn ra không đúng vị trí, khả

năng bám dính của các lớp vật liệu thấp, sản phẩm bị biến dạng cong vênh. Vì vậy ta nên chọn tốc độ: 50 (mm/s), 60 (mm/s) để in thành của mẫu là tối ưu nhất.

Độ dày của mỗi lớp in (biểu đồ hình 4.79) xác định độ phân giải của bản in. Độ sai lệch kích thước đối với độ dày lớp in sản phẩm 0.35 (mm), 0.4 (mm) là cao hơn độ dày lớp in còn lại. Độ dày lớp in càng lớn thì thời gian in càng nhanh. Tuy nhiên có thể có một số nhược điểm như sai lệch kích thước sẽ lớn hơn, độ bóng bề mặt thấp, chất lượng mẫu in không cao. Độ dày lớp in càng thấp thì chi mẫu in càng mịn, hạn chế được khác khuyết tật của mẫu in như những vết nhựa dư, chảy nhựa. Vì vậy ta nên chọn độ dày lớp in sản phẩm nằm trong khoảng: 0.2-0.3 (mm) thì chất lượng bề mặt in càng tốt, độ chính xác sản phẩm in càng cao.

Bài báo đã thực hiện thí nghiệm với các thông số khác nhau ảnh hưởng đến độ chính xác mẫu in. Và tiến hành phân tích, thảo luận kết quả thí nghiệm, qua đó đưa ra thông số in tối ưu: sử dụng vật liệu PLA, dạng tổ ong điền đầy biên trong mẫu, dạng điền đầy mặt trên/dưới mẫu: dạng đường thẳng zigzag, và mật độ điền đầy 60-80 %, số lớp in thành mẫu 7 lớp, số lớp in mặt trên và mặt dưới mẫu in 6-7 lớp, tốc độ in 60-70(mm/s), và độ dày từng lớp 0.2-0.3(mm) thì mẫu in đạt độ chính xác cao, chất lượng bề mặt mịn bóng, tiết kiệm được thời gian và chi phí cho việc tăng chất lượng độ chính xác của kích thước mẫu in.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] N. Shahrubudin, T.C. Lee, R. Ramlan, An Overview on 3D Printing Technology: Technological, Materials, and Applications, Procedia Manufacturing 35 (2019) 1286–1296.

[2] Ruben Perez Mananes, Jose Rojo-Manaute, Pablo Gil, “3D Surgical printing and pre contoured plates for acetabular fractures”, Journal of ELSEVIER 2016.

[3] Ashish Patil, Bhushan Pati, Rahul Potwade3, Akshay Shinde, Prof. Rakesh Shinde, Design and Development of FDM Based Portable 3D Printer. International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 8, Issue 3, March-2017.

[4] Vinod G. Gokhare, Dr. D. N. Raut, Dr. D. K. Shinde, A Review paper on 3D-Printing Aspects and Various Processes Used in the 3D-Printing, International

Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), Vol. 6 Issue 06, June – 2017.

[5] Abdulrhman E. Elsayed, Quantitative analysis of 0% infill density surface profile of printed part fabricated by personal FDM 3D printer, International Journal of Engineering &Technology, 7 (1) (2018) 44-52.

[7] Ziemian, C., M. Sharma, and S. Ziemian, *Anisotropic mechanical properties of ABS parts fabricated by fused deposition modelling*, in *M*echanical engineering. 2012, InTech.

[8] Anoop Kumar Sood, R. K. Ohdar, S. S. Mahapatra, "Experimental investigation and empirical modelling of FDM process for compressive strength improvement", *Journal of Advanced Research*, 2011.

[9] Gianluca Percoco, Fulvio Lavecchia and Luigi Maria Galantucci Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Gestionale, Politecnico di Bari, Viale Japigia 182, 70126 Bari, Italy, "Compressive Properties of FDM Rapid Prototypes Treated with a Low Cost Chemical Finishing", *Research Journal of Applied Sciences*, 2012.

[10] Dhruv Maheshkumar Patel, Effects of Infill Patterns on Time, Surface Roughness and Tensile Strength in 3D Printing, 2017 IJEDR, Volume 5, Issue 3, ISSN: 2321-9939.

[11] ThS. Trần Minh Thế Uyên, Nguyễn Cảnh Hà, Trần Văn Lân, Design and manufacturing the 3d printer machine with FDM technique, 2016.

[12] Nadir Ayrilmis, Effect of layer thickness on surface properties of 3D printed materials produced from wood flour/PLA filament, Polymer Testing 71 (2018) 163–166.

[13] Pritish Shubha, Arnab Sikidarn, Teg Chand, The Influence of Layer Thickness on Mechanical Properties of the 3D Printed ABS Polymer by Fused Deposition Modeling, Procedia Manufacturing 35 (2019) 1286–1296, Key Engineering Materials Submitted: 2016-04-09, ISSN: 1662-9795, Vol. 706, pp 63-67 Accepted: 2016-04-20.

[14] Valentina Mazzanti, Lorenzo Malagutti and Francesco Mollica, FDM 3D Printing of Polymers Containing Natural Fillers: A Review of their Mechanical

Properties, Department of Engineering, Università degli Studi di Ferrara, via Saragat 1, Ferrara 44122, Italy, Accepted: 24 June 2019; Published: 28 June 2019.

[15] Tadeusz Mikolajczyk, Tomasz Malinowski, Liviu Moldovan, Hu Fuwenc, Tomasz Paczkowski, Ileana Ciobanu, CAD CAM System for Manufacturing Innovative Hybrid Design Using 3D Printing, 2019.

[16] R. Arthi, R. Akash, S.U. Bhaskar, K. Shahul Hameed, Sagar Mrinal, Ishiva Shreya Low Cost with Vibration Controlled Efficient Fused Deposition Modeling: International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT),Volume-8 Issue-6, August 2019.

[17] Josef Kiendl, Chao Gao, Controlling toughness and strength of FDM 3D-printed PLA components through the raster layup, 2019.

[18] ThS. Trần Minh Thế Uyên, Nguyễn Cảnh Hà, Trần Văn Lân, Design and manufacturing the 3d printer machine with FDM technique, 2016.

[19] https://3dvntech.com/thiet-lap-phan-mem-in-3d-slic3r.

[20] Công nghệ in 3D – Lịch sử và ứng dụng, tác động và thách thức, vai trò quản lý và chiến lược phát triển, *Tạp chí Tia Sáng, 6/2015.*

[21] Can 3D Printing Reshape Manufacturing In America? *Forbes.com, 17/6/2014.*

[22] Công nghệ in 3D với giáo dục và đào tạo, *Tạp chí Tia Sáng, 7/2015.*

[23] Cục thông tin khoa học và công nghệ quốc gia, “in 3d: hiện tại và tương lai”.

[24] PGS.TS. Thái Thị Thu Ha, TS. Nguyễn Hữu Tho, ThS. Huỳnh Hữu Nghị, Tối ưu hóa thông số quá trình nhằm cải thiện độ bền nén của sản phẩm FDM, Tạp chí Phát triển Khoa học và Công nghệ, tập 20, số K5-2017.

[25] J. Ni, H. Ling, Z. Wang, Z. Peng, Three-dimensional printing of metals for biomedical applications, Materials Today Bio 3 (2019) 100024.

[26] Junhui Wu, Study on optimization of 3D printing parameters, Materials Science and Engineering 392 (2018) 062050.

[27] Yash Magdum, Divyansh Pandey, Akash Bankar, Shantanu Harshe, Vasudev Parab, Mr. Mahesh Shivaji Kadam, Process Parameter Optimization for FDM 3D

Printer: International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET) e-ISSN: 2395-0056, Volume: 06 Issue: 04, Apr 2019.

[28] R. J. Urbanic, R. Hedrick, Fused Deposition Modeling Design Rules for Building Large, Complex Components: computer-aided design & applications, 2016 vol. 13, no. 3, 348–368.

[29] Ajinkya C. Pawar, Prashant P. Rokade, Tushar T. Nikam, Deepak A. Purane, Kedar M. Kulkarni, Optimization of 3D Printing Process: International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology Vol. 6, Issue 3, March 2019.

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG THÔNG SỐ IN 3D NHỰA ĐẾN ĐỘ CHÍNH XÁC KÍCH THƯỚC SẢN PHẨM

RESEARCH THE EFFECT OF 3D PRINTING PARAMETERS ON THE ACCURACY OF PLASTIC PRODUCT SIZE

Phạm Sơn Minh[1)], Bùi Văn Thời[2)]

[1)] minhps@hcmute.edu.vn, [2)]vanthoihbsg@gmail.com

[1]*Trường đại học Sư phạm Kỹ thuật TP.HCM*

[2]*Trường đại học Bách Khoa TP.HCM*

TÓM TẮT

Tóm tắt—Hiện nay, máy in 3D với công nghệ FDM (Fused Deposition Molding) được sử dụng rất nhiều và phát triển rất nhanh bởi những ưu điểm như vật liệu thông dụng, không gây độc hại, chi phí thấp, và tạo mẫu nhanh. Tuy nhiên để có được một mẫu in có độ chính xác cao, thời gian hoàn thiện mẫu in nhanh và tiết kiệm được chi phí in thì cần phải có một thông số in phù hợp. Chính vì vậy, tác giả chọn đề tài nghiên cứu ảnh hưởng thông số in 3D nhựa đến độ chính xác kích thước sản phẩm với công nghệ FDM. Tiến hành nghiên cứu, phân tích lý thuyết dựa trên việc tham khảo, tìm kiếm các bài báo và các tài liệu trong nước và quốc tế có liên quan đến in 3D. Tiến hành các thí nghiệm trên các mẫu in có thông số in (mật độ điền đầy, dạng điền đầy ở bên trong, ở mặt trên và mặt dưới mẫu in, độ dày từng lớp in, các dạng điền đầy support, số lớp in, tốc độ và vật liệu) in khác nhau. Sau khi in trên máy in có độ chính xác cao, thời gian in được kiểm tra, và độ sai lệch kích thước đối với các mẫu in được đo kiểm. Kết quả cho thấy rằng mẫu in sử dụng vật liệu PLA, dạng điền đầy biên trong mẫu: dạng tổ ong, dạng điền đầy mặt trên/dưới mẫu: dạng đường thẳng zigzag, và mật độ điền đầy 60-80 %, số lớp in thành mẫu 7 lớp, số lớp in mặt trên và mặt dưới mẫu in 6-7 lớp, tốc độ in 60-70(mm/s), và độ dày từng lớp 0.2-0.3(mm) thì mẫu in đạt độ chính xác cao, chất lượng bề mặt mịn bóng, thời gian hoàn thiện mẫu in nhanh, và tiết kiệm được chi phí.

Từ khóa: Ảnh hưởng thông số, máy in 3D, mật độ điền đầy, độ chính xác, FDM.

ABSTRACT

Currently, the 3D printer machine with FDM (Fused Deposition Molding) technique is popular using and fast developing by many advantages such as common materials, non-toxic, low cost and creating quickly product. However, in order to create a high-precision

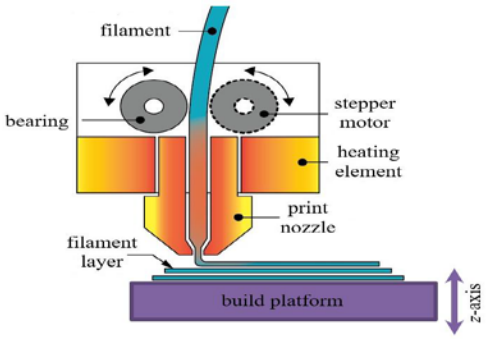
print pattern, finish printing fast time and save printing costs, an appropriate printing parameter is required. Therefore, the authors choose and performed this research: affects the 3D printing parameters on the accuracy of plastic product by the FDM technology. We have researched, analyzed from the reference, domestic and international science articles related to 3D printing. Beside we also did the experiments on printed patterns with different print specifications. (infill Density, infill Pattern: honeycomb, Top/Bottom infill (rectilinear, concentric, hilbert curve, octagram spiral), Layer height (mm), Support, Thickness, Horizontal shells/Solid layer/ top-bottom, Speed and different materials). After printing on a high-precision printer, checked the print time and tested the size deviations of the printed samples. The results show that the printed samples used PLA material, the full filled inside the samples (infill Pattern: rectilinear), Top/Bottom infill (rectilinear, concentric), infill Density: 60-80%, Horizontal shells/Solid layer/ top-bottom: 6-7, Speed: 60-70(mm/s), Layer height: 0.2-0.3(mm)) have high accuracy, the surface quality is glossy, the time for finishing the sample is quick, and the cost is saved.

Key word: Parameter effect, 3D printer machine, filling density, accuracy, FDM

I. GIỚI THIỆU

Công nghệ bồi đắp vật liệu (AM) đang được chú tâm bởi những lợi ích nó mang lại vô cùng to lớn. Nó có thể chế tạo sản phẩm một cách nhanh chóng với chi phí và thời gian được giảm đáng kể so với các công nghệ truyền thống. Từ dữ liệu thiết kế 3D trên máy tính (CAD – Computer Aided Design), các thiết bị AM tạo thành sản phẩm theo nguyên lý bồi đắp vật liệu theo từng lớp, lớp sau chồng lên lớp trước cho đến khi hoàn tất quá trình. Với nguyên lý trên, công nghệ AM có thể tạo ra những sản phẩm có hình dạng phức tạp một cách nhanh chóng mà các phương pháp gia công truyền thống khó hoặc không thể chế tạo được [10].

Công nghệ tạo mẫu nhanh, từ khi ra đời đến nay đã được cải tiến và phát triển rất nhiều. Hàng loạt phương pháp và công nghệ tạo mẫu ra đời như FDM (Fused Deposition Modeling, SLS (Selective Laser Sintering), SLA (Selective Laser Sintering)… Mỗi công nghệ tạo mẫu có những ưu điểm riêng của nó. Trong đó, công nghệ FDM là một trong những công nghệ phổ biến nhất do giá thành rẻ và sử dụng các loại vật liệu thông dụng, dễ tìm và thân thiện đối với môi trường.



Hình 1: Sơ đồ *nguyên lý tạo mẫu FDM*

Mặc dù công nghệ FDM ngày càng được ứng dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực quan trọng, nhất là trong lĩnh vực chế tạo ra các chi tiết sử dụng ngay, tuy nhiên chất lượng của sản phẩm FDM còn cần phải được cải tiến thêm để đáp ứng nhu cầu của khách hàng, đặc biệt là độ chính xác kích thước. Do bản chất của công nghệ là bồi đắp và liên kết vật liệu với nhau theo từng lớp nên cơ tính và độ chính xác của sản phẩm rất kém. Quá trình chế tạo sản phẩm bằng công nghệ FDM là một quá trình phức tạp, chất lượng sản phẩm FDM phụ thuộc vào rất nhiều thông số quá trình, hay còn gọi là thông số công nghệ khác nhau.

Với những ưu điểm công nghệ này có sự vượt trội về thời gian chế tạo một sản phẩm hoàn thiện, dễ thiết kế, vật liệu không gây độc hại. Bên cạnh những ưu điểm đó thì nhược điểm là độ chính xác chưa cao, độ bóng bề mặt thấp và tốc độ in chưa cao, thời gian in còn dài, tốn kém chi phí [1, 2, 8, 9].

Từ những ưu điểm và nhược điểm đó, quyết định nghiên cứu ảnh hưởng thông số in 3D Nhựa có thể phát huy được những ưu điểm của công nghệ này, đồng thời, nâng cao tốc độ, độ bóng bề mặt thấp, thời gian in và độ chính xác chất lượng mẫu in.

II. TỔNG QUAN VỀ CÁC NGHIÊN CỨU

Các thông số chính ảnh hưởng đến độ chính xác kích thước của mẫu in có thể được tóm tắt như sau:

Mật độ điền đầy: Mật độ điền đầy xác định lượng nhựa điền đầy bên trong chi tiết in. Dhruv Maheshkumar Patel và cộng sự [3] đã đưa ra tầm ảnh hưởng của mật độ điền đầy đến chất lượng, độ nhám bề mặt và thời gian của mẫu. Cụ thể khi in ở mật độ 20% (hình 3) và 40% (hình 4) có sự khác biệt rất lớn về độ chính xác, độ nhám bề mặt, cũng như thời gian in của sản phẩm.

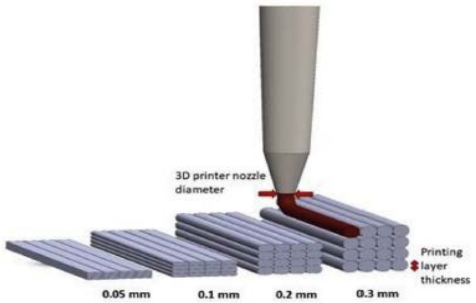
Các dạng điền đầy: ThS. Trần Minh Thế Uyên và cộng sự [4] sau khi thực nghiệm nghiên cứu trên mô hình máy, kiểm tra các mẫu in và đưa các kết quả như sau: honeycomb, archimedeanchords, 3dhoneycomb là các kiểu chạy nhựa tượng đối phù hợp với lớp ở phía trong khi với những kiểu chạy nhựa này có thể in với tốc độ cao hơn. Kiểu

rectilinear, linear, concentric thường dùng cho những lớp đáy và lớp phía trên của mẫu in do đạt được thẩm mĩ cao hơn mặt khác, những lớp này không yêu cầu chạy tốc độ cao nên có thể sử dụng được những kiểu này. Dhruv Maheshkumar Patel và cộng sự [3] đã nghiên cứu và đưa ra kết quả khi tăng mật độ điền đầy thì kiểu chạy nhựa dạng đồng tâm như: concentric (hình 7) sẽ tốn ít thời gian để in sản phẩm hơn các kiểu chạy nhựa dạng thẳng zigzag: rectilinear (hình 5) còn lại.

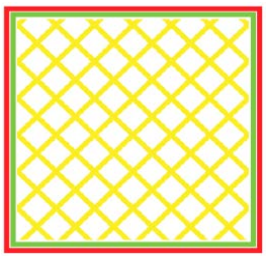
Độ dày lớp in (hình 2). Junhui Wu và các cộng sự [5] thực hiện đã nghiên cứu thử nghiệm thay đổi các thông số độ dày từng lớp in để xác định sự ảnh hưởng của thời gian in, tiêu hao vật liệu, và độ chính xác của mẫu in. Mẫu được in trên máy model Raise3D N2plus, với nhiệt độ đầu phun 210°C, vật liệu PLA, mật độ điền đầy 10%. Sau khi tiến hành thí nghiệm đã chỉ ra rằng độ dày từng lớp in càng nhỏ thì càng độ chính xác kích thước cao hơn. khi độ dày từng lớp in là 0,14mm, thời gian in ngắn nhất, có thể đạt được chất lượng mẫu in.

Tốc độ in thành sản phẩm ảnh hưởng rất lớn đến khả năng bám dính của các lớp vật liệu. Tốc độ in quá thấp thì thời gian in càng lâu, tốc độ thấp có thể gây ra hiện tượng đùn nhựa ở đầu phun, gây tắc nghẽn đầu phun. Tốc độ in quá nhanh thì có thể khiến các đường nét sợi nhựa được đùn ra không đúng vị trí, khả năng bám dính của các lớp vật liệu thấp, sản phẩm bị biến dạng cong vênh.

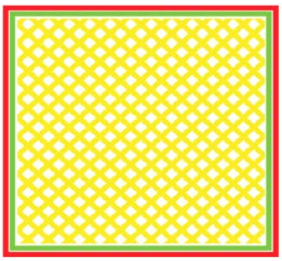
Hiện nay, đã có nhiều công trình nghiên cứu về ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến độ bền kéo, uốn, độ va đập... của sản phẩm. Tuy nhiên, độ chính xác kích thước cũng là một chỉ tiêu quan trọng cần được nghiên cứu. Mục đích nghiên cứu của bài báo này là cải thiện độ chính xác kích thước khi điều chỉnh các thông số quá trình dùng cụ thể cho mục đích sản xuất trong các ngành in 3D như ô tô, hàng không hay trong dân dụng. Sau khi có kết quả thí nghiệm ta có thể đánh giá mức độ ảnh hưởng của các thông số đến độ chính xác kích thước và từ đó đưa ra kết luận cho bài báo này.



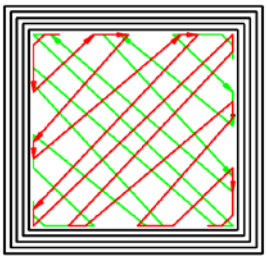
***Hình 2**: Độ dày từng lớp in khác nhau [5]*



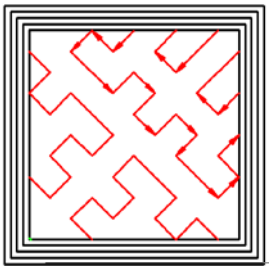
***Hình 3**: Mật độ điền đầy 20%*



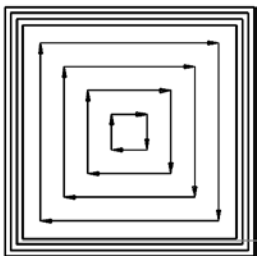
***Hình 4**: Mật độ điền đầy 40% [3]*



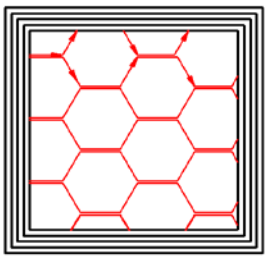
***Hình 5**: Kiểu rectilinear [4]*



***Hình 6**: Kiểu hibertcurve [4]*



***Hình 7**: Kiểu concentric [4]*



***Hình 8**: Kiểu honeycomb [4]*

III. THIẾT KẾ THÍ NGHIỆM

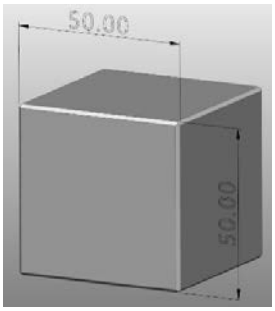
Sử dụng máy in 3D dùng đầu phun 0,4mm với đầu phun có thể in chia tối thiểu đến 0,1mm mỗi lớp để tạo mẫu hình 9. Trong nghiên cứu này ta tiến hành các thí nghiệm các mẫu in 3D với các vật liệu và thông số in thay đổi khác nhau, khi tiến hành thí nghiệm một trong những thông số nêu trên thì các thông số in còn lại sử dụng giá trị trung bình. Sau đó thu được kết quả và đưa ra biểu đồ để giải quyết những vấn đề sau: Xác định ảnh hưởng của vật liệu đến độ chính xác kích thước sản phẩm in 3D. Với 3 loại vật liệu sử dụng nghiên cứu tạo mẫu là nhựa PLA (Polylactide Acid), nhựa ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene), và nhựa PETG (Polyethylene terephthalate).

Xác định ảnh hưởng của mật độ điền đầy, dạng điền đầy ở bên trong, ở mặt trên và mặt dưới mẫu in, độ dày từng lớp in, các dạng điền đầy support, độ dày từng lớp in, tốc độ và vật liện in khác nhau đến độ chính xác kích thước sản phẩm in 3D.

Mô hình CAD model được thiết kế bằng phần mềm Soliwork và xuất ra file có định dạng.STL chia lưới và sau đó được đưa vào phần mềm cắt lớp "Slic3r" để điều chỉnh các thông số chạy mẫu, sau đó xuất sang file có định dạng gcode và nạp trực tiếp vào máy in 3D FDM.

STT	THÔNG SỐ
1	Vật liệu
2	Mật độ điền đầy (%)
3	Dạng điền đầy bên trong mẫu
4	Dạng điền đầy mặt trên, mặt dưới của mẫu
5	Dạng điền đầy ở các lớp nâng đỡ
6	Góc nghiêng in ở các lớp nâng đỡ (°c)
7	Độ dày mặt trên mẫu in (mm)
8	Độ dày mặt dưới mẫu in (mm)
9	Độ dày thành mẫu in (mm)
10	Số lớp in bên thành
11	Số lớp in bên trên
12	Số lớp in bên dưới
13	Tốc độ in thành (mm/s)
14	Tốc độ in bên trong mẫu (mm/s)
15	Độ dày từng lớp in (mm)
16	Độ dày lớp in đầu tiên (mm)

***Bảng 1**: Thông số thí nghiệm*



***Hình 9**: Mẫu thí nghiệm*

***Hình 10**: Mẫu thí nghiệm sau khi in*

IV. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Sau khi tiến hành thử nghiệm các mẫu in (hình 10) với những thông số in (bảng 1) thay đổi khác nhau ta thu được kết quả:

Mật độ điền đầy (biểu đồ 4) xác định lượng nhựa điền đầy bên trong chi tiết in. Phần trăm điền đầy sản phẩm càng lớn thì tạo cấu trúc mạnh mẽ và bền vững bên trong chi tiết, độ chính xác kích thước sản phẩm in càng cao, tuy nhiên thời gian in càng lâu. Ta nên chọn phần trăm điền đầy sản phẩm 60(%),80(%) để tiết kiệm thời gian in và chi phí in mà vẫn đạt được độ chính xác cao.

(Biểu đồ 1) khi tiến hành thí nghiệm với những kiểu di chuyển đầu in bên trong sản phẩm khác nhau thì độ sai lệch kích thước đối với kiểu di chuyển đầu in honeycomb, kiểu rectilinear là thấp. Kiểu rectilinear là kiểu chạy nhựa dạng thẳng. Tuy nhiên ở kiểu chạy này các đường chạy nhựa không có sự liên kết với nhau do đó tốn thêm thời gian cho khoảng chạy không in. Kiểu honeycomb là các kiểu chạy nhựa tượng đối phù hợp với lớp ở phía trong khi với những kiểu chạy nhựa này có thể in với tốc độ cao hơn, giảm bớt thời gian in hơn, tiết kiệm vật liệu in. Vì thế từ đó ta có thể chọn kiểu honeycomb là kiểu di chuyển đầu in bên trong mẫu in là tối ưu nhất.

Từ (biểu đồ 2) này ta nhận thấy rằng độ sai lệch kích thước đối với kiểu di chuyển đầu in concentric và kiểu rectilinear là thấp hơn những kiểu điền đầy còn lại. Kiểu rectilinear, concentric thường dùng cho những lớp đáy và lớp phía trên của mẫu in do đạt được thẩm mĩ cao hơn những kiểu chạy khác. Vì vậy ta nên kiểu concentric và kiểu rectilinear là kiểu di chuyển đầu in ở lớp bên trên và bên dưới mẫu in là tốt nhất.

Số lớp in bên thành (biểu đồ 5): Độ sai lệch kích thước theo phương X, Y, Z đối với lớp in bên thành mẫu: 7 lớp là thấp nhất. Số lớp in bên thành mẫu càng lớn thì hạn chế sự co rút, cong vênh, và chi tiết in càng chính xác.

Số lớp in bao phủ bên dưới mẫu: (biểu đồ 7) như chúng ta đã biết số lớp in bao phủ bên dưới cùng rất quan trọng. Bề mặt vật thể là từng lớp nhựa kết dính vào nhau. Lớp dưới quá thưa thì các lớp nhựa không có chỗ dựa chắc chắn, dễ biến dạng và tạo nên bề mặt sần sùi, nhiều khe hở. Nếu Lớp dưới điền đầy, chắc chắn thì tạo tiền đề cho các lớp trên chính xác theo. Đối với lớp in bao phủ bên dưới cùng mẫu với 6-7 lớp thì độ sai lệch kích thước in là thấp nhất, mẫu in chính xác.

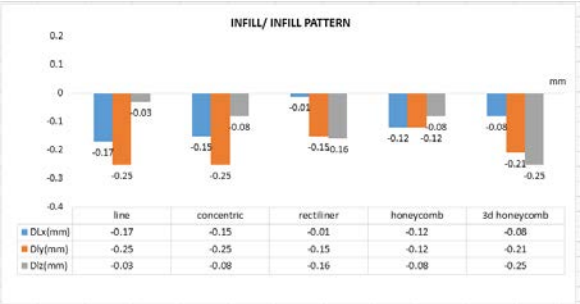
Vật liệu in (biểu đồ 3) Sau khi tiến hành thí nghiệm in với 3 loại vật liệu PLA, ABS, PETG khác nhau thì độ sai lệch kích thước đối với vật liệu PLA là thấp nhất. Vật liệu nhựa ABS và nhựa PETG có độ sai lệch kích thước lớn hơn.

Góc nghiêng in lớp hổ trợ mẫu: Từ (biểu đồ 7) ta thấy được độ sai lệch kích thước đối với kiểu góc nghiêng: 90(°C) là cao nhất. Đối với kiểu góc nghiêng: 45(°C) sau khi in ta có thể lấy support tách ra khỏi sản phẩm in một cách dễ dàng. Tiết kiệm thời gian, và tăng độ chính xác của kích thước sản phẩm khi in. Vì vậy khi in support ta nên chọn góc nghiêng 45(°C) để in.

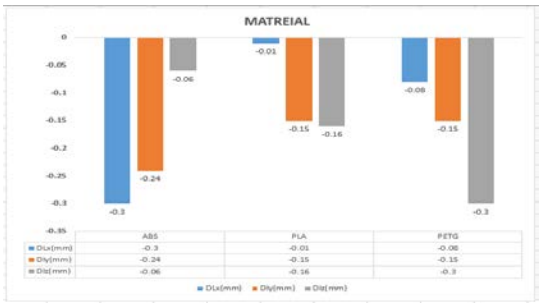
(Biểu đồ 9) Tốc độ in thành sản phẩm nằm trong khoảng 50 (mm/s), 60 (mm/s) có độ điền đầy tốt hơn, khả năng bám dính của các lớp vật liệu in càng cao. Tuy nhiên với tốc độ in quá thấp (40mm/s) thì thời gian in càng lâu, tốc độ thấp có thể gây ra hiện tượng đùn nhựa ở đầu phun, gây tắc nghẽn đầu phun. Tốc độ in quá nhanh thì có thể khiến các đường nét sợi nhựa được đùn ra không đúng vị trí, khả năng bám dính của các lớp vật liệu thấp,

sản phẩm bị biến dạng cong vênh. Vì vậy ta nên chọn tốc độ: 50 (mm/s), 60 (mm/s) để in thành của mẫu là tối ưu nhất.

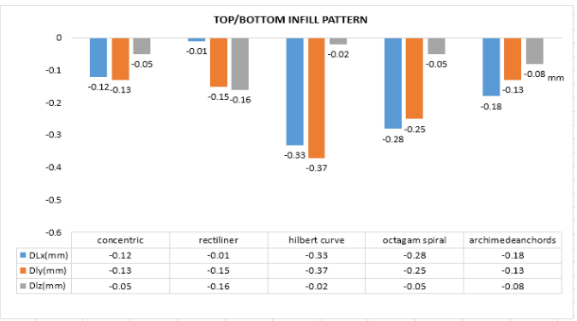
Độ dày của mỗi lớp in (biểu đồ 10) xác định độ phân giải của bản in. Độ sai lệch kích thước đối với độ dày lớp in sản phẩm 0.35 (mm), 0.4 (mm) là cao hơn độ dày lớp in còn lại. Độ dày lớp in càng lớn thì thời gian in càng nhanh. Tuy nhiên có thể có một số nhược điểm như sai lệch kích thước sẽ lớn hơn, độ bóng bề mặt thấp, chất lượng mẫu in không cao. Độ dày lớp in càng thấp thì chi mẫu in càng mịn, hạn chế được khác khuyết tật của mẫu in như những vết nhựa dư, chảy nhựa. Vì vậy ta nên chọn độ dày lớp in sản phẩm nằm trong khoảng: 0.2-0.3 (mm) thì chất lượng bề mặt in càng tốt, độ chính xác sản phẩm in càng cao



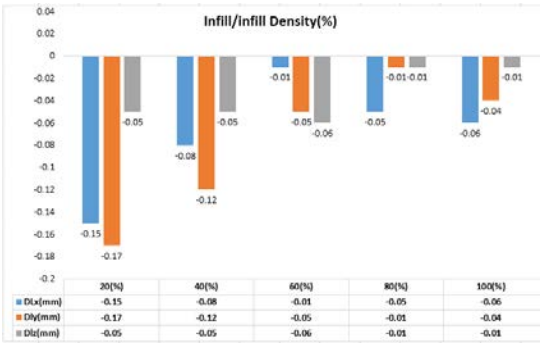
***Biểu đồ 1**: Độ sai lệch kích thước kiểu di chuyển bên trên/dưới mẫu*



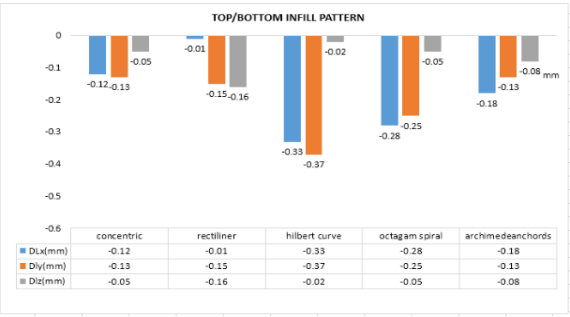
***Biểu đồ 3**: Độ sai lệch kích thước phương x y z của 3 loại vật liệu PLA, ABS, PETG*



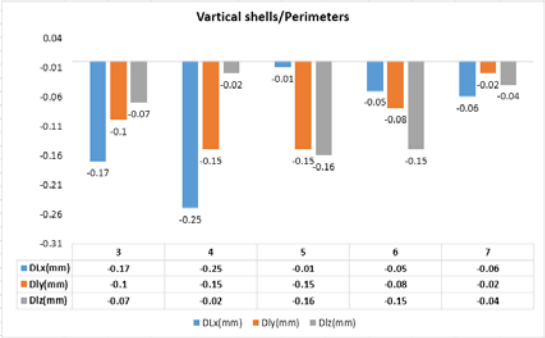
***Biểu đồ 2**: Độ sai lệch kích thước kiểu di chuyển bên trên/dưới mẫu*



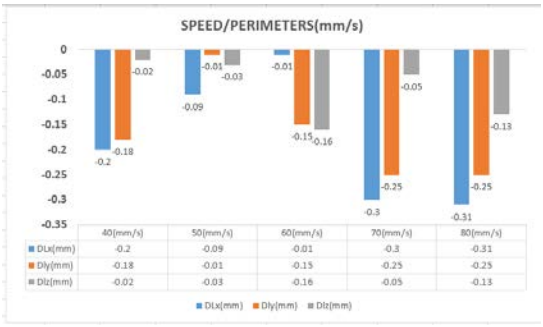
***Biểu đồ 4**: Độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thay đổi mật độ điền đầy mẫu*



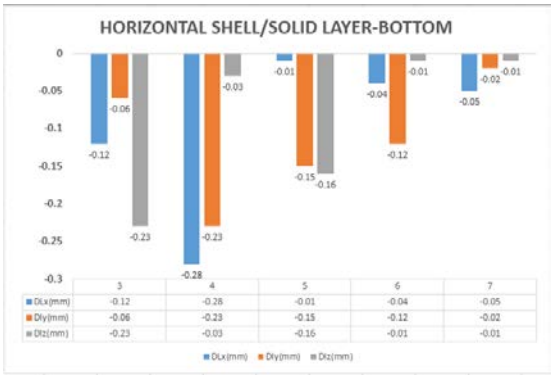
***Biểu đồ 2**: Độ sai lệch kích thước theo phương x y z của các kiểu di chuyển bên trên/dưới mẫu*



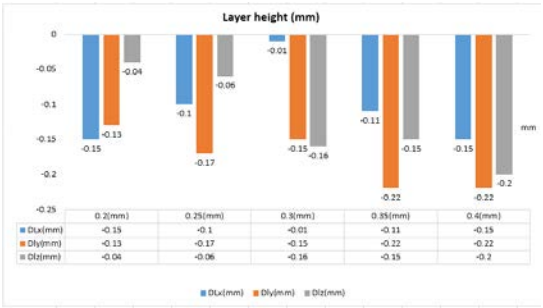
***Biểu đồ 5**: Độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thay đổi số lớp in bên thành*



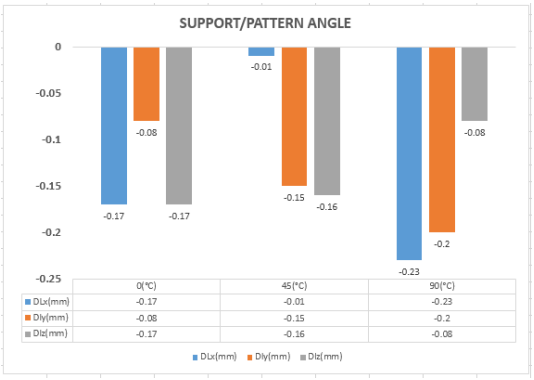
***Biểu đồ 9**: Độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thay đổ tốc độ in thành mẫu*



***Biểu đồ 7**: Độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thay đổi số lớp in bên dưới mẫu*



***Biểu đồ 10**: Độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thay đổi độ dày lớp in*



***Biểu đồ 8**: Độ sai lệch kích thước theo phương x y z khi thay đổi góc nghiêng khi in lớp hổ trợ của mẫu*

V. KẾT LUẬN

Bài báo đã thực hiện thí nghiệm với các thông số khác nhau ảnh hưởng đến độ chính xác mẫu in. Và tiến hành phân tích, thảo luận kết quả thí nghiệm, qua đó đưa ra thông số

tối ưu: sử dụng vật liệu PLA, dạng tổ ong điền đầy biên trong mẫu, dạng điền đầy mặt trên/dưới mẫu: dạng đường thẳng zigzag, và mật độ điền đầy 60-80 %, số lớp in thành mẫu 7 lớp, số lớp in mặt trên và mặt dưới mẫu in 6-7 lớp, tốc độ in 60-70(mm/s), và độ dày từng lớp 0.2-0.3(mm) thì mẫu in đạt độ chính xác cao, chất lượng bề mặt mịn bóng, tiết kiệm được thời gian và chi phí cho việc tăng chất lượng độ chính xác của kích thước mẫu in.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Ziemian, C., M. Sharma, and S. Ziemian, *Anisotropic mechanical properties of ABS parts fabricated by fused deposition modelling*, in *M*echanical engineering. 2012, InTech.

[2] N. Shahrubudin, T.C. Lee, R. Ramlan, An Overview on 3D Printing Technology: Technological, Materials, and Applications, Procedia Manufacturing 35 (2019) 1286–1296.

[3] Dhruv Maheshkumar Patel, Effects of Infill Patterns on Time, Surface Roughness in 3D Printing, 2017 IJEDR, Volume 5, Issue 3, ISSN: 2321-9939.

[4] ThS. Trần Minh Thế Uyên, Nguyễn Cảnh Hà, Trần Văn Lân, Design and manufacturing the 3d printer machine with FDM technique, 2016.

[5] Junhui Wu, Study on optimization of 3D printing parameters, Materials Science and Engineering 392 (2018) 062050.

[6] Ruben Perez Mananes, Jose Rojo-Manaute, Pablo Gil, "3D Surgical printing and pre contoured plates for acetabular fractures", Journal of ELSEVIER, 2016.

[7] Ashish Patil, Bhushan Pati, Rahul Potwade3, Akshay Shinde, Design and Development of FDM Based Portable 3D Printer, International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 8, Issue 3, March-2017.

[8] Anoop Kumar Sood, R. K. Ohdar, S. S. Mahapatra, "Experimental investigation and empirical modelling of FDM process for compressive strength improvement", *Journal of Advanced Research*, 2011.

[9] Gianluca Percoco, Fulvio Lavecchia and Luigi Maria Galantucci Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Gestionale, Politecnico di Bari, Viale Japigia 182, 70126 Bari, Italy, "Compressive Properties of FDM Rapid Prototypes Treated with a Low Cost Chemical Finishing", *Research Journal of Applied Sciences*, 2012.

[10] Vinod G. Gokhare, Dr. D. N. Raut, Dr. D. K. Shinde, A Review paper on 3D-Printing Aspects and Various Processes Used in the 3D-Printing, Materials Science and Engineering 392 (2018) 062050.

Tác giả chịu trách nhiệm bài viết:
Họ tên: Bùi Văn Thời
Đơn vị: Công tác tại công ty Framas korea vina
Điện thoại: 0353353156
Email: vanthoihbsg@gmail.com

TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH
www.hcmute.edu.vn