

LỜI CAM ĐOAN

Tôi xin cam đoan rằng, Luận văn Thạc sỹ: **“Nghiên cứu công nghệ thiết kế ngược và tạo mẫu nhanh trong phục dựng cổ vật”** là công trình nghiên cứu của cá nhân tôi, không sao chép của bất kỳ tổ chức, các nhân nào.

Tôi xin chịu mọi trách nhiệm về công trình nghiên cứu của riêng mình!

Nam Định, ngày.....tháng.....năm 2021

Người cam đoan

Nguyễn Ngọc Tài

TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT NAM ĐỊNH

LỜI CẢM ƠN

Tôi xin được chân thành cảm ơn các thầy cô giáo là giảng viên trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Nam Định đã giảng dạy, giúp đỡ, chỉ bảo tận tình, giúp tôi có được nhiều kiến thức rất mới và bổ ích, nâng cao trình độ, năng lực học tập và sáng tạo.

Tôi xin cảm ơn thầy giáo hướng dẫn **TS. Vũ Ngọc Thương** - Giảng viên trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Nam Định, đã chấp nhận, thống nhất tên đề tài; hướng dẫn, chỉ bảo tôi tận tình trong việc tiếp cận và khai thác tài liệu tham khảo trong quá trình tôi làm luận văn.

Cuối cùng tôi cảm ơn các bạn đồng nghiệp và gia đình đã ủng hộ và động viên tôi trong suốt quá trình làm luận văn này.

Trong quá trình làm luận văn, do kinh nghiệm của bản thân còn nhiều hạn chế nên luận văn không tránh khỏi thiếu sót. Rất mong nhận được ý kiến nhận xét, góp ý của quý thầy cô và các bạn.

Tôi xin chân thành cảm ơn!

TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT NAM ĐỊNH

Tác giả

Nguyễn Ngọc Tài

MỤC LỤC

LỜI CAM ĐOAN	1
MỤC LỤC	3
DANH MỤC HÌNH VẼ	7
DANH MỤC CÁC BẢNG	10
DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU, CÁC CHỮ VIẾT TẮT	11
MỞ ĐẦU	12
1. Lý do chọn đề tài.....	12
2. Lịch sử nghiên cứu	12
2.1. Trên thế giới:.....	12
2.2. Trong nước:.....	13
3. Mục tiêu nghiên cứu của luận văn	13
4. Nội dung nghiên cứu	14
5. Phương pháp nghiên cứu.....	14
CHƯƠNG I: TỔNG QUAN VỀ CÔNG NGHỆ THIẾT KẾ NGƯỢC VÀ CÔNG NGHỆ TẠO MẪU NHANH.....	15
1.1. Công nghệ thiết kế ngược	15
1.1.1. Khái niệm.....	15
1.1.2. Ưu nhược điểm của công nghệ thiết kế ngược	15
1.1.3. Quy trình công nghệ thiết kế ngược	16
1.1.4. Quy trình mô hình hóa mẫu sản phẩm đã có sẵn theo công nghệ thiết kế ngược.....	17
1.1.5. Phương pháp và thiết bị số hóa trong công nghệ thiết kế ngược....	18
1.1.6. Các ứng dụng của công nghệ thiết kế ngược.....	22

1.2. Công nghệ tạo mẫu nhanh.....	26
1.2.1. Giới thiệu kỹ thuật tạo mẫu nhanh.....	26
1.2.2. Các bước công nghệ trong tạo mẫu nhanh	27
1.2.3. Các công nghệ tạo mẫu nhanh	29
1.2.4. Ứng dụng của công nghệ tạo mẫu nhanh.....	30
1.2.5. Một số công nghệ tạo mẫu nhanh điển hình	31
1.3. Kết luận chương I.....	46
CHƯƠNG II : CÔNG NGHỆ IN 3D DÙNG ĐỂ TẠO MẪU NHANH TRONG PHỤC CHẾ CỔ VẬT.....	47
2.1. Giới thiệu một số mẫu máy in 3D sử dụng công nghệ FDM.....	47
2.1.1. Máy in 3D Prusa i3	47
2.1.2. Máy in 3D Delta Kossel.....	48
2.2. Chi tiết về máy in Prusa i3	50
2.2.1. Tổng quan chung.....	50
2.2.2. Chi tiết kết cấu máy in Prusa i3	51
2.3. Các yếu tố ảnh hưởng đến chất lượng mẫu in 3D theo phương pháp FDM	54
2.4. Kết luận	54
CHƯƠNG III: NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM NÂNG CAO CHẤT LƯỢNG BỀ MẶT SẢN PHẨM IN 3D ỨNG DỤNG CHO PHỤC CHẾ CỔ VẬT.....	54
3.1. Mục tiêu nghiên cứu thực nghiệm	54
3.2. Phạm vi nghiên cứu thực nghiệm.....	55
3.3. Tổng quan cơ bản về quy hoạch thực nghiệm [5]; [6].....	55
3.3.1. Kế hoạch thực nghiệm	55

3.3.2. Các mức giá trị và khoảng biến thiên của yếu tố đầu vào	56
3.3.3. Các bước của bài toán quy hoạch thực nghiệm và tìm cực trị.....	57
3.4. Quy hoạch thực nghiệm xác định thông số chế độ in 3D	59
3.4.1. Lựa chọn thông số nghiên cứu.....	59
3.4.2. Lập kế hoạch thực nghiệm.....	61
3.5. Tiến hành thực nghiệm.....	66
3.5.1. Số hóa mẫu cổ vật và thiết kế chi tiết bị khuyết của cổ vật.....	66
3.5.1.1. Lựa chọn mẫu cổ vật	66
3.5.1.2. Thiết bị số hóa.....	67
3.5.1.3. Quá trình quét mẫu sản phẩm [12]:	76
3.5.1.4 Giới thiệu chung về phần mềm Geomagic Studio.....	80
3.5.1.5. Quá trình sử dụng phần mềm Geomagic Studio trong xử lý dữ liệu scan, xây dựng mô hình CAD cho chi tiết mẫu quét.....	81
3.5.2. Quy trình thực nghiệm in 3D:.....	87
3.5.2.1. Vật liệu in 3D:.....	87
3.5.2.2. Các bước thực hiện:	87
3.5.3. Kết quả in thực nghiệm:.....	91
3.5.3.1. Lấy mẫu thực nghiệm:	91
3.5.3.2. Thống kê và xử lý số liệu thực nghiệm	93
3.5.3.2. 1. Lấy mẫu đo độ nhám bề mặt.....	93
3.5.3.2. 2. Thiết bị đo độ nhám bề mặt	93
3.5.3.3. Xây dựng mô tả toán học.....	95
3.5.3.4. Kiểm tra tính tương hợp của mô hình đã thiết lập.....	98
3.6. Kiểm tra độ nhám bề mặt sản phẩm in 3D.....	99

3.6.1. Kết quả thử độ nhám bề mặt sản phẩm.....	99
3.6.2. Đánh giá và so sánh độ nhám bề mặt chi tiết in 3D với độ nhám vật mẫu	102
3.7. Đánh giá kết quả sự ảnh hưởng của thông số công nghệ tới độ nhám bề mặt sản phẩm in 3D.....	103
KẾT LUẬN	104
KIẾN NGHỊ	105
TÀI LIỆU THAM KHẢO	106

TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT NAM ĐỊNH

DANH MỤC HÌNH VẼ

Hình 1. 1 Mô hình hóa chi tiết mặt người.....	18
Hình 1. 2 Phay mặt người trên máy CNC	18
Hình 1. 3 Máy đo và đầu đo dùng trong phương pháp đo tiếp xúc	20
Hình 1. 4 Mô hình máy quét ánh sáng trắng.....	21
Hình 1. 5 Công nghệ RE dựng mô hình CAD cho các tác phẩm nghệ thuật.....	22
Hình 1. 6 Ứng dụng công nghệ tái tạo lấy mẫu hoa văn thủ công.....	23
Hình 1. 7 Ứng dụng RE thiết kế lại sản phẩm cơ khí phức tạp	23
Hình 1. 8 Ứng dụng công nghệ thiết kế ngược lấy mẫu mặt người và động vật	24
Hình 1. 9 Ứng dụng RE trong khảo cổ học.....	24
Hình 1. 10 Ứng dụng RE tạo mảnh sọ não dùng trong y học	25
Hình 1. 11 Sử dụng RE thiết kế nhân vật và môi trường trong Game.....	25
Hình 1. 12 Máy tạo mẫu nhanh SLA	32
Hình 1. 13 Nguyên lý hoạt động của phương pháp SLA.....	33
Hình 1. 14 Máy tạo mẫu nhanh SLS	34
Hình 1. 15 Nguyên lý hoạt động của phương pháp SLS	35
Hình 1. 16 Nguyên lý hoạt động của phương pháp LOM	37
Hình 1. 17 Máy in 3 chiều.....	41
Hình 1.18 Cấu tạo máy in 3 chiều.....	41
Hình 1. 19 Cấu tạo máy in 3D-FDM	43
Hình 1. 20 Máy in 3D-FDM	44
Hình 1. 21 Cấu tạo máy in 3D-FDM	45
 Hình 2. 1: Máy in 3D Prusa i3 MK3.....	 48

Hình 2. 2: Máy in 3D Delta Kossel.....	49
Hình 2. 3: Bản vẽ mô phỏng máy in 3D Prusa i3	50
Hình 2. 4: Khung máy in 3D	51
Hình 2. 5: Board mạch RAMPS.....	52
Hình 2. 6: Board mạch Arduino Mega 2560.....	52
Hình 2. 7: Sơ đồ khối hệ thống điện máy in 3D	53
Hình 2. 8: Sơ đồ kết nối tổng quát máy in 3D	53
Hình 2. 9: Một số sản phẩm in bằng máy in Prusa i3	53
Hình 3. 1: Sai lệch trung bình Ra và chiều cao nhấp nhô Rz	60
Hình 3. 2: Mẫu in thử nghiệm với chế độ khác nhau.....	64
Hình 3. 3: Hình dạng phần nắp chóc thờ	67
Hình 3. 4: Cửa sổ chính làm việc của máy quét 3D Horus.....	71
Hình 3. 5: Hướng dẫn hiệu chỉnh máy quét 3D Horus	71
Hình 3. 6: Hiệu chỉnh cấu hình nâng cao máy quét 3D Horus	72
Hình 3. 7: Hiệu chuẩn máy ảnh máy quét 3D Horus	73
Hình 3. 8: Hiệu chuẩn laze máy quét 3D Horus	74
Hình 3. 9: Hiệu chuẩn đĩa quay máy quét 3D Horus	74
Hình 3. 10: Quá trình quét bằng máy quét 3D Horus	75
Hình 3. 11: Phần mềm Horus.....	76
Hình 3. 12: Kết nối cáp và zắc cắm trên máy scan 3D Horus.....	76
Hình 3. 13: Chi tiết nắp đậy chóc thờ trước và sau khi phun phủ.....	77
Hình 3. 14: Quét chi tiết nắp chóc.....	78

Hình 3. 15: Chi tiết sau khi đã quét xong theo 1 góc độ.	79
Hình 3. 16: Các khuyết tật sau khi quét	80
Hình 3. 17: Phần mềm Geomagic Studio.....	81
Hình 3. 18: Import dữ liệu quét.....	82
Hình 3. 19: Sắp xếp các bản quét.....	83
Hình 3. 20: Vật thể ở dạng lưới.....	84
Hình 3. 21: Chỉnh sửa lưới.....	84
Hình 3. 22: Chế độ Parametric Surfacing	85
Hình 3. 23: Chế độ CAD.....	85
Hình 3. 24: Sử dụng Solidwork hoàn thiện file	86
Hình 3. 25: File hoàn thiện.....	86
Hình 3. 26: Nhựa PLA dùng cho máy in 3D.....	87
Hình 3. 27: Cài đặt máy in 3D	88
Hình 3. 28: Thiết lập phần mềm in	89
Hình 3. 29: Thiết lập suport	89
Hình 3. 30: Bắt đầu quá trình in.....	90
Hình 3. 31: Sản phẩm khi in xong.....	90
Hình 3. 32: Sử dụng máy in 3D Prusa i3	91
Hình 3. 33: Mẫu in thực nghiệm	92
Hình 3. 34: File in 3D cho 7 mẫu.....	93
Hình 3. 35: Máy đo độ nhám cầm tay 178-561-01E Mitutoyo.....	94

DANH MỤC CÁC BẢNG

Bảng 2. 1: Thông số máy in 3D Delta Kossel.....	49
Bảng 2. 2: Thông số máy in 3D sử dụng phức chế cổ vật	51
Bảng 3. 1: Các cấp độ nhẵn bề mặt.....	61
Bảng 3. 2: Bảng điều kiện thực nghiệm (giá trị và khoảng biến thiên của các thông số chế độ in cần khảo sát là D và v).....	65
Bảng 3. 3: Bảng kế hoạch thực nghiệm	66
Bảng 3. 4: Thông số cơ bản máy đo độ nhám cầm tay 178-561-01E Mitutoyo.	94
Bảng 3. 5: Bảng ma trận kế hoạch thực nghiệm	95
Bảng 3. 6: Bảng ma trận kế hoạch mở rộng.....	96
Bảng 3. 7: Kết quả các thí nghiệm ở tâm.....	97
Bảng 3. 8: Bảng đánh giá các hệ số phương trình hồi quy	98
Bảng 3. 9: Giá trị hàm hồi quy	99
Bảng 3. 10: Bảng kết quả đo nhám bề mặt với các chế độ in khác nhau.....	102
Bảng 3. 11: So sánh giới hạn đo nhám bề mặt của sản phẩm in 3D so với vật mẫu theo chế độ in khác nhau	102

DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU, CÁC CHỮ VIẾT TẮT

STT	Ký hiệu	Từ	Nghĩa
1	FE	Forward Enineering	Công nghệ thiết kế thuận
2	RE	Reverse Engineering	Công nghệ thiết kế ngược hay công nghệ đảo chiều, công nghệ chép mẫu.
3	CAD	Computer Aided Design	Thiết kế với sự trợ giúp của máy tính
4	CAM	Computer Aided Manufacturing	Sử dụng máy tính để tạo chương trình điều khiển hệ thống sản xuất, kể cả trực tiếp điều khiển các thiết bị, hệ thống đảm bảo vật tư, kỹ thuật .
5	CAE	Computer Aided Engineering	Tính toán kỹ thuật với sự trợ giúp của máy tính. CAD và CAE thường gắn liền với nhau vì thiết kế sản phẩm gắn liền với thử nghiệm, mô phỏng hoạt động của sản phẩm.
6	CAPP	Computer Aided Process Planning	Lĩnh vực sử dụng máy tính trợ giúp thiết kế quá trình công nghệ chế tạo sản phẩm (thường được gọi là chuẩn bị công nghệ).
7	RP	Rapid Propotyping	Bao gồm các phương pháp gia công tạo mẫu nhanh
8	CNC	Computerized Numerical Control	Máy gia công điều khiển số có sự trợ giúp của máy tính trong việc vận hành và lập trình gia công.

MỞ ĐẦU

1. Lý do chọn đề tài

Công nghệ thiết kế ngược và công nghệ tạo mẫu nhanh là những công nghệ mới, nó tích hợp những thành tựu của công nghệ thông tin, công nghệ vật liệu, tự động hóa, kỹ thuật laser và cơ khí hiện đại... Những công nghệ này được ứng dụng trong nhiều lĩnh vực khác nhau và đặc biệt phát huy được ưu điểm trong những ứng dụng thiết kế phức tạp, yêu cầu rút ngắn thời gian, nâng cao chất lượng như thiết kế kiểu dáng vỏ ô tô; thiết kế khuôn dập; thiết kế các chi tiết máy....Đặc biệt 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, mỗi công nghệ tạo mẫu có những ưu điểm riêng. Hiện nay một trong những phương pháp tạo mẫu được sử dụng phổ biến nhất là công nghệ FDM với những ưu điểm như đơn giản, dễ thiết kế, vật liệu dễ tìm, không gây độc hại

Bên cạnh những ưu điểm đó thì nhược điểm là chi tiết sau in có độ bóng bề mặt thấp, tốc độ in chưa caodẫn đến việc ứng dụng công nghệ này vì thế cũng có nhiều hạn chế. Việc nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số in đến chất lượng mẫu in trong quá trình in 3D, nhất là chất lượng bề mặt là hết sức cần thiết để từng bước đưa công nghệ in 3D vào cuộc sống, nhất là trong các ngành đặc thù như phục chế cổ vật.

Được sự đồng ý của Khoa Cơ khí- Trường Đại học Sư phạm kỹ thuật Nam Định, đặc biệt là TS. Vũ Ngọc Thương, tác giả chọn đề tài : ***“Nghiên cứu công nghệ thiết kế ngược và tạo mẫu nhanh trong phục dựng cổ vật”*** làm đề tài Luận văn Thạc sỹ của mình.

2. Lịch sử nghiên cứu

2.1. Trên thế giới:

Năm 1986, Charles Hull 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 thành lập công ty 3DSystems, một trong những nhà cung cấp công nghệ lớn nhất hiện nay trong lĩnh vực in 3D.

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.

Năm 2009, 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 in 3D trên thị trường hiện nay.

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

2.2. Trong nước:

Mặc dù công nghệ in 3D đã có mặt trong khá nhiều lĩnh vực ở Việt Nam, từ y khoa, mỹ nghệ, thời trang, kiến trúc, cơ khí đến giáo dục... nhưng theo các chuyên gia, việc ứng dụng vẫn chủ yếu mang tính chất thử nghiệm.

Sau hơn một thập kỷ có mặt tại Việt Nam, thành tựu nổi bật nhất được ghi nhận của công nghệ in 3D là việc “in” mảnh sọ bằng methyl methacrylate để vá lỗ thủng trên đầu một bệnh nhân 17 tuổi ở Bệnh viện Chợ Rẫy TPHCM vào đầu năm 2016. Kỹ thuật in 3D tạo ra miếng ghép có độ chính xác cao về hình dáng, kích thước, giúp tối ưu hiệu quả điều trị và thẩm mỹ.

In 3D cũng đã được ứng dụng trong nghiên cứu, giáo dục như Đại học Bách khoa Hà Nội, Trường THPT thực nghiệm Hà Nội, Trường quốc tế Liên Hợp Quốc Hà Nội... Đại học Công nghệ - Đại học Quốc gia Hà Nội - đã dùng thiết bị này trong việc nghiên cứu chế tạo các thiết bị vi cảm biến.

3. Mục tiêu nghiên cứu của luận văn

Mục tiêu nghiên cứu của đề tài là: ***“Nghiên cứu công nghệ thiết kế ngược và tạo mẫu nhanh trong phục dựng cổ vật”*** . Trong đó:

- Hệ thống hóa những lý thuyết liên quan đến công nghệ thiết kế ngược và công nghệ tạo mẫu nhanh.

- Nghiên cứu, khai thác các phần mềm Solidwork 2012, Geomagic studio và thiết bị Scan 3D trong chế tạo chi tiết nhằm phục dựng cổ vật.

- Ứng dụng phần mềm thiết kế và tạo mẫu chi tiết bằng máy in 3D.
- Đánh giá ảnh hưởng của thông số chế độ in đến chất lượng mẫu in khi in 3D. Cụ thể là nghiên cứu ảnh hưởng của vận tốc in và độ dày lớp in đến chất lượng bề mặt mẫu in.
- Chọn được bộ thông số vận tốc - độ dày lớp in trên mẫu máy in đã cải tiến làm tiền đề mẫu cho phương thức hiệu chỉnh nâng cao chất lượng mẫu in 3D trên các máy in 3D khác.

4. Nội dung nghiên cứu

- Tổng quan về công nghệ thiết kế ngược và công nghệ in 3D.
- Nghiên cứu ảnh hưởng của thông số chế độ in 3D đến chất lượng mẫu in khi in 3D.
- Nghiên cứu thực nghiệm xác định chế độ in 3D tối ưu.
- Đánh giá kết quả

5. Phương pháp nghiên cứu

- Nghiên cứu lý thuyết: Nghiên cứu công nghệ thiết kế ngược, đặc biệt là công nghệ in 3D; thiết bị in 3D; vật liệu in 3D; ảnh hưởng của vận tốc in và độ dày lớp in đến chất lượng bề mặt mẫu in.
- Nghiên cứu thực nghiệm: Sử dụng phương pháp quy hoạch thực nghiệm trực giao toàn phần dạng 2k để nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số chế độ in (D , v) đến độ chất lượng bề mặt mẫu in 3D.

CHƯƠNG I: TỔNG QUAN VỀ CÔNG NGHỆ THIẾT KẾ NGƯỢC VÀ CÔNG NGHỆ TẠO MẪU NHANH

1.1. Công nghệ thiết kế ngược

1.1.1. Khái niệm

Trên phạm vi rộng công nghệ thiết kế ngược được định nghĩa là hoạt động bao gồm các bước phân tích để lấy thông tin về sản phẩm đã có sẵn (bao gồm thông tin về chức năng các bộ phận, đặc điểm về kết cấu hình học, vật liệu, tính công nghệ) sau đó tiến hành khôi phục lại mô hình CAD cho chi tiết hoặc phát triển thành sản phẩm mới, sử dụng CAD/ RP/ CNC để chế tạo sản phẩm. Công nghệ thiết kế ngược đã được ứng dụng trong nhiều lĩnh vực như hóa học, điện tử, xây dựng, cơ khí, y học, nghệ thuật. Ví dụ trong xây dựng, chúng ta luôn học hỏi kỹ thuật thiết kế cũng như thi công của những công trình hoàn thiện (***Successful building/brige***) của thế giới để giảm thiểu những sai sót. Giảm thời gian thiết kế và tăng thêm những ưu việt cho những công trình của mình.

Trong lĩnh vực cơ khí chế tạo, công nghệ thiết kế ngược được định nghĩa là hoạt động tạo ra sản phẩm từ các mẫu sản phẩm cho trước mà không có bản vẽ thiết kế hoặc đã bị mất hay không rõ ràng. Sản phẩm mới được tạo ra trên cơ sở khôi phục nguyên vẹn hoặc phát triển lên từ thực thể ban đầu .

1.1.2. Ưu nhược điểm của công nghệ thiết kế ngược

* ***Ưu điểm.***

- Kiểm tra chất lượng sản phẩm bằng cách so sánh mô hình CAD với sản phẩm, từ đó điều chỉnh mô hình hoặc các thông số công nghệ để tạo ra sản phẩm đạt yêu cầu.

- Mô hình CAD được sử dụng như là mô hình trung gian trong quá trình thiết kế bằng cách tạo sản phẩm bằng tay trên đất sét, thạch cao, sáp...rồi quét hình để tạo mô hình CAD. Từ mô hình CAD này người ta sẽ chỉnh sửa theo ý muốn.

- Giảm bớt thời gian chế tạo dẫn tới năng suất cao.

- Chế tạo được nguyên mẫu mà không cần bản thiết kế.

* ***Nhược điểm.***

- Cần có công nghệ hiện đại là các loại máy quét hình.
- Giá thành cao.

1.1.3. Quy trình công nghệ thiết kế ngược

Ngày nay với sự phát triển của khoa học công nghệ hiện đại, quá trình sản xuất sản phẩm ngày càng được chuyên môn hóa, việc chế tạo ra 1 loại sản phẩm được chia tách thành nhiều công đoạn riêng biệt nhưng có quan hệ mật thiết với nhau theo 1 tiêu chuẩn chung thống nhất hợp thành quy trình sản xuất. Tuy có nhiều cải tiến mới song qui trình sản xuất hiện nay nhìn chung đều được biểu hiện bằng 2 sơ đồ

Trong quy trình thiết kế thuận, xuất phát từ ý tưởng thiết kế (của người thiết kế hoặc của khách hàng mô tả sản phẩm), người thiết kế phác thảo sơ bộ sản phẩm (bản vẽ CAD). Bản vẽ phác thảo này sẽ được tính toán, phân tích, kiểm tra các thông số kỹ thuật, tính công nghệ (Dữ liệu được chuyển từ CAD sang CAE). Sau đó mô hình sẽ được tối ưu hóa đưa ra bản vẽ thiết kế (bản vẽ CAD) hoàn chỉnh. Tiếp theo qua các bước chuẩn bị công nghệ (CAPP), lập trình gia công (CAM), mô phỏng và chế tạo thử mẫu sản phẩm bằng phương pháp tạo mẫu nhanh (RP) hoặc trên các máy công cụ, máy CNC. Mẫu sản phẩm chế thử này sẽ được đem đi kiểm tra thực tế xem có thỏa mãn các yêu cầu đặt ra hay không. Nếu không đạt thì sẽ quay về chỉnh sửa lại từ bản vẽ phác thảo. Tiếp tục quá trình trên cho tới khi mẫu sản phẩm đạt yêu cầu thì mới đưa vào sản xuất thực sự.

Còn trong quy trình thiết kế ngược chúng ta làm ngược lại. Xuất phát điểm là 1 mẫu sản phẩm thực tế (**Physical part**). Mẫu sản phẩm thực này được số hóa và xử lý bằng các thiết bị và phần mềm chuyên dụng để đưa ra mô hình CAD cụ thể. Sau đó được mô hình CAD cho sản phẩm rồi thì các công đoạn tiếp theo cũng giống như chu trình sản xuất thuận trải qua các bước tính toán, phân tích, tối ưu hóa trên các phần mềm CAE/CAM, chuẩn bị công nghệ (CAPP) gia công tạo mẫu nhanh hoặc lập trình gia công trên máy CNC hay các máy công cụ khác, kiểm tra thực tế cuối cùng mới đưa vào sản cùng mới đưa vào sản xuất đại trà.

1.1.4. Quy trình mô hình hóa mẫu sản phẩm đã có sẵn theo công nghệ thiết kế ngược

Quá trình mô hình hóa mẫu sản phẩm có sẵn, tạo ra các mô hình CAD cụ thể của vật mẫu là công đoạn quan trọng và là trọng tâm của công nghệ thiết kế ngược. Quy trình mô hình cụ thể được chia làm các giai đoạn sau :

1.1.4.1. Giai đoạn số hóa sản phẩm

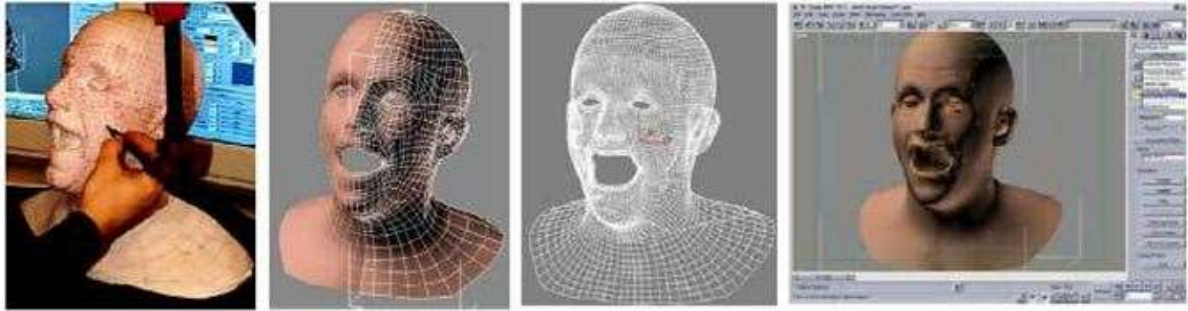
Để số hóa sản phẩm ta dùng các máy quét hình để quét hình dạng vật thể. Dựa theo cách thức quét hình người ta phân ra 2 dạng thiết bị quét hình chủ yếu là các máy quét dạng tiếp xúc (như máy đo tọa độ ***Coordinate Measuring Machine – CMM***) và các máy quét không tiếp xúc (máy quét lazer). Các máy CMM sử dụng các đầu đo để tiếp xúc với bề mặt cần đo. Một số vị trí tiếp xúc sẽ cho một điểm có tọa độ (x, y, z). Tập hợp các điểm này sẽ tạo thành các lưới điểm vẽ trên hình dáng vật thể. Còn các máy quét lazer thì sử dụng chùm tia lazer phát ra từ máy chiếu vào vật thể. Các tia này sẽ phản xạ trở lại cảm biến thu. Máy tập hợp các tia phản xạ này để dựng lên ảnh của vật thể. Hình dạng của toàn bộ vật thể được ghi lại bằng cách dịch chuyển hay quay vật thể trong chùm ánh sáng hoặc quét chùm ánh sáng ngang qua vật thể. Phương pháp này có độ chính xác kém hơn phương pháp tiếp xúc song nhanh hơn và đầy đủ hơn. Dữ liệu thu được không phải là lưới điểm mà là tập hợp vô vàn các khối ảnh điểm (đám mây điểm). Đám mây điểm này sẽ chuyển sang lưới tam giác dùng để xây dựng các bề mặt.

1.1.4.2. Giai đoạn xử lý số liệu dữ hóa

Giai đoạn này bao gồm 4 bước :

- Bước 1 : Chỉnh sửa lưới dữ liệu, đám mây điểm.
- Bước 2 : Đơn giản hóa lưới tam giác bằng cách giảm số lượng tam giác và tối ưu hóa vị trí đỉnh và cách kết nối các cạnh của mỗi tam giác trong lưới sao cho các đặc điểm hình học không thay đổi.
- Bước 3 : Chia nhỏ lưới và cắt bỏ phần thừa (đã đơn giản hóa) để tạo bề mặt trơn theo ý muốn.

Các hình sau đây mô tả công nghệ quét đầu người:



Hình 1. 1 Mô hình hóa chi tiết mặt người

a. Quét hình b. Dữ liệu sau quét c. Tối ưu hóa d. Dựng các bề mặt

1.1.4.3. Thiết kế lại trên cơ sở dữ liệu số hóa

Trên cơ sở dữ liệu số hóa đã xử lý ta dựng lại mô hình CAD cho sản phẩm dạng **Solid** hoặc dạng **Surface** bằng các phần mềm chuyên dụng (Phần mềm thiết kế ngược). Kết quả cuối cùng ta nhận được một bề mặt trơn và được chuyển vào file CAD với các định dạng: **IGES, DXF, STL**

1.1.4.4. Tạo mẫu, gia công chi tiết

Từ dữ liệu mô hình CAD, có thể áp dụng công nghệ tạo mẫu nhanh (**Rapid Prototyping**) để tạo ra mẫu cho sản phẩm. Cũng có thể tạo mẫu trên máy CNC, khi đó phải lập trình NC nhờ các phần mềm CAD/CAM chuyên nghiệp như **Cimatron, Pro/Engineer, GibCAM**, để tạo ra các đường chạy dao. Hình dưới đây minh họa quá trình gia công mặt người trên máy phay CNC :



Hình 1. 2 Phay mặt người trên máy CNC

1.1.5. Phương pháp và thiết bị số hóa trong công nghệ thiết kế ngược.

Sự khác biệt lớn nhất và chủ yếu giữa công nghệ thiết kế thuận và thiết kế ngược chính là công đoạn số hóa sản phẩm. Số hóa sản phẩm tức là lấy dữ liệu

hình học của sản phẩm ở dạng dữ liệu thô ban đầu (**Raw Geometric Data**). Đối với thiết kế thuận đó chính là ý tưởng, phác thảo ý tưởng. Còn đối với thiết kế ngược thì dữ liệu thô ban đầu được lấy từ 1 sản phẩm có sẵn. Trước đây, để đưa ra mô hình CAD cho chi tiết có sẵn theo công nghệ thiết kế ngược, người ta phải đo đạc trực tiếp bằng tay, rồi vẽ lại kết quả đo được. Công việc này đòi hỏi sự tỉ mỉ và tốn rất nhiều thời gian. Ngày nay, nhờ sự trợ giúp của máy tính việc mô hình CAD hóa 1 sản phẩm trở nên cực kỳ đơn giản, chính xác và nhanh chóng. Việc số hóa bề mặt 3D cho sản phẩm được thực hiện theo 2 phương pháp chủ yếu: Phương pháp đo tiếp xúc (phương pháp cơ học) và Phương pháp đo không tiếp xúc (phương pháp quang học).

1.1.5.1. Phương pháp đo tiếp xúc

a. Khái niệm.

Đây là phương pháp thường dùng 1 đầu đo cơ khí trượt trên bề mặt chi tiết theo lưới định trước và liên tục ghi lại tọa độ nhận được.

Công cụ chủ yếu của phương pháp này chính là các máy đo tọa độ 3 chiều (**Coordinate Measuring Machine – CMM**) là tên gọi chung của các thiết bị vạn năng có thể thực hiện việc đo các thông số hình theo phương pháp tọa độ.

Có hai máy đo tọa độ thông dụng là máy đo bằng tay (đầu đo được dẫn động bằng tay) và máy đo CNC (đầu đo được điều khiển tự động bằng chương trình số).

b. Ưu nhược điểm của phương pháp đo tiếp xúc.

*** Ưu điểm:**

- Do nguyên tắc đo từng điểm trên đối tượng nên độ chính xác cao, hoạt động của máy theo nguyên tắc hành trình nên máy có độ chính xác đến phần vạn ($0.1\ \mu\text{m}$ - $0.5\ \mu\text{m}$)
- Tính tự động hóa cao: Có thể đo tự động trong cả quá trình đo.
- Kết quả đo là các file có nhiều định dạng tiêu chuẩn như IGS, Step, Stl ... thích hợp với các phần mềm thiết kế 3D.
- Dễ xử lý kết quả đo: Kết quả đo là tập hợp các đường curve thuận lợi tạo các mặt trên các phần mềm thiết kế 3D.
- Đầu đo đa dạng phù hợp với các đối tượng đo.

*** Nhược điểm :**

- Hạn chế đo các rãnh hẹp, cạnh sắc, có kích thước nhỏ hơn bán kính đầu đo
- Tốc độ đo không cao: Chỉ từ 10 đến 1000 điểm /phút chậm hơn nhiều so với công nghệ scan laser.



Hình 1. 3 Máy đo và đầu đo dùng trong phương pháp đo tiếp xúc

Để khắc phục, người ta chế tạo đã chế tạo ra các máy đo không tiếp xúc, dùng Laser tia X, siêu âm, ảnh video.

1.1.5.2. Phương pháp đo không tiếp xúc

a. Khái niệm.

Phương pháp đo không tiếp xúc là phương pháp dùng tia laser hoặc các tia quang học khác để đo hoặc chụp ảnh bề mặt vật cần đo (quét) sau đó dữ liệu được xử lý, hoàn thiện nhờ các phần mềm xử lý ảnh chuyên nghiệp .

Thiết bị số hóa đó chính là các loại máy quét laser và máy quét ánh sáng trắng (trong đề án này em sử dụng và nghiên cứu máy quét ánh sáng trắng). Máy quét có thể đo các vật từ gần tới xa đến 35m đối với máy quét Lazer.



Hình 1. 4 Mô hình máy quét ánh sáng trắng

b. Ưu nhược điểm của phương pháp.

*** Ưu điểm:**

- Thời gian lấy mẫu nhanh, có thể lấy mẫu vật thể có kích thước lớn .
- Phương pháp này có thể lấy mẫu các vật thể làm bằng vật liệu mềm như chất dẻo, xốp, sáp ...hay các vật thể bị biến dạng mà không làm biến dạng hay phá hủy mẫu cần đo.

Nhược điểm :

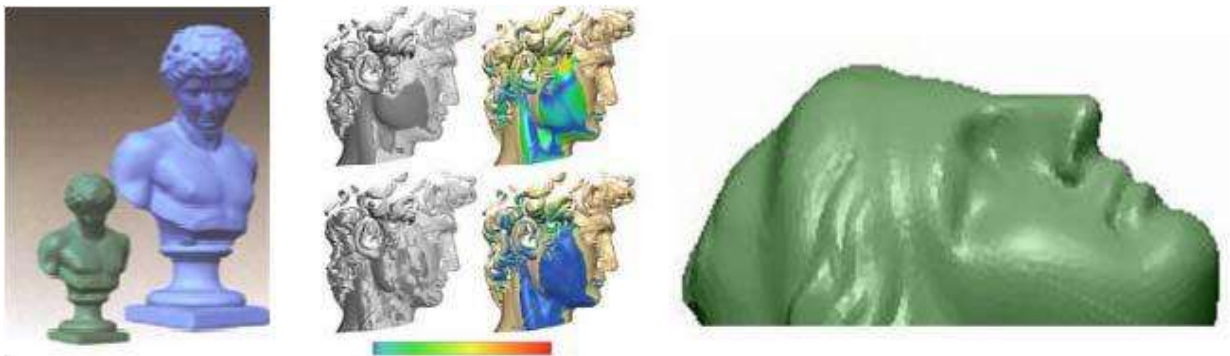
- Độ chính xác không cao bằng phương pháp đo tiếp xúc.
- Vì mỗi phương pháp đều có ưu điểm, nhược điểm riêng nên sẽ được dùng trong từng trường hợp cụ thể. Cũng có thể kết hợp cả 2 phương pháp để đạt hiệu quả cao nhất. Có thể số hóa bằng máy quét không tiếp xúc sau đó kiểm tra sai số sản phẩm bằng máy đo tọa độ tiếp xúc.

1.1.6. Các ứng dụng của công nghệ thiết kế ngược

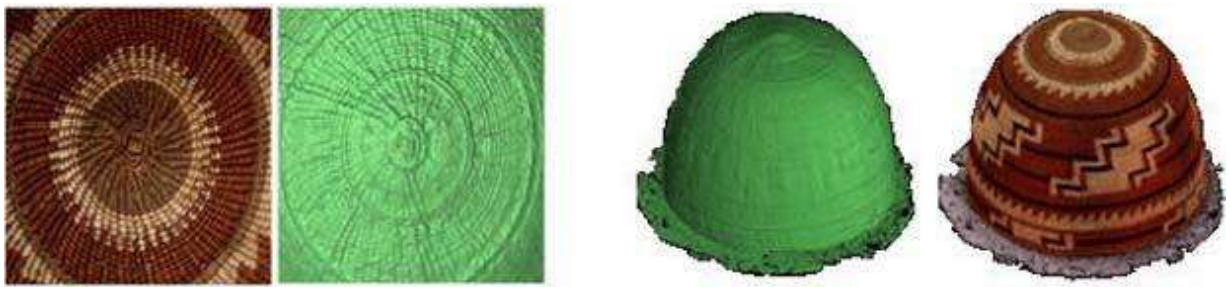
Với tính ưu việt của mình là mô hình hóa được nhiều chi tiết (kể cả các chi tiết có độ phức tạp cao) một cách nhanh chóng và chính xác đáp ứng tối đa các nhu cầu đa dạng của thị trường trong rất nhiều lĩnh vực :

* Trong lĩnh vực nghệ thuật.

Trong lĩnh vực này công nghệ thiết kế ngược được thể hiện ở việc sao chép hoặc phân tích các đặc điểm, nét vẽ của các kiệt tác hội họa, điêu khắc. Thông thường với các chi tiết yêu cầu cao về tính thẩm mỹ, sản phẩm được mô hình hóa bởi các nhà kỹ thuật (**Stylist**) trên các chất liệu như đất sét, chất dẻo, gỗ... Tuy nhiên các tác phẩm hay các kiệt tác nghệ thuật chỉ là kết quả của 1 vài nhà nghệ thuật, nhà thiết kế nào đó, trong khi đó ai cũng muốn được có, muốn được thưởng thức chúng. Nhu cầu thị trường đòi hỏi các sản phẩm phải có 1 số lượng lớn theo một vài phong cách, hay sản phẩm của một số nhà thiết kế mà tác phẩm của họ đã được khẳng định trên thị trường. Để đáp ứng nhu cầu đó cần có được mô hình CAD của sản phẩm mong muốn. Việc này chỉ có thể thực hiện được bằng công nghệ thiết kế ngược. Với các thiết bị hiện đại và sự trợ giúp của máy tính chúng ta có thể xây dựng được các dữ liệu CAD giống hệt mô hình thật do các nhà mỹ thuật tạo ra với dung sai nhỏ .



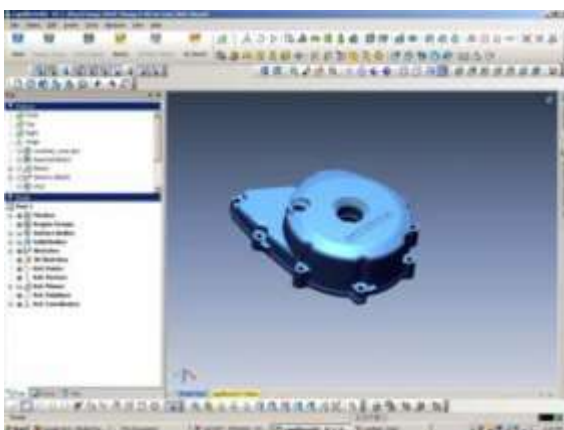
Hình 1. 5 Công nghệ RE dựng mô hình CAD cho các tác phẩm nghệ thuật



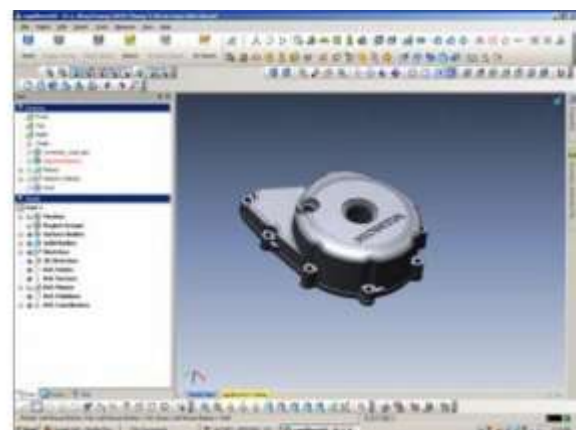
Hình 1. 6 Ứng dụng công nghệ tái tạo lấy mẫu hoa văn thủ công

* Công nghệ **RE** có vai trò rất lớn trong cải tiến mẫu mã sản phẩm. Yêu cầu về thời gian không cho phép chúng ta khi chế tạo 1 mẫu mã mới có thể bắt đầu chu trình sản xuất từ khâu phác thảo thiết kế tới tính toán, tối ưu, chế thử kiểm tra kiểm nghiệm mới đưa vào sản xuất vì quá trình trên tốn rất nhiều thời gian, công sức. Do vậy mà chúng ta phải biết kế thừa các mẫu sản phẩm đã được tối ưu, đạt các tiêu chuẩn kiểm tra trên cơ sở đó ta thiết kế lại phù hợp với yêu cầu mới để có được một mẫu mã mới. Như vậy sẽ giảm được thời gian thiết kế, rút ngắn thời gian đưa sản phẩm vào thị trường tức là giảm thời gian của chu trình sản xuất (**Lead time**). Với nhu cầu của thị trường thay đổi liên tục từng ngày như hiện nay công ty nào sớm đưa ra được mẫu mã mới sẽ chiếm được thị phần và giành được lợi nhuận cao nhất. Còn công ty nào đưa ra sản phẩm mới chậm hơn sẽ không còn cơ hội có được lợi nhuận.

Do vậy công nghệ thiết kế ngược RE thực sự sẽ là trọng tâm của công nghệ thiết kế sản phẩm của tương lai.



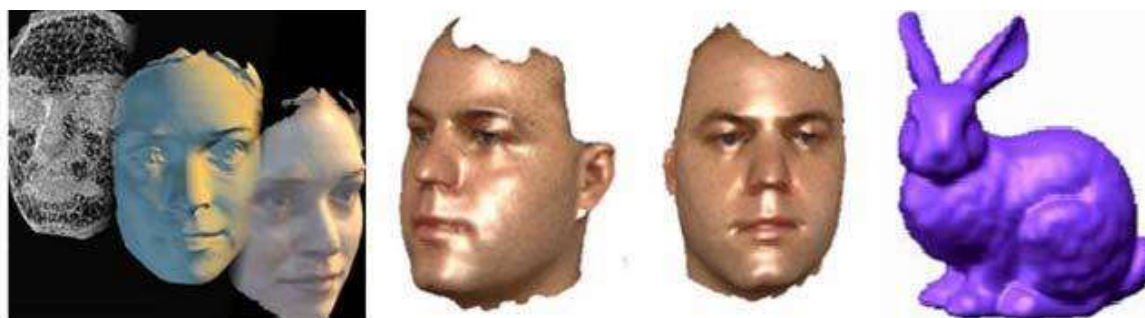
Mô hình quét mẫu sản phẩm



Mô hình CAD đưa ra

Hình 1. 7 Ứng dụng RE thiết kế lại sản phẩm cơ khí phức tạp

* Công nghệ **RE** còn được sử dụng khi cần thay thế 1 chi tiết, bộ phận mà nhà sản xuất không còn cung cấp, chúng ta phải chế tạo lại chúng mà không hề có bản vẽ thiết kế. Hay khi muốn sản xuất theo mẫu mã mới tối ưu trên thị trường mà nhà thiết kế ra chúng làm mất, làm hỏng, hoặc không muốn cung cấp tài liệu thiết kế. Đặc biệt là khi sản phẩm có hình dạng rất phức tạp, khó miêu tả như hình người, hình con vật ...



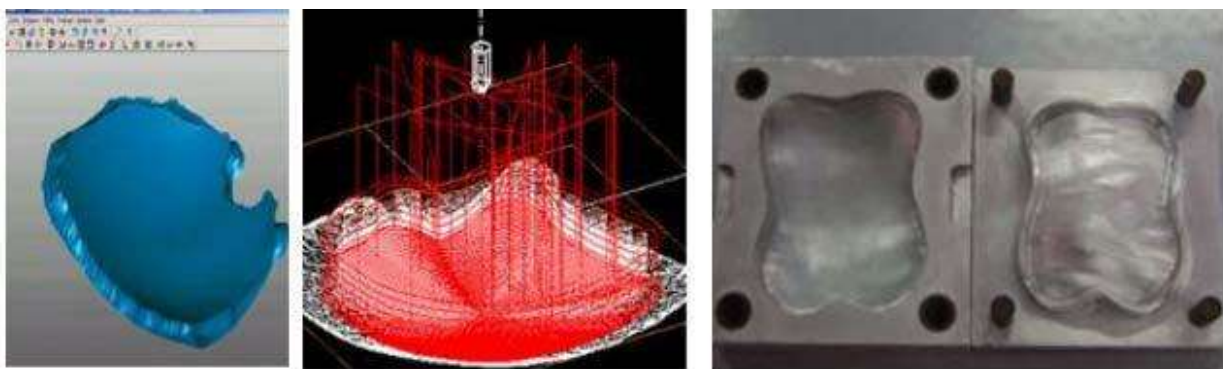
Hình 1. 8 Ứng dụng công nghệ thiết kế ngược lấy mẫu mặt người và động vật

Trong khảo cổ học, công nghệ **RE** cho phép khôi phục hình dạng của các sinh vật thời tiền sử dựa trên các hóa thạch cổ thu được trong đất, đá, hay trong băng mà không hề làm tổn hại hay phá hoại mẫu hóa thạch đó. RE còn cho phép chúng ta dựng lại các mẫu tượng cổ, khôi phục lại các công trình kiến trúc, nghệ thuật cổ đã bị tàn phá trong lịch sử.



Hình 1. 9 Ứng dụng RE trong khảo cổ học

* Trong y học: Công nghệ thiết kế ngược cho phép chúng ta có thể tạo ra các bộ phận cơ thể phù hợp cho từng bệnh nhân trong thời gian ngắn để thay thế các khuyết tật, các bộ phận hỏng, bị tổn thương, bị hư hại do tai nạn hoặc do bẩm sinh như xương, khớp, răng hàm, mảnh sọ não...



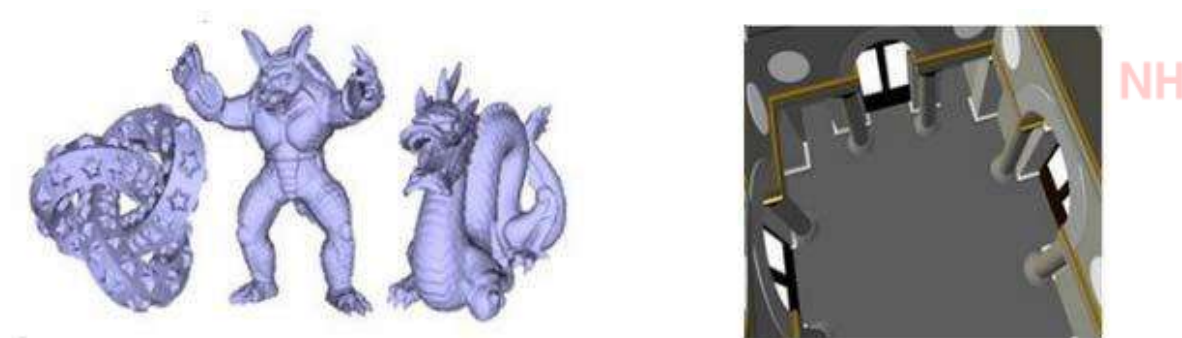
Mô hình CAD

Chương trình gia công

Khuôn bằng nhôm

Hình 1. 10 Ứng dụng RE tạo mảnh sọ não dùng trong y học

*Trong thời trang, **RE** trợ giúp đắc lực cho các nhà thiết kế tạo các trang phục các mẫu mã theo hình dáng con người.



Hình 1. 11 Sử dụng RE thiết kế nhân vật và môi trường trong Game

* Công nghệ **RE** còn được ứng dụng rộng rãi trong lĩnh vực giải trí, mô phỏng như thiết kế các nhân vật trong Game 3D, tạo các môi trường giao diện ảo trong Game phục vụ giải trí, làm phim ảnh hay mô phỏng 1 quá trình nào đó phục vụ cho 1 mục đích nào đó.

* Công nghệ **RE** còn được áp dụng trong một vài lĩnh vực khác nữa. Nói chung cứ ở đâu cần thiết kế đưa ra mô hình CAD thì ở đó có thể áp dụng công nghệ RE. Xu hướng của nền sản xuất hiện đại hướng đến tiêu chí JIT (**Just – In**

– **Time** là tiêu chí ngắn thời gian chế tạo sản phẩm). Với tiêu chí, khoảng thời gian thời gian từ lúc đặt hàng sản phẩm cho đến khi có sản phẩm thật đã rút

ngắn đi rất nhiều , có thể tính theo ngày, theo giờ thay vì tính theo quý, theo tháng hay theo tuần trước kia. Với tính ưu việt về thời gian và độ chính xác, công nghệ thiết kế ngược hứa hẹn sẽ là công nghệ thiết kế chủ đạo của nền sản xuất. [3]

1.2. Công nghệ tạo mẫu nhanh

1.2.1. Giới thiệu kỹ thuật tạo mẫu nhanh

Kỹ thuật tạo mẫu nhanh (Rapid Prototyping - RP) là kỹ thuật in hình ảnh nổi chi tiết mẫu. Là khái niệm mới mẻ trong lĩnh vực chế tạo máy hiện nay. Phương pháp này có thể tạo ra vật thể không gian 3 chiều trực tiếp từ dữ liệu mô hình CAD 3D với thời gian rất ngắn. Kỹ thuật này góp phần giảm đáng kể thời gian, chi phí trong quá trình thiết kế cơ khí. So với phương pháp gia công truyền thống kỹ thuật này có ưu điểm như sau: Không cần chuẩn bị dụng cụ cắt gọt. Không tốn đồ gá, sửa đổi nhanh, thiết kế lại chi tiết thuận lợi, có thể thiết kế những chi tiết phức tạp mà khi gia công trên những máy công cụ số khó khăn hoặc không gia công được.

Ra đời vào năm 1998, kỹ thuật tạo mẫu nhanh đang tồn tại hơn 30 công nghệ khác nhau như : **SLA, LOM, SLS,** Với nguyên tắc chung là bồi đắp vật liệu hoặc tách vật liệu theo lớp. Với mỗi phương pháp, mỗi loại vật liệu khác nhau thì độ chính xác cũng khác nhau.

*** Ưu điểm của công nghệ tạo mẫu nhanh.**

Tạo mẫu nhanh có những ưu điểm sau đây:

- Tăng khả năng quan sát trong quá trình thiết kế.
- Tạo được mẫu có độ phức tạp cao.
- Giảm chi phí, thời gian thiết kế và chế tạo.
- Cho phép giảm chu kỳ thiết kế, chế tạo sản phẩm để mang sản phẩm ra thị

trường nhanh hơn.

*** Nhược điểm của công nghệ tạo mẫu nhanh.**

- Độ bền của mẫu phụ thuộc vào vật liệu và công nghệ sử dụng.

- Độ chính xác của sản phẩm không cao vì nguyên tắc gia công đắp vật liệu theo từng lớp.

- Giá thành của sản phẩm còn cao do chi phí đầu tư và bảo trì thiết bị lớn.

1.2.2. Các bước công nghệ trong tạo mẫu nhanh

Quá trình tạo mẫu nhanh của mỗi công nghệ có những điểm khác nhau, nhưng chúng đều có các bước sau.

1.2.2.1. Mô hình hoá CAD

Đây là bước đầu tiên trong quá trình tạo mẫu nhanh, áp dụng cho tất cả các hệ thống tạo mẫu nhanh khác nhau, nó gắn liền với việc tạo mô hình 3D của vật thể thiết kế bằng máy tính.

Để tạo ra mô hình vật thể thiết kế, người thiết kế có thể xây dựng mô hình nhờ phần mềm CAD, Scanner hoặc tạo dựng vật thể theo toạ độ mà máy đo toạ độ cung cấp.

Đây là bước quan trọng nhất và quyết định đến chất lượng và độ chính xác của sản phẩm.

1.2.2.2. Xuất sang dạng file.STL

Thông thường một file CAD cần chuyển đến bộ dịch của máy tạo mẫu nhanh. Bước này đảm bảo dữ liệu CAD đưa vào máy tạo mẫu nhanh được định dạng **STL**, dạng mô hình biểu diễn mặt biên gồm nhiều mảnh tam giác rất nhỏ. Đây là định dạng tiêu chuẩn của máy tạo mẫu nhanh.

1.2.2.3. Tạo các chân đỡ sản phẩm

Bước này nhằm tạo chân đỡ và được lưu trong 1 file CAD riêng. Các nhà thiết kế CAD có thể trực tiếp thực hiện nhiệm vụ này hoặc bằng các phần mềm chuyên dụng của tạo mẫu nhanh. Việc thiết kế chân đế nhằm:

- Đảm bảo các lưới phủ không bị va vào bàn đặt chi tiết.
- Đảm bảo bất cứ biên dạng nhỏ nào của bàn đặt chi tiết cũng không ảnh hưởng đến quá trình chế tạo chi tiết.
- Cung cấp phương thức đơn giản nhất cho việc lấy sản phẩm ra khỏi tấm đế khi chế tạo xong

1.2.2.4. Cắt lát

Cả chi tiết và chân đỡ đều phải cắt lát. Chi tiết được cắt lát toán học bằng máy tính thành 1 chuỗi các mặt phẳng song song với nhau. Cũng trong bước này cần phải lựa chọn các thông số như chiều dày lớp cắt, kiểu chế tạo dự tính, chiều sâu lưu hoá, khoảng cách các bước quét cần thiết, ...

Để quá trình chế tạo được tốt thì phải định hướng chế tạo. Một quá trình định hướng chế tạo hợp lý có thể nâng cao được độ chính xác chi tiết và giảm thời gian chế tạo chi tiết do đó giảm được giá thành sản phẩm. Định hướng chế tạo phụ thuộc vào mục tiêu lựa chọn, có nhiều mục tiêu như: Chiều cao chế tạo, chất lượng bề mặt, việc chế tạo các phần nâng đỡ sản phẩm, ...

1.2.2.5. Chế tạo

Đây là giai đoạn polyme hoá nhựa hay thiêu kết vật liệu và kết quả cuối cùng một vật thể 3D được tạo ra. Tùy theo phương pháp gia công việc chế tạo được thực hiện với phần cứng và phần mềm với vật liệu thích hợp. Nhưng quá trình chế tạo vẫn tuân theo nguyên tắc gia công vật liệu theo từng lớp, lớp này kế tiếp lớp kia. Vật thể được hình thành có thể theo cách bồi đắp vật hay tách bỏ vật liệu theo lớp. Kết cấu đỡ được chế tạo trước hoặc được chế tạo cùng với chi tiết. Tùy theo phương pháp, sau mỗi lớp bàn đỡ được hạ xuống hoặc nâng lên để gia công lớp tiếp theo. Các chuyển động của bàn đỡ và dụng cụ đều được lập trình và điều khiển bằng máy tính.

1.2.2.6. Loại bỏ vật liệu thừa, hoàn thiện và làm sạch vật thể chế tạo

Sau khi kết thúc quá trình chế tạo, vật liệu thừa (bột thừa trong phương pháp thiêu kết, nhựa lỏng thừa, các lớp vật liệu đã được cắt bỏ trong phương pháp LOM ...) được lấy đi khỏi vùng gia công. Vật thể sau khi chế tạo được lấy ra khỏi vùng gia công và được làm sạch bằng các phương pháp như phun khí, rửa, sửa và làm sạch bằng phương pháp cơ khí.

1.2.2.7. Xử lý sau chế tạo

Trong một số công nghệ tạo mẫu nhanh, vật thể sau chế tạo mới chỉ được thiêu kết hay polyme hoá một phần nên chưa đạt được các chỉ tiêu cao nhất về các tính chất cơ lý hoá... nên cần phải có các bước xử lý tiếp theo tùy theo phương pháp chế tạo. Vật

thể sau khi được tạo hình có thể được thiêu kết hoàn thiện hoặc nhúng vào nhựa hay cao su để tiến hành polyme hoá hay lưu hoá để đạt yêu cầu đặt ra.

1.2.2.8. Hoàn thiện chi tiết

Tuỳ theo mục đích sử dụng, có thể dùng nhiều mức hoàn thiện chi tiết nhằm mô hình hoá quan sát và mô hình hoá khái niệm, chỉ cần loại bỏ các chân đỡ là được. Để linh hoạt và tối ưu hơn có nhiều phương pháp hoàn thiện như bằng tay, phun các hạt có kích thước nhỏ, hay biện pháp tích hợp cả hai phương pháp trên. Các chi tiết cũng có thể được đánh bóng, sơn hay phủ kim loại.

1.2.3. Các công nghệ tạo mẫu nhanh

1.2.3.1. Các công nghệ tạo mẫu nhanh sử dụng vật liệu ở dạng lỏng

***Hoá rắn polime lỏng cảm quang**

-Phương pháp này được xây dựng dựa trên hiện tượng một số loại polime lỏng bị hoá rắn dưới tác động của bức xạ điện từ: VD: như tia tử ngoại, tia laze...

-Chi tiết có thể được xây dựng bằng cách hoá rắn từng điểm hoặc hoá rắn toàn bộ lớp.

-Phương pháp này được áp dụng khá phổ biến.

***Hoá rắn vật liệu nóng chảy**

-Đây là phương pháp dựa trên việc làm chảy và hoá rắn lại vật liệu chế tạo chi tiết.

-Phương pháp này có 2 dạng chính đó là lắng đọng vật liệu nóng chảy tại các điểm và hoá rắn vật liệu cả lớp cùng lúc.

1.2.3.2. Các công nghệ tạo mẫu nhanh sử dụng vật liệu ở dạng bột

Các phương pháp này tạo chi tiết bằng cách liên kết các hạt dạng bột với nhau bằng tia Laze hay bằng vật liệu kết dính riêng. Có 3 phương pháp được dùng phổ biến hiện nay khi tạo chi tiết dạng bột là:

-Thiêu kết có chọn lọc bằng băng Laze.

-Tạo hình dạng lưới bằng kỹ thuật Laze.

-Sử dụng công nghệ in 3 chiều.

1.2.3.3. Các công nghệ tạo mẫu nhanh sử dụng vật liệu ở dạng tấm

Các phương pháp này tạo chi tiết bằng cách sử dụng tia Laze hay vật liệu kết dính liên kết các tấm mỏng với nhau. Có 3 phương pháp được dùng hiện nay khi tạo chi tiết dạng tấm:

- Gia công vật liệu dạng tấm mỏng.
- Tạo hình dùng tấm giấy.
- Polime hoá các lá vật liệu rắn.

1.2.3.4. Dữ liệu đầu vào trong công nghệ tạo mẫu nhanh

Dữ liệu đầu vào quan trọng nhất cần thiết cho công nghệ tạo mẫu nhanh là dữ liệu về biên dạng của mô hình cần chế tạo. Ngoài ra còn cần các thông tin khác như dung sai, chất lượng bề mặt, vật liệu gia công, phương pháp và thông số gia công. Dữ liệu về mô hình chủ yếu ở các dạng sau:

- Mô hình bề mặt (**Surface**).
- Mô hình khối rắn (**Solid**).
- Dữ liệu dạng điểm.
- Dữ liệu dạng toán học.
- Dữ liệu dạng hình ảnh.
- Dữ liệu lớp cắt.

1.2.4. Ứng dụng của công nghệ tạo mẫu nhanh

2.4.1. Đúc khuôn vỏ mỏng

Đúc khuôn vỏ mỏng là một quá trình đúc chính xác để chế tạo là những chi tiết có hình dáng sắc cạnh từ các hợp kim. Hiệu quả chủ yếu khi áp dụng phương pháp tạo mẫu nhanh trong công nghệ đúc khuôn vỏ mỏng là khả năng tạo ra mẫu có độ chính xác cao, chi phí thấp và thời gian để tạo mẫu ngắn

1.2.4.2. Chế tạo dụng cụ

Người ta ứng dụng công nghệ tạo mẫu nhanh trong chế tạo dụng cụ như điện cực trong gia công tia lửa điện, chế tạo các khe hở hoặc ruột của khuôn phun nhựa, ống dẫn hệ thống điều hòa nhiệt độ...

1.2.4.3. Tạo mẫu nhanh trong chế tạo sản xuất

Các vật thể chế tạo bằng tạo mẫu nhanh ngày càng được sử dụng thường xuyên để kiểm tra chức năng và có thể kiểm tra trước khi sản xuất hàng loạt. Bằng cách đó người ta có thể kịp thời phát hiện các lỗi ở giai đoạn khi mà sự thay đổi chưa tốn kém lắm.

Tạo mẫu nhanh cho một mô hình vật lý có thể sử dụng được ngay như là một mô hình CAD 3D có sẵn. Mô hình vật lý là một công cụ truyền đạt thông tin hoàn hảo. Nếu một hình ảnh bằng một ngàn lời nói thì mô hình vật lý bằng một ngàn hình ảnh.

1.2.4.4. Ứng dụng tạo mẫu nhanh trong y học

Ứng dụng phương pháp tạo mẫu nhanh trong y học là một lĩnh vực mới. Nhiều ứng dụng đã trở nên rất quan trọng do sự hội tụ của ba công nghệ riêng biệt đó là: hình ảnh nội soi, đồ họa điện toán, CAD và tạo mẫu nhanh.

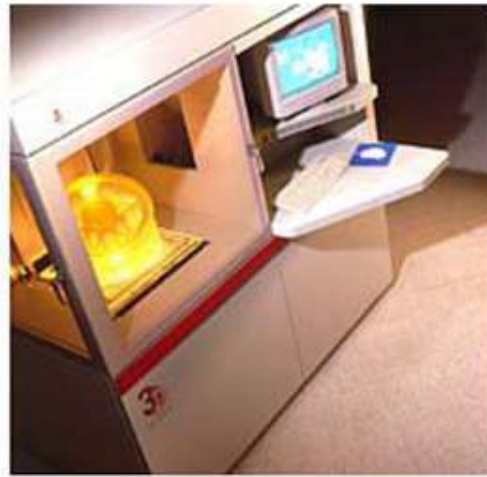
CT (*Computer-Assisted Tomography*) và MRI (*Magnetic Resonance Imaging*) cung cấp những hình ảnh để giải quyết tốt những cấu trúc bên trong của cơ thể con người. Ví dụ các cấu trúc của xương và các cơ quan. Những hình ảnh này được xử lý bằng những công cụ phần mềm thích hợp. Nó có thể chuyển kết quả cho qui trình tạo mẫu nhanh và tạo ra vật thể vật lý, mô hình này được gọi là mô hình y học.

Công nghệ này cung cấp cho bác sĩ và nhà phẫu thuật những công cụ mới. những mô hình vật lý của cấu trúc bên trong là cơ sở để hội chẩn và chuẩn bị cho những trường hợp phẫu thuật phức tạp một cách tốt hơn.

1.2.5. Một số công nghệ tạo mẫu nhanh điển hình

1.2.5.1. Phương pháp tạo mẫu nhanh SLA

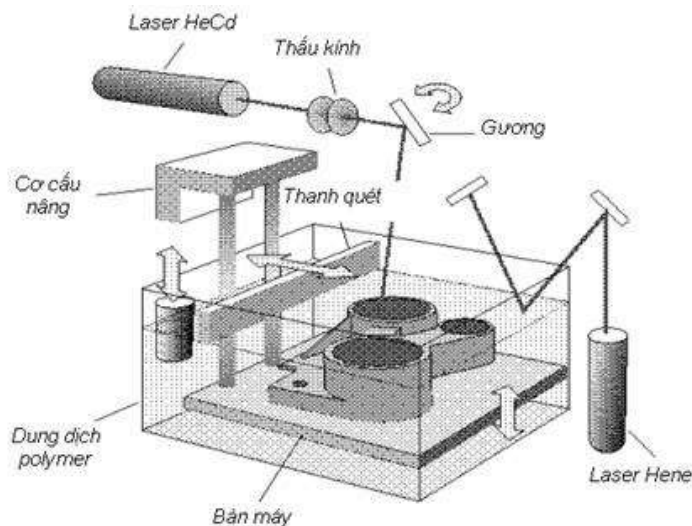
Phương pháp tạo mẫu nhanh SLA (Stereo Lithography Apparatus) được phát minh bởi Charles Hull vào năm 1984 và được phát triển bởi công ty 3D Systems – Mỹ (thành lập năm 1996 Charles W. Hull và Raymond - S – Freed).



Hình 1. 12 Máy tạo mẫu nhanh SLA

Thiết bị SLA – 190 là thiết bị đầu tiên của phương pháp tạo mẫu nhanh và sử dụng tia laser He-Cd. Thiết bị SLA sử dụng tia laser He-Cd. Thiết bị SLA – sử dụng laser ở trạng thái rắn Nd: YVO₄. Thiết bị SLA – 500 sử dụng tia laser Argon-ion rất mạnh. Tất cả các thiết bị đều sử dụng chung một loại vật liệu sản xuất là loại nhựa lỏng có khả năng đông đặc dưới tác dụng của các tia tử ngoại như: tia gama, tia cực tím, tia x, tia electron, phóng xạ của trường điện từ, như epoxy, acrylates, ...

Tên thương mại của các loại nhựa này là: Accura plastic, Accura 25 plastic, Accura 10 plastic, Accura 50 Natural plastic, Accura 50 Grey plastic, Accura Bluestone nano-composite plastic, Accura 45HC plastic... Quá trình tạo mẫu bằng phương pháp SLA được trải qua 5 giai đoạn Tạo mô hình CAD 3D Tạo file dữ liệu .STL Kiểm tra Tạo mẫu Hậu xử lý



Hình 1. 13 Nguyên lý hoạt động của phương pháp SLA

Nguyên lý làm việc

Đầu tiên người ta đặt thiết bị nâng cách bề mặt chất lỏng một khoảng bằng với độ dày của lớp vật liệu đầu tiên (tức là lớp nằm dưới cùng). Sau đó, chùm tia laser được điều khiển bằng máy tính thông qua hệ thống quét bằng quang học sẽ quét lên bề mặt theo những tiết diện của từng mặt cắt. Vật liệu lỏng khi bị tác động của chùm tia laser sẽ bị đông đặc lại hoặc là được xử lý. Sau đó, Cơ cấu nâng được dịch chuyển xuống phía dưới một đoạn đúng bằng chiều dày của một lớp và quá trình được lặp lại. Các lớp liên kết lại với nhau thành khối. Cuối cùng vật thể được lấy ra từ thùng đựng chất lỏng và chất lỏng còn lại thông thường được xử lý trong lò nung đặc biệt. Bởi vì chi tiết được tạo thành trong môi trường chất lỏng và bên trong vật thể còn chứa chất lỏng polyme, do đó cần thiết phải thêm các kết cấu trợ giúp để tăng độ cứng chi tiết và để tránh cho phần chi tiết đã được tạo thành chìm trong chất lỏng không bị nổi lên hoặc không bị trôi nổi tự do ở trong thùng.

Sau khi lấy chi tiết ra khỏi hệ thống SLA, chi tiết phải trải qua một loạt các quá trình hậu xử lý để làm sạch, gỡ bỏ cơ cấu trợ giúp...

*** Một số ưu, nhược điểm của phương pháp SLA.**

- Ưu điểm :

- + Hệ thống cứng vững và hoàn toàn tự động.
- + Độ chính xác kích thước cao ± 0.1 mm.

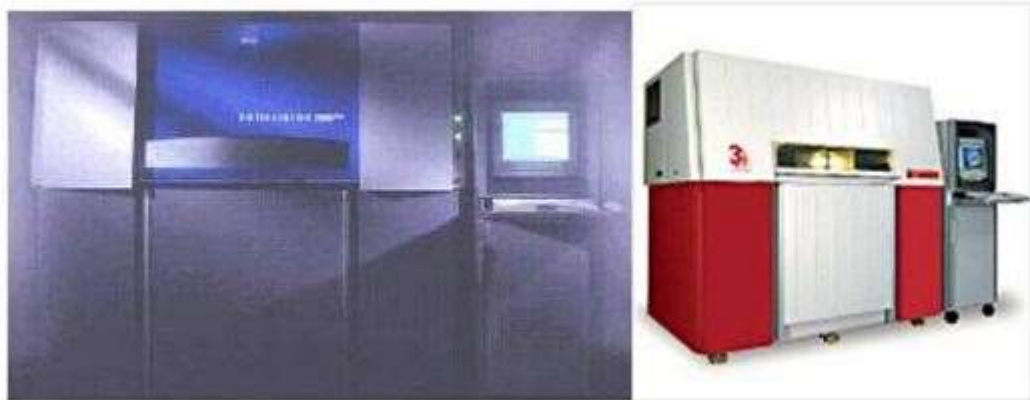
- + Độ bóng bề mặt cao.
- + Độ phân giải cao phù hợp với các chi tiết phức tạp.
- + Với sự hỗ trợ của phần mềm chuyên dụng QuickCast cho phép tạo mẫu cho quá trình đúc khuôn kim loại nhanh chóng và chính xác.

- Nhược điểm :

- + Sản phẩm bị cong vênh.
- + Giá thành hơi cao.
- + Vật liệu sử dụng bị hạn chế.
- + Phải qua giai đoạn hậu xử lý.
- + Chi phí vận hành và bảo trì cao.

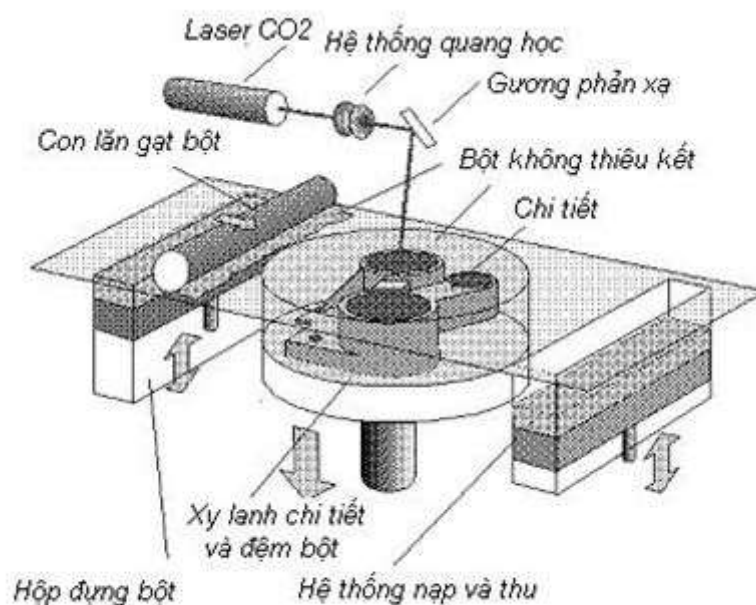
1.2.5.2. Công nghệ tạo mẫu nhanh SLS

Phương pháp SLS (Selective Laser Sintering) này được phát minh bởi Carl Deckard vào năm 1986 ở trường đại học Texas và được bằng sáng chế 1989, được đưa ra thị trường bởi tập đoàn DTM (được thành lập 1987). Thiết bị đầu tiên được thương mại hoá vào 1992. Đây là một trong những phương pháp đầu tiên và được công nhận sau SLA. Phương pháp này cũng dựa trên quá trình chế tạo từng lớp nhưng chất polymer lỏng được thay bằng vật liệu bột.



Hình 1. 14 Máy tạo mẫu nhanh SLS

Nguyên lý làm việc:



Hình 1. 15 Nguyên lý hoạt động của phương pháp SLS

Phương pháp SLS sử dụng tính chất của vật liệu bột là có thể hóa rắn dưới tác dụng của nhiệt (như nylon, elastomer, kim loại). Một lớp mỏng của bột nguyên liệu được trải trên bề mặt của xy lạnh công tác bằng một trống định mức. Sau đó, tia laser hóa rắn (kết tinh) phần bột nằm trong đường biên của mặt cắt (không thực sự làm chảy chất bột), làm cho chúng dính chặt ở những chỗ có bề mặt tiếp xúc.

Trong một số trường hợp, quá trình nung chảy hoàn toàn hạt bột vật liệu được áp dụng. Quá trình kết tinh có thể được điều khiển tương tự như quá trình polymer hoá trong phương pháp tạo hình lập thể SLA. Sau đó xy lạnh hạ xuống một khoảng cách bằng độ dày lớp kế tiếp, bột nguyên liệu được đưa vào và quá trình được lặp lại cho đến khi chi tiết được hoàn thành.

Trong quá trình chế tạo, những phần vật liệu không nằm trong đường bao mặt cắt sẽ được lấy ra sau khi hoàn thành chi tiết, và được xem như bộ phận phụ trợ để cho lớp mới được xây dựng. Điều này có thể làm giảm thời gian chế tạo chi tiết khi dùng phương pháp này. Phương pháp SLS có thể được áp dụng với nhiều loại vật liệu khác nhau: Policarbonate, PVC, ABS, nylon, sáp,... Những chi tiết được chế tạo bằng

phương pháp SLS tương đối nhám và có những lỗ hổng nhỏ trên bề mặt nên cần phải xử lý sau khi chế tạo (xử lý tinh).

Vật liệu sử dụng: Polycarbonate (PC), nylon, sáp, bột kim loại (copper polyamide, rapid steel), bột gốm (ceramic), glass filled nylon, vật liệu đàn hồi (elastomer).

*** Quá trình tạo mẫu :**

Sản phẩm được chia thành các lát cắt từ file định dạng. STL tạo một lớp bằng cách trải các lớp bột, thiêu kết bằng nguồn laser CO₂ theo các bước sau :

- Một lớp vật liệu bột nóng chảy được đặt vào buồng chứa sản phẩm.
- Lớp vật liệu bột đầu tiên được quét bằng tia laser CO₂ và đông đặc lại và vật liệu bột không được xử lý sẽ được đưa trở về thùng chứa liệu.
- Khi lớp thứ nhất đã hoàn thành thì lớp vật liệu bột thứ hai được cấp và thông qua con lăn cơ khí chuẩn bị cho quá trình quét lớp thứ hai.
- Bước hai và bước ba được lặp lại cho đến khi sản phẩm được hoàn thành.

Sau khi quá trình kết thúc, sản phẩm được lấy ra khỏi buồng xử lý và có thể qua giai đoạn hậu xử lý hoặc đánh bóng lại như phun cát tùy từng ứng dụng của sản phẩm.

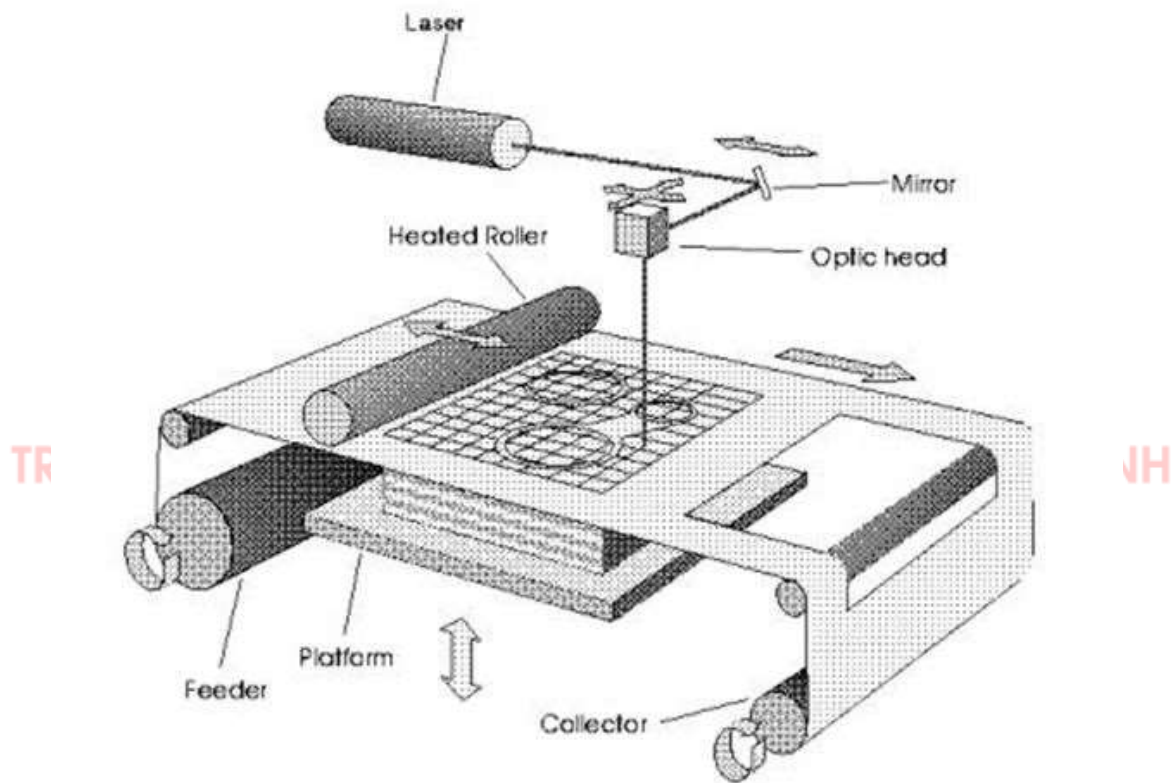
*** Một số ưu, nhược điểm của phương pháp SLS.**

- Ưu điểm :
 - + Số lượng vật liệu đưa vào quá trình cao giúp cho quá trình tạo mẫu nhanh chóng.
 - + Vật liệu đa dạng, không đắt tiền.
 - + Vật liệu an toàn.
 - + Không cần cơ cấu hỗ trợ (Support).
 - + Giảm sự bóp méo do ứng suất.
 - + Giảm các giai đoạn của quá trình hậu xử lý như chỉ cần phun cát.
 - + Không cần xử lý tinh (Post-curing).
 - + Chế tạo cùng lúc nhiều chi tiết.
- Nhược điểm :
 - + Độ bóng bề mặt thô.

- + Chi tiết ở trạng thái rỗ.
- + Lớp đầu tiên có thể đòi hỏi một đế tựa để giảm ảnh hưởng nhiệt
- + Mật độ chi tiết không đồng nhất.
- + Thay đổi vật liệu cần phải làm sạch máy kỹ càng.

1.2.5.3. Công nghệ tạo mẫu nhanh LOM

Công nghệ tạo mẫu LOM (Laminate Object Manufacturing) được phát minh bởi Michael Feygin vào năm 1985 và được tung ra thị trường bởi công ty Helisy.



Hình 1. 16 Nguyên lý hoạt động của phương pháp LOM

Nguyên lý làm việc:

Đầu tiên, thiết bị nâng ở vị trí cao nhất cách con lăn nhiệt một khoảng bằng đúng độ dày của lớp vật liệu, tiếp theo con lăn nhiệt sẽ cán lớp vật liệu này, dưới bề mặt của vật liệu có chất kết dính mà khi được ép và gia nhiệt bởi trục lăn nó sẽ giúp lớp này liên kết với lớp trước. Hệ thống quang học sẽ đưa tia laser đến để cắt vật liệu theo hình dạng hình học của mô hình đã tạo từ CAD. Vật liệu được cắt bởi tia laser theo đường viền của mặt cắt lát. Phần vật liệu dư sẽ được thu hồi bằng con lăn hồi liệu. Sau đó để hạ xuống cấu nâng hạ xuống thấp và vật liệu mới được nạp vào, cơ cấu lại

nâng lên chậm đến vị trí thấp hơn chiều cao trước đó, trục cán sẽ tạo liên kết giữa lớp thứ hai với lớp thứ bằng đúng chiều dày lớp vật liệu kế tiếp.

Chu kỳ này được lặp lại cho đến khi kết thúc. Những vật liệu dư đóng vai trò như cơ cấu phụ trợ để đỡ cho chi tiết. Vật liệu dư này cũng được cắt thành những đường ngang dọc (cross-hatch). Những đường giao tuyến song song này làm bong những vật liệu dư để nó được lấy đi dễ dàng sau khi chế tạo. Sau đó, bề mặt của chi tiết có thể được đánh bóng, xi mạ, hoặc sơn phủ theo yêu cầu. Theo nguyên tắc tất cả các vật liệu dạng tấm đều có thể sử dụng cho hệ thống LOM. Nhưng thông thường LOM sử dụng nhiều nhất là giấy, plastic, gốm và vật liệu composite

*** Một số ưu nhược điểm của phương pháp LOM**

- Ưu điểm:

- + Vật liệu đa dạng, rẻ tiền. Về nguyên tắc có thể sử dụng các loại vật liệu: giấy, chất dẻo, kim loại, composites và gốm.
- + Độ chính xác cao đạt được tốt hơn 0,25 mm. Bằng việc cắt vật liệu thay vì hóa rắn nó, hệ thống có thể bảo vệ được những đặc tính ban đầu của vật liệu.
- + Không cần thiết kết cấu hỗ trợ.
- + Tốc độ cao, nhanh hơn các phương pháp tạo lớp khác bởi vì tia laser không cắt toàn bộ diện tích mà chỉ quét theo chu vi bên ngoài. Do đó, vật liệu dày và mỏng có tốc độ cắt bằng nhau.
- + Không có sự thay đổi pha trong quá trình chế tạo chi tiết nên tránh được độ co rút của vật liệu.
- + Không độc hại và ô nhiễm môi trường.

- Nhược điểm:

- + Không thu hồi được vật liệu dư. Sự cong vênh của chi tiết thường là vấn đề chính của phương pháp LOM.
- + Lấy sản phẩm ra khỏi kết cấu hỗ trợ khó khăn.
- + Độ bóng bề mặt không cao.

1.2.5.4. Công nghệ tạo mẫu nhanh SGC

Hệ thống tạo mẫu nhanh SGC (Solid Ground Curing) được sản xuất bởi công ty Cubital Ltd. Công ty Cubital Ltd được thành lập 1987 và sản phẩm thương mại đầu tiên là 1991. Bên ngoài Israel, công ty Cubital còn có các công ty ở Mỹ và Đức. Các sản phẩm của Cubital bao gồm: Solider 4600 và Solider 5600 (tính đến năm 1997).

Nguyên lý làm việc:

Chi tiết được xây dựng từng lớp một từ vật liệu lỏng photopolymer. Vật liệu này sẽ bị động cứng dưới tác dụng của tia cực tím.

Các bước được tiến hành như sau:

- Chuẩn bị dữ liệu
- Tạo mặt nạ và tạo mẫu.

Mặt nạ này được tạo từ dữ liệu CAD nhập và in trên một nền trong suốt (thủy tinh) bằng phương pháp tĩnh điện, giống như quá trình được sử dụng trong máy photocopy và máy in laser. Một lớp màu đen sẽ phủ lên toàn bộ bề mặt trừ những tiết diện của sản phẩm thể hiện bằng những miền trong suốt phản ánh chính xác mặt cắt ở lớp hiện hành của sản phẩm. Lớp màu đen này có thể xóa được để tạo mặt nạ cho những lớp vật liệu tiếp theo. Dưới tác dụng của chùm tia tử ngoại xuyên qua tấm thủy tinh khi tấm thủy tinh di chuyển đến vị trí gần phía trên đỉnh của lớp mỏng chất lỏng polymer và chiếu vào thùng vật liệu bên dưới. Phần vật liệu bị chiếu bởi tia tử ngoại sẽ được đông đặc nhanh chóng, cùng lúc này hình ảnh trên tấm thủy tinh sẽ được xóa đi để chuẩn bị cho lớp tiếp theo. Vật liệu dư không bị đông đặc sẽ được thu hồi lại, và khoảng trống xung quanh sản phẩm đang được chế tạo sẽ được điền đầy bằng sáp (wax), có tác dụng như là bộ phận hỗ trợ trong suốt quá trình tạo sản phẩm. Để đảm bảo cho quá trình hoá rắn nhanh, sáp lỏng được đông đặc bằng một tấm làm nguội sáp. Sau đó, đầu phay sẽ làm nhẵn bề mặt sản phẩm và xác định đúng bề dày của một lớp. Bộ phận đỡ sản phẩm sẽ dịch xuống đúng bằng chiều dày của một lớp và quá trình được lặp lại cho đến khi hoàn thành sản phẩm.

***Một số ưu nhược điểm của phương pháp SGC.**

- *Ưu điểm:*

+ Hệ thống xử lý song song: quá trình tạo mẫu và xử lý tinh xảy ra song song do đó tiết kiệm thời gian từ 25-50%, giảm ứng suất bên trong và độ cong vênh sản phẩm.

- + Không cần thiết kế kết cấu hỗ trợ .
- + Đặc tính sản phẩm đồng nhất.
- + Có thể chế tạo cùng lúc nhiều sản phẩm.

- Nhược điểm:

- + Giá thành cao, thiết bị làm việc ồn.
- + Vật liệu sử dụng bị hạn chế.
- + Phải qua giai đoạn hậu xử lý.
- + Chi phí vận hành và bảo trì cao.
- + Phải lấy sắp ra khỏi sản phẩm khi chế tạo xong.

1.2.5.5. Tạo mẫu nhanh bằng công nghệ in 3 chiều

Công nghệ in 3 chiều (**3D Printing Technology**) là sản phẩm của hãng Zcporation của Mỹ đây là hãng chuyên cung cấp, sản xuất và cung cấp các thiết bị tạo mẫu nhanh với công nghệ in 3 chiều có tốc độ nhanh nhất hiện nay. Công nghệ này có thể chế tạo ra các sản phẩm mẫu nhanh, dễ dàng với chi phí thấp từ dữ liệu dạng CAD và các dạng kỹ thuật số khác.

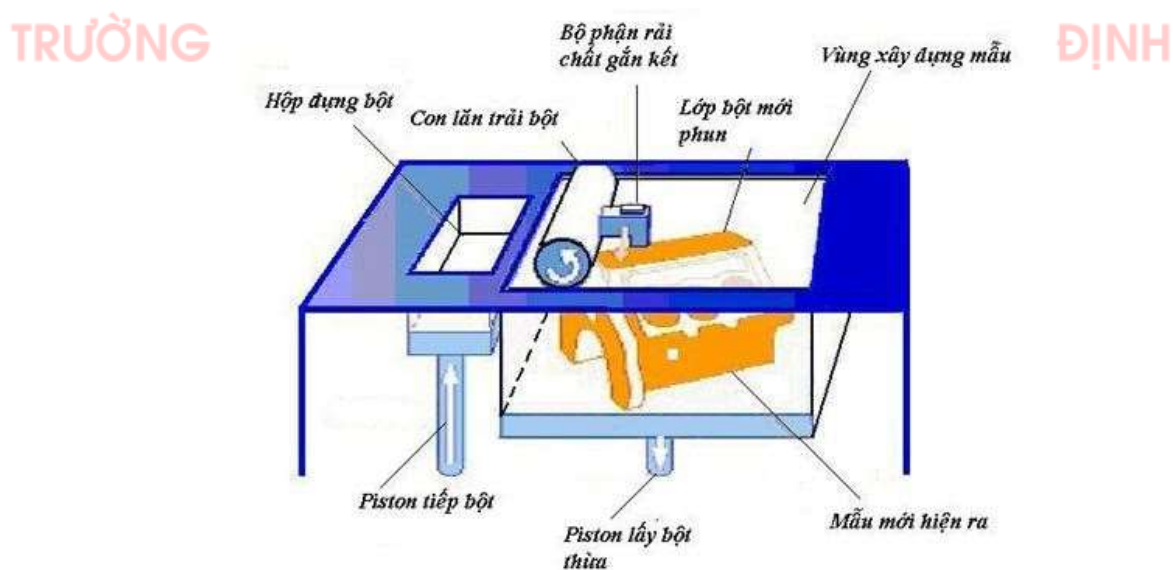
Thiết bị in 3 chiều sử dụng công nghệ kết dính vật liệu bột là một phát minh sáng chế của Ely Sachs học viện công nghệ Massachusetts (MIT) của Mỹ để chế tạo ra các chi tiết trực tiếp từ các file dữ liệu số.



Hình 1. 17 Máy in 3 chiều

*** Nguyên lý làm việc.**

Phương pháp 3D Printing hoạt động theo nguyên tắc in “phun mực”. Một loại mực keo đặc biệt được phun lên lớp bột nhựa đã được trải phẳng và hoá cứng. Như thế là chúng đã tạo ra một lớp và từng lớp dần dần tạo ra vật thể.



Hình 1.18 Cấu tạo máy in 3 chiều

Công nghệ này được thực hiện qua 5 bước :

- Đầu tiên thiết bị trải ra một lớp bột mỏng

- Sau đó đầu phun ra các chất dính kết để tạo ra mặt tiết diện ngang của chi tiết hoặc sản phẩm.

- Lúc này piston giữa hạ xuống một bậc tạo không gian cho lớp (mặt tiết diện mới) hình thành.

- Quá trình được lặp lại cho đến khi toàn bộ chi tiết hoặc sản phẩm hình thành.

- Sau khi hoàn thành chi tiết hoặc sản phẩm sẽ được bao bọc một lớp bột thừa, lúc này chỉ việc rung hoặc lắc và nói lỏng bột để lấy chi tiết hoặc sản phẩm ra. Bột thừa có thể tái sử dụng.

*** Một số ưu nhược điểm của công nghệ in 3D.**

*** Ưu điểm:**

+ Tốc độ hình thành sản phẩm rất nhanh, có thể gấp 5-10 lần so với công nghệ khác

+ Chi phí đầu tư sở hữu thấp nhất trong lĩnh vực công nghệ tạo mẫu nhanh.

+ Chi phí nguyên vật liệu và chi phí sản xuất thấp.

+ Đa dạng về vật liệu chế tạo và các ứng dụng.

+ Có thể in các vật có cấu tạo hình học phức tạp mà không cần giá đỡ.

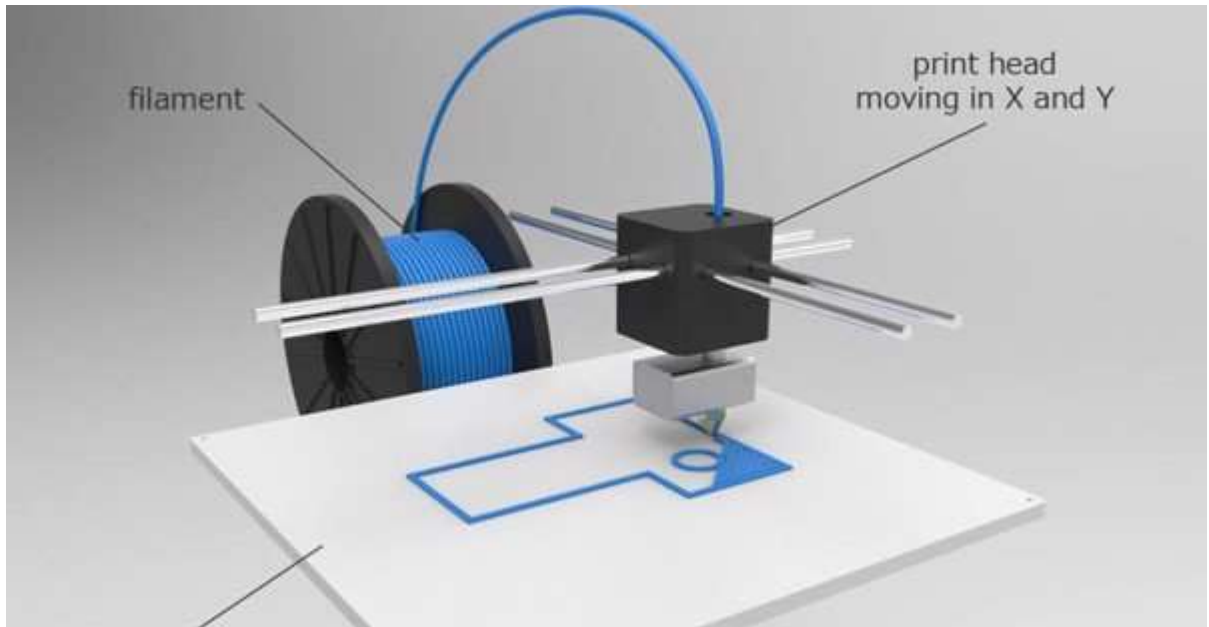
+ Dễ dàng chuẩn bị, sử dụng, và bảo dưỡng.

+ Là công nghệ tạo mẫu có đầy đủ màu sắc lên đến hàng triệu màu.

Công nghệ in 3D cho phép chế tạo các sản phẩm đa dạng từ các vật liệu khác nhau, màu sắc khác nhau, khối lượng và kích thước với các tỷ lệ khác nhau so với chi tiết hoặc sản phẩm thật.

1.2.5.6. Tạo mẫu nhanh bằng công nghệ in 3 chiều (FDM)

Công nghệ in 3D bằng phương pháp FDM (**Fused deposition modeling**) là một phương pháp sản xuất sản phẩm trong đó các lớp vật liệu được kết hợp với nhau theo một mẫu để tạo ra một vật thể hoàn chỉnh. Vật liệu sẽ được sử dụng nhiệt để làm chảy nóng chảy vật liệu, và sau đó được đùn theo mẫu lên cạnh hoặc lên trên các lần ép đùn trước đó, tạo ra từng lớp từng lớp của sản phẩm.



Hình 1. 19 Cấu tạo máy in 3D-FDM

Nói cách đơn giản là lấy một sợi nhựa và ép nó qua một đầu nóng, làm tan chảy nó và sau đó lắng đọng thành từng lớp trên bàn in. Các lớp này được hợp nhất với nhau, tích tụ trong suốt quá trình in, và cuối cùng chúng sẽ tạo thành phần hoàn thiện.

SỰ RA ĐỜI CÔNG NGHỆ FDM

Công nghệ in 3D FDM được phát triển bởi S. Scott Crump năm 1980 của hãng Stratasys. Hãng này đã bán bán chiếc máy sử dụng công nghệ FDM đầu tiên có tên “3D Modeler” năm 1992. Vật liệu sử dụng trong FDM là các loại nhựa nhiệt dẻo: ABS, polyamid, nylon, sáp.

Công nghệ FDM của Stratasys ngày nay đã phát triển tầm cỡ công nghiệp. Tuy nhiên, sự tăng trưởng mạnh mẽ của các máy in 3D từ những năm 2009 phần lớn lại không phải dựa trên công nghệ của Stratasys, mà dựa trên một phương pháp in là Fused Filament Fabrication (FFF) của công ty nổi tiếng tên là MakerBot.. Với phương pháp in FFF là nó không chỉ có khả năng in các nguyên mẫu mà còn in được các sản phẩm hoàn thiện cuối cùng đến tay người dùng. Công nghệ này có hiệu suất cao và sử dụng kỹ thuật in nhiệt dẻo rất có giá trị đối với kỹ sư cơ khí và các nhà sản xuất, chính vì vậy sản phẩm sau khi được in hoàn thiện có chất lượng rất tốt về mặt cơ học, nhiệt và hóa học.

Tốc độ in của công nghệ FDM phụ thuộc vào kích thước và độ phức tạp của một đối tượng in. Các đồ vật nhỏ có thể in tương đối nhanh chóng trong khi các bộ phận phức tạp đòi hỏi nhiều thời gian hơn. So với kỹ thuật SLA, FDM thực hiện in chậm hơn.

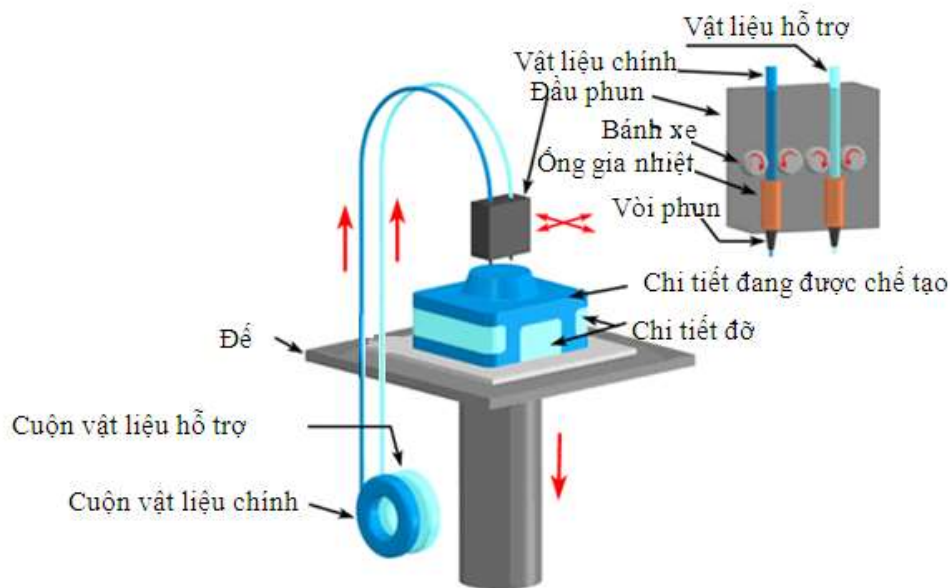
Vì giá thành máy và vật liệu in 3D rẻ, nên công nghệ này đang là công nghệ in 3D phát triển mạnh nhất, phổ biến nhất hiện nay (còn được gọi là công nghệ in 3D FFF). Điển hình là các dòng máy in 3D Reprap hoặc máy in 3D giá rẻ (Makerbot, Printerbot, Flashforge,...)



NAM ĐỊNH

Hình 1. 20 Máy in 3D-FDM

CẤU TẠO CỦA HỆ THỐNG IN 3D BẰNG PHƯƠNG PHÁP FDM



Hình 1. 21 Cấu tạo máy in 3D-FDM

Một hệ thống in 3D bằng phương pháp FDM gồm:

- **Máy tính và hệ thống phần mềm:** Máy tính đọc được file 3D dưới dạng đuôi STL. Đây là định dạng tiêu chuẩn để thể hiện các vật thể rắn của ngành công nghiệp tạo mẫu. Và phần mềm "cắt-tách" để điều chỉnh kích thước, vị trí và hướng đặt để mô hình. Sau đó phần mềm sẽ tiến hành cắt tách, chỉnh sửa các số liệu, cài đặt thông số để phần mềm xuất ra file **GCODE** để máy in có thể đọc được.

- **Cơ cấu điều khiển đầu in:** Đầu in di chuyển theo theo phương X và Y thông qua motor. Nó có trách nhiệm cho việc “vẽ” từng lớp in 2D theo đúng như thiết kế của chi tiết. Độ chính xác của một chi tiết in 3D do độ chắc chắn của đầu in và chất lượng của động cơ và cảm biến điều khiển của bàn in sẽ quyết định.

- **Đầu in và hệ thống ép đùn:** Hệ thống ép đùn chịu trách nhiệm gia nhiệt và đùn vật liệu in 3D bằng nhựa nhiệt dẻo thông qua một vòi phun để tạo thành sản phẩm. Các yếu tố như kích thước vòi phun và tốc độ đùn nhựa sẽ tác động đến độ chính xác mà máy in có thể đạt được, cũng như tốc độ in. Độ rộng của đường đùn có thể thay đổi trong khoảng từ (từ 0,193mm đến 0,965mm) và được xác định bằng kích thước của miệng đùn.

- **Bàn in và hệ thống chuyển động trục Z:** Bàn in là nơi chứa sản phẩm in, đầu in sẽ ép đùn vật liệu lên bàn in. Trong quá trình in, hệ thống chuyển động trục Z di chuyển bàn in theo từng bước, bằng nhau để tạo ra các lớp cấu thành chi tiết in. Độ

chính xác của các động cơ điều khiển hệ thống chuyển động Z kiểm soát độ phân giải và chất lượng của chi tiết theo trục Z.

- **Sợi nhựa nhiệt dẻo hay sáp:** đùn qua đầu phun nhỏ của khuôn được gia nhiệt

- **Cơ cấu cung cấp sợi nhựa**

ƯU ĐIỂM VÀ NHƯỢC ĐIỂM CỦA CÔNG NGHỆ IN 3D BẰNG PHƯƠNG PHÁP FDM

*** ƯU ĐIỂM**

- Là công nghệ in 3D giá rẻ, dễ sửa chữa và thay thế chi tiết máy móc, in với số lượng lớn và sử dụng ít nguyên liệu để tạo sản phẩm.

- Tốc độ tạo hình 3D nhanh.

- Công nghệ tạo mẫu nhanh, đơn giản, độ tin cậy cao, bảo dưỡng dễ dàng.

- Sử dụng vật liệu nhựa nhiệt dẻo không độc, không mùi, và do đó sẽ không gây ô nhiễm môi trường xung quanh.

- Thiết bị hoạt động tạo ra ít tiếng ồn.

NHƯỢC ĐIỂM

- Ít khi dùng trong lắp ghép vì độ chính xác không cao.

- Khả năng chịu lực không đồng nhất .

- Độ mịn bề mặt không cao

Ngoài ra còn có các phương pháp khác: **3DP, DSPC, BPM, DFL, SDM, MSDM, FDM**. [3]

1.3. Kết luận chương I

Nội dung chương 1, tác giả đã trình bày một số vấn đề sau:

- Giới thiệu kỹ thuật tạo mẫu nhanh
- Các bước công nghệ trong tạo mẫu nhanh
- Các công nghệ tạo mẫu nhanh
- Ứng dụng của công nghệ tạo mẫu nhanh
- Một số công nghệ tạo mẫu nhanh điển hình [3]

CHƯƠNG II : CÔNG NGHỆ IN 3D DÙNG ĐỂ TẠO MẪU NHANH TRONG PHỤC CHẾ CỔ VẬT

2.1. Giới thiệu một số mẫu máy in 3D sử dụng công nghệ FDM

2.1.1. Máy in 3D Prusa i3

Máy in 3D Prusa i3 là một phần của dự án RepRap và là máy in 3D được sử dụng nhiều nhất trên thế giới. Prusa i3 được thiết kế bởi Josef Průša vào năm 2012 với Prusa i3 MK2 được phát hành vào năm 2016 và MK2S được phát hành vào năm 2017.

Phiên bản mới nhất, được gọi là Prusa i3 MK3 được phát hành vào tháng 9 năm 2017 với những cải tiến đáng kể so với các mẫu trước đó.

Đặc điểm của máy in 3D Prusa i3 MK3 là chi phí chế tạo thấp, bộ phận thân khung máy dễ gia công vì thế nó đã trở nên phổ biến trong giáo dục, và những người đam mê.

TRƯỚC



ĐINH

Hình 2. 1: Máy in 3D Prusa i3 MK3

Với những đặc điểm trên trên, mẫu máy này được tác giả lựa chọn để thực nghiệm nhằm tìm ra sự ảnh hưởng của các thông số chế độ in đến chất lượng mẫu bề mặt mẫu in.

2.1.2. Máy in 3D Delta Kossel

Được phát triển bởi Johann tại Seattle, Mỹ vào năm 2012. Dòng máy này sử dụng cơ cấu delta, công nghệ in FDM, loại nhựa thường được sử dụng là nhựa ABS, PLA.



Hình 2. 2: Máy in 3D Delta Kossel

Loại máy	Delta
Tốc độ in	320 mm/s
Độ phân giải động cơ	100 step/mm
Không gian in / Đường kính in	170 mm, chiều cao 240 mm
Độ phân giải mỗi lớp in	0.2 mm
Giá	600USD

Bảng 2. 1: Thông số máy in 3D Delta Kossel

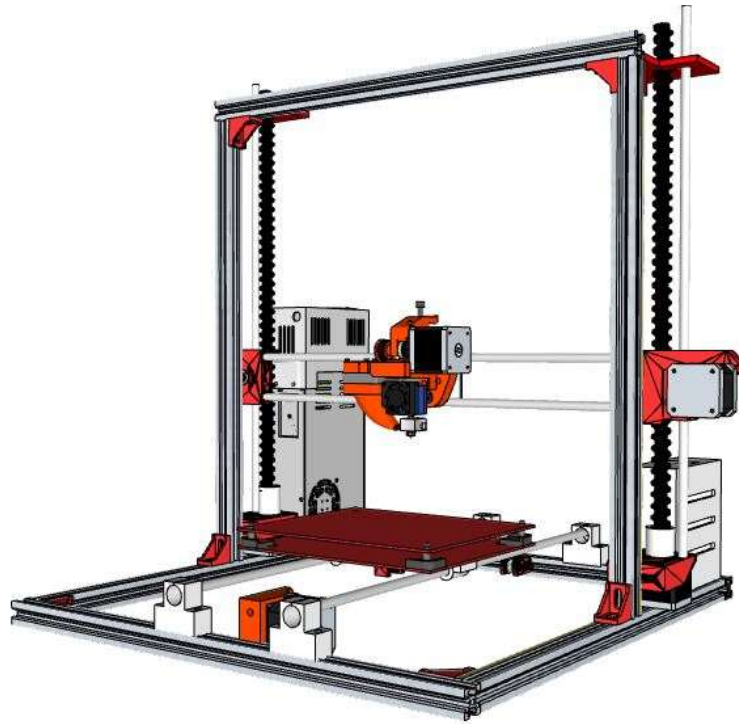
Ưu điểm của mẫu máy này là máy hoạt động êm, ít rung, tốc độ và độ chính xác cao có thể in được vật thể có chiều cao lớn, cơ cấu có độ cứng vững cao. Bên cạnh

những ưu điểm đó là những nhược điểm như khổ máy lớn, cồng kềnh, kết cấu phức tạp, khó căn chỉnh, giá thành đắt hơn so với dòng máy prusa.

2.2. Chi tiết về máy in Prusa i3

2.2.1. Tổng quan chung

Máy in 3D Original Prusa i3 MK2S của hãng PRUSAPRINTERS có kết cấu đơn giản, dễ lắp ráp, chi phí rẻ, độ cứng vững tương đối cao. Phần khung máy được thay đổi, sử dụng nhôm định hình 20x20, phần board mạch sử dụng mạch board Arduino Mega 2560 do board mạch dễ sử dụng ngay cả với những người không chuyên, ngôn ngữ lập trình dễ hiểu, phần cứng được kết nối dễ dàng.



Hình 2. 3: Bản vẽ mô phỏng máy in 3D Prusa i3

Thông số kỹ thuật của máy như sau:

Thông số	Giá trị
Kích thước máy	456x460x460 mm
Không gian làm việc đầu phun	200x200x200 mm
Không gian in tối ưu	190x190x190 mm

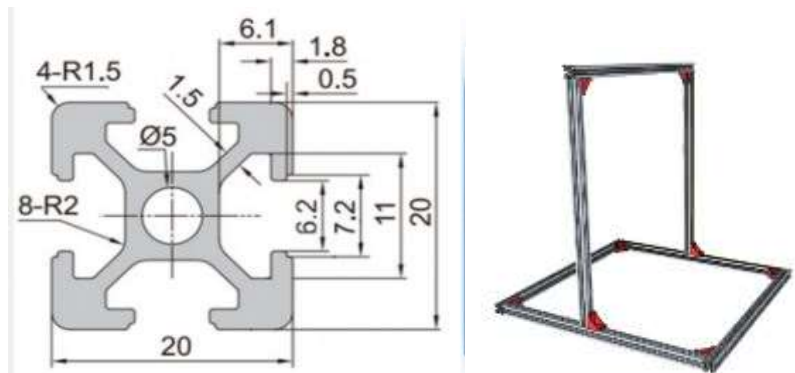
Tốc độ in tối đa	150 mm/s
Tốc độ in tối ưu	20 ~ 80 mm/s
Độ phân giải của một lớp in	0.05 ~ 0.4 mm
Dung sai cho phép	± 0.1 mm
Nguồn điện đầu vào	150- 220V

Bảng 2. 2: Thông số máy in 3D sử dụng phục chế cổ vật

2.2.2. Chi tiết kết cấu máy in Prusa i3

2.2.2.1 Hệ thống cơ khí.

Đối với kết cấu khung máy dành cho máy in 3D, được thiết kế khung máy bằng nhôm định hình dễ tháo lắp và sửa chữa trong quá trình lắp máy. Kích thước nhôm định hình sử dụng là 20x20 để khung máy nhỏ gọn. Các thanh nhôm được nối với nhau bằng ke góc nhôm và bu lông lục giác.



Hình 2. 4: Khung máy in 3D

Với kết cấu như thế, bàn in sẽ dịch chuyển theo phương Y, đầu phun sẽ dịch chuyển theo phương XZ. Hai trục XY sử dụng bộ truyền đai, trục Z sử dụng bộ truyền vít me – đai ốc. Các chi tiết khác như gối đỡ, giá gắn động cơ bước, giá cố định trục XY...được in 3D bằng chất liệu nhựa PLA.[1]

2.2.2.2 Hệ thống điện

Đối với máy in 3D do thời gian hoạt động liên tục rất dài có thể tới hàng trăm giờ nên nguồn cấp phải đảm luôn ổn định điện áp và dòng điện. Nguồn điện được sử dụng là nguồn tổ ong 30A-12V.

Board điều khiển sử dụng là board Arduino Mega 2560. Board kết nối là board mạch trung gian nhằm kết nối vi điều khiển với driver và các thiết bị phần cứng khác. Sử dụng board RAMPS là board mạch được sử dụng khá nhiều trong các dự án in 3D.

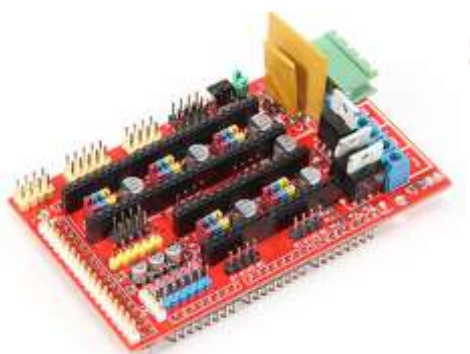
Driver là một mạch phân phối xung cho động cơ, làm nhiệm vụ cấp điện cho động cơ bước hoạt động. Driver được sử dụng cho máy là A4988.

Công tắc hành trình là thiết bị phản hồi nhằm giới hạn hành trình chuyển động của máy.

Cảm biến nhiệt cho phép biết được giá trị nhiệt độ của đầu phun nhựa, bàn nhiệt, từ đó, quản lý và điều khiển được giá trị nhiệt độ này trước cũng như trong quá trình in.

Điện trở gia nhiệt có tác dụng đốt nóng gia nhiệt cho cục nóng giúp cho nhựa nóng chảy.

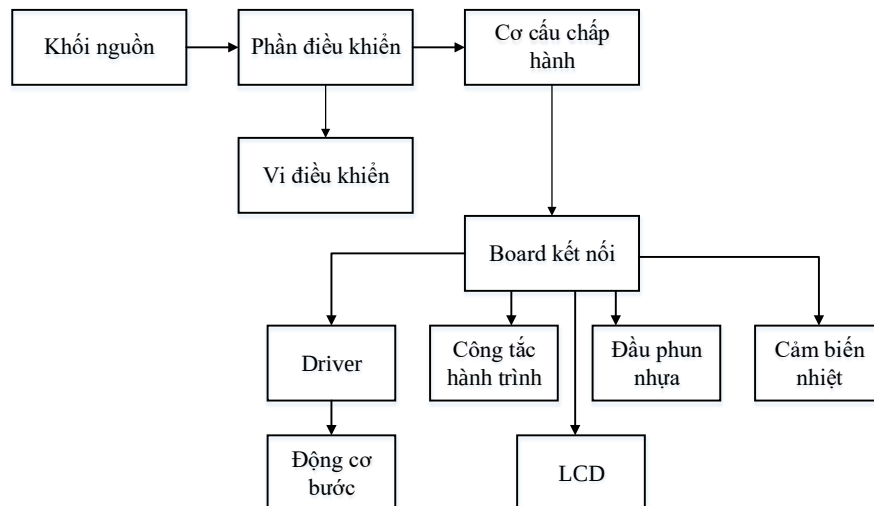
Màn hình LCD có chức năng hiển thị tọa độ, các thông số và trực tiếp in ấn mà không cần phải thông qua kết nối với máy tính. Ở đây ta dùng module LCD 2004.



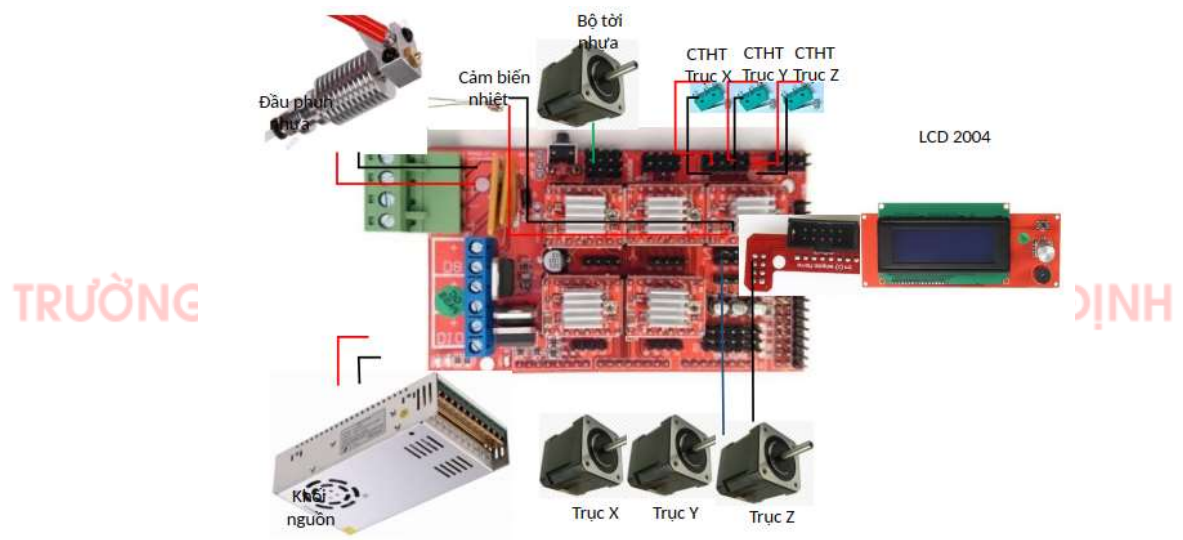
Hình 2. 5: Board mạch RAMPS



Hình 2. 6: Board mạch Arduino Mega 2560



Hình 2. 7: Sơ đồ khối hệ thống điện máy in 3D



Hình 2. 8: Sơ đồ kết nối tổng quát máy in 3D



Hình 2. 9: Một số sản phẩm in bằng máy in Prusa i3

2.3. Các yếu tố ảnh hưởng đến chất lượng mẫu in 3D theo phương pháp FDM

Công nghệ khi in 3D gồm rất nhiều các thông số như: số nét in bên thành vật thể (Perimeters), số lớp in bao phủ ở trên cùng và dưới cùng(Solid layers Top/Bottom), độ đặc rỗng của vật thể (Fill density), cấu trúc nhằm nâng đỡ vật thể (Support material), tốc độ in thành trong ngoài của vật thể(Perimeters), tốc độ khi in phần lấp đầy bên trong của vật in (Infill).....

Các thông số cần được nghiên cứu và tối ưu hóa: độ dày lớp in (Layers height), tốc độ in thành trong ngoài của vật thể(Perimeters), tốc độ khi in phần lấp đầy bên trong của vật in (Infill), tốc độ lấp đầy mặt in khi cần làm đặc(Solid infill), Tốc độ điền đầy mặt trên của vật (Top solid infill), tốc độ khi lấp đầy vật liệu trong những khe hẹp(Gap fill)...

2.4. Kết luận

Máy in 3D theo công nghệ FDM với mục đích phục vụ cho công tác nghiên cứu, in thử nghiệm. Với đặc điểm chi phí chế tạo rẻ hơn các dòng máy thương mại, độ cứng vững tương đối cao, ngôn ngữ lập trình mã nguồn mở dễ dàng tiếp cận mọi đối tượng.

CHƯƠNG III: NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM NÂNG CAO CHẤT LƯỢNG BỀ MẶT SẢN PHẨM IN 3D ỨNG DỤNG CHO PHỤC CHẾ CỔ VẬT

3.1. Mục tiêu nghiên cứu thực nghiệm

Nghiên cứu thực nghiệm là phân tích và lựa chọn các thông số kỹ thuật của máy in 3D – đối tượng được nghiên cứu. Trong thực tế rất nhiều các thông số công nghệ của máy in 3D có ảnh hưởng đến chất lượng và bề mặt mẫu in. Tuy nhiên, cần thiết lựa chọn các thông số chính ảnh hưởng đến kết quả điều tra, các thông số khác được coi là không đổi.

Nghiên cứu thực nghiệm nhằm so sánh, đánh giá ảnh hưởng của các thông số đến chất lượng bề mặt mẫu in 3D. Từ đó so sánh kết quả thực nghiệm với tính toán lý thuyết nhằm tối ưu hóa một vài thông số công nghệ khi in 3D.

Công nghệ khi in 3D gồm rất nhiều các thông số như: số nét in bên thành vật thể (Perimeters), số lớp in bao phủ ở trên cùng và dưới cùng (Solid layers Top/Bottom), độ đặc rỗng của vật thể (Fill density), cấu trúc nhằm nâng đỡ vật thể (Support material), tốc độ in thành trong ngoài của vật thể (Perimeters), tốc độ khi in phần lấp đầy bên trong của vật in (Infill).....

Các thông số cần được nghiên cứu và tối ưu hóa: độ dày lớp in (Layers height), tốc độ in thành trong ngoài của vật thể (Perimeters), tốc độ khi in phần lấp đầy bên trong của vật in (Infill), tốc độ lấp đầy mặt in khi cần làm đặc (Solid infill), Tốc độ điền đầy mặt trên của vật (Top solid infill), tốc độ khi lấp đầy vật liệu trong những khe hẹp (Gap fill)...

3.2. Phạm vi nghiên cứu thực nghiệm

Tác giả nghiên cứu ảnh hưởng của thông số chế độ in 3D đến chất lượng bề mặt mẫu in phức chế cổ vật: cụ thể là nghiên cứu ảnh hưởng của độ dày lớp in (Layers height), tốc độ in thành trong ngoài của vật thể (Perimeters).

- Máy in 3D Prusa i3
- Các thông số khác của máy đặt mặc định.

3.3. Tổng quan cơ bản về quy hoạch thực nghiệm [5]; [6]

3.3.1. Kế hoạch thực nghiệm

Kế hoạch thực nghiệm bao gồm các điểm thí nghiệm, còn gọi là các điểm của kế hoạch. Đó là miền không gian chứa các điểm thí nghiệm của các yếu tố đầu vào Z. Tại điểm thứ i của kế hoạch, bộ kết hợp các giá trị Z_{ji} bao gồm giá trị cụ thể của k yếu tố đầu vào:

$$Z_{ji} = [Z_{1i}, Z_{2i}, \dots, Z_{ki}]$$

Tập hợp chung các vector Z_{ji} ($i = 1, 2, \dots, n$). n là số lượng thí nghiệm của kế hoạch, phụ thuộc vào loại mô hình, số yếu tố đầu vào và loại kế hoạch thực nghiệm.

3.3.2. Các mức giá trị và khoảng biến thiên của yếu tố đầu vào

3.3.2.1. Số mức của yếu tố trong quy hoạch

Các giá trị cụ thể của yếu tố đầu vào Z được ấn định tại các điểm kế hoạch thực nghiệm gọi là các mức của yếu tố. Mức của các yếu tố không giống nhau và số mức của các yếu tố trong kế hoạch thực nghiệm cũng khác nhau. Số mức của yếu tố trong kế hoạch phổ biến như sau:

- Kế hoạch 2 mức
- Kế hoạch 3 mức

Việc lựa chọn số mức của yếu tố trong kế hoạch thực nghiệm rất quan trọng, có liên quan trực tiếp đến số lượng thí nghiệm và điều này càng rõ khi số lượng yếu tố tăng lên.

Ví dụ: đối với mô hình đa thức bậc k yếu tố đầu vào, số lượng thí nghiệm trong trường hợp kế hoạch toàn phần là:

+ Kế hoạch 2 mức: $N = 2^k$;

+ Kế hoạch 3 mức: $N = 3^k$ trong đó: k - là số yếu tố đầu vào (số biến vào).

Theo biểu thức trên số lượng thí nghiệm theo kế hoạch 3 mức sẽ tăng lên rất nhiều so với kế hoạch thực nghiệm 2 mức, điều này càng thể hiện rõ khi số lượng yếu tố đầu vào tăng lên. Do vậy, thức tế ứng dụng phổ biến kế hoạch 2 mức có bổ sung một số điểm thí nghiệm đặc trưng và những vấn đề giới thiệu tiếp theo trong tài liệu này sẽ lấy ví dụ về kế hoạch 2 mức (hai mức tối ưu).

3.3.2.2. Các mức giá trị và khoảng biến thiên của yếu tố đầu vào trong kế hoạch 2 mức

Khái niệm mức của yếu tố đầu vào được dùng để miêu tả các điểm đặc trưng trong miền kế hoạch thực nghiệm. Trong kế hoạch 2 mức yếu tố đầu vào gồm có: mức trên, mức dưới, ngoài ra còn bổ sung mức cơ sở, các mức “sao” (điểm sao).

Thông thường kế hoạch thực nghiệm bao gồm các điểm thí nghiệm, còn gọi là các điểm của kế hoạch. Đó là một bộ (còn gọi là phương án) kết hợp các giá trị cụ thể của các yếu tố đầu vào Z . Khi đó tên gọi các mức của yếu tố như sau:

- *Mức trên:* $Z_{j \max}$ – là giá trị thực mức trên của yếu tố đầu vào thứ j ;

- *Mức dưới:* $Z_{j \min}$ – là giá trị thực mức dưới của yếu tố đầu vào thứ j ;

- *Mức cơ sở* Z_j^0 của các yếu tố đầu vào là điểm thí nghiệm rất quan trọng. Vector yếu tố đầu vào tại mức cơ sở $Z^0 = [Z_1^0, Z_2^0, \dots, Z_k^0]$ chỉ ra trong không gian yếu tố một điểm đặc biệt quan trọng gọi là tâm kế hoạch thực nghiệm, mà vùng xung quanh nó phân bố toàn bộ các điểm của kế hoạch thực nghiệm.

Các tọa độ Z_j^0 (giá trị thực của yếu tố tại mức cơ sở) của vector Z^0 được xác định theo công thức:

$$Z_j^0 = \frac{Z_{j \min} + Z_{j \max}}{2} \quad (3.1)$$

- *Khoảng biến thiên* (hay bước thay đổi, điều chỉnh) ΔZ_j của các yếu tố đầu vào so với mức cơ sở được xác định theo công thức:

$$\Delta Z_j = \frac{Z_{j \max} - Z_{j \min}}{2} \quad (3.2)$$

- *Các biến mã hóa:*

Để tiện cho việc xác định các hệ số của phương trình hồi quy thực nghiệm và các bước xử lý số liệu khác, trong các kế hoạch thực nghiệm quy định chỉ ghi các mức yếu tố theo giá trị đã được mã hóa.

Giá trị mã hóa của các yếu tố là đại lượng không thứ nguyên, quy đổi từ các mức giá trị thực (biến thực) của các yếu tố đầu vào theo quan hệ:

$$x_j = \frac{Z_j - Z_j^0}{\Delta Z_j} ; \quad j = 1, 2, \dots, k \quad (3.3)$$

Trong đó : Z_j – là giá trị thực của yếu tố đầu vào thứ j ;

x_j – là giá trị mã hóa của yếu tố đầu vào thứ j .

Như vậy, theo tỷ lệ quy chuẩn, mức cơ sở của biến mã hóa đầu vào $x_j^0 = 0$, tức là gốc tọa độ của các biến x_j trùng với tâm thực nghiệm, còn bước biến thiên của các biến mã hóa x_j ứng với các bước $\Delta x_j = 1$.

$$\Delta x_j = \frac{Z_{j \max} - Z_{j \min}}{2\Delta Z_j} = 1 \quad (3.4)$$

3.3.3. Các bước của bài toán quy hoạch thực nghiệm và tìm cực trị

3.3.3.1. Chọn yếu tố đầu vào và hàm mục tiêu

Giai đoạn này bao gồm chọn các yếu tố ảnh hưởng đầu vào thuộc nhóm Z và lựa chọn các hàm mục tiêu y_i .

3.3.3.2. Lập kế hoạch thực nghiệm

Yêu cầu cơ bản của giai đoạn này là chọn được dạng kế hoạch thực nghiệm phù hợp với điều kiện thí nghiệm và đặc điểm của hàm mục tiêu.

3.3.3.3. Tiến hành thí nghiệm nhận thông tin

Tiến hành thí nghiệm theo kế hoạch thực nghiệm đã được lập ở trên, đồng thời xử lý nhanh các thông tin trong quá trình thí nghiệm.

3.3.3.4. Xây dựng và kiểm tra mô hình thực nghiệm

Sử dụng phương pháp bình phương nhỏ nhất và các nội dung phân tích hồi quy, phân tích phương sai để xác định các hệ số của phương trình hồi quy (dạng đa thức).

Tùy theo mô hình thực nghiệm có dạng (dạng đa thức bậc nhất) tuyến tính:

$$y_1 = a_0 + a_1 \cdot x_1 + a_2 \cdot x_2 + \dots + a_n \cdot x_n = \sum_{k=0}^n a_k \cdot x_k \quad (3.5)$$

hay đa thức bậc hai (phi tuyến):

$$y_i = b_0 + b_{11}x_1 + \dots + b_{ii}x_i + b_{12}x_1x_2 + \dots + b_{11}x_1^2 + \dots + b_{ii}x_i^2 \quad (3.6)$$

Các hệ số phương trình hồi quy $B = [b_0, b_1, b_2, \dots, b_k, b_{11}, b_{12}, \dots, b_{jj}]$ được xác định theo công thức tổng quát dưới dạng ma trận:

$$B = [X^*X]^{-1} X^*Y \quad (3.7)$$

Trong đó: X – ma trận kế hoạch;

X^* – ma trận chuyển vị của ma trận kế hoạch;

X^*X – ma trận thông tin;

$[X^*X]^{-1}$ – ma trận nghịch đảo của ma trận thông tin $[X^*X]$ (hay còn gọi là ma trận tương quan);

Y - ma trận cột (kết quả).

Để tồn tại ma trận nghịch đảo thì ma trận thông tin (X^*X) phải không suy biến. Muốn thỏa mãn điều kiện đó các biến $x_1, x_2, \dots, x_k$ cần độc lập tuyến tính.

Ý nghĩa của các hệ số phương trình hồi quy thường được kiểm tra theo tiêu chuẩn Student, còn sự tương thích (phù hợp) của phương trình hồi quy thực nghiệm được

kiểm tra theo tiêu chuẩn thống kê Fisher và có thể tham khảo thêm hệ số tương quan F cho thấy mức độ phù hợp của mô hình.

3.4. Quy hoạch thực nghiệm xác định thông số chế độ in 3D

3.4.1. Lựa chọn thông số nghiên cứu

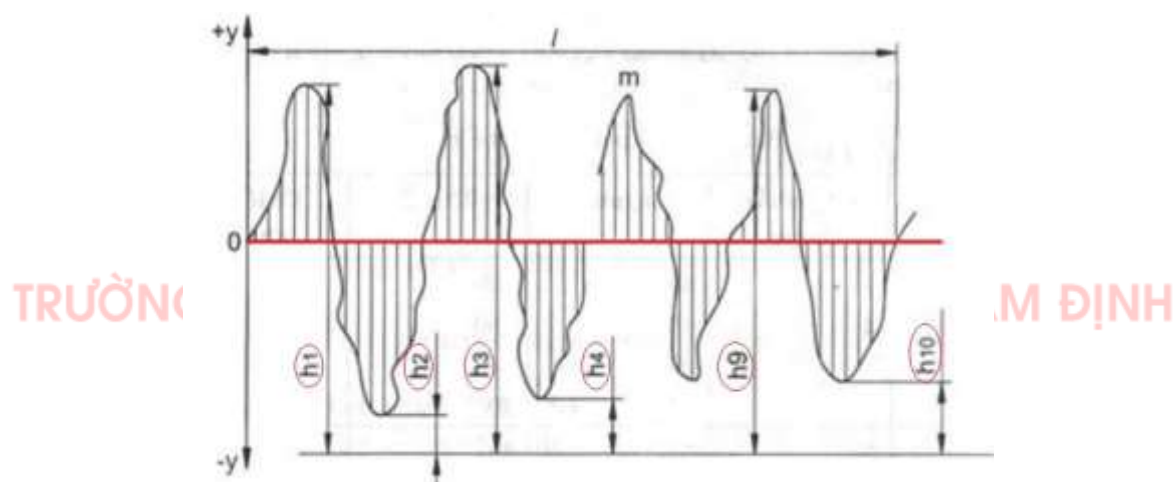
Ở giai đoạn này, ta tiến hành xác định các yếu tố ảnh hưởng và các chỉ tiêu đánh giá đối tượng. Yêu cầu cơ bản đối với các biến được lựa chọn là các yếu tố vào (yếu tố ảnh hưởng) của nghiên cứu thực nghiệm: là các biến độc lập điều chỉnh được, là các yếu tố định lượng, có hiệu ứng ảnh hưởng rõ nét đến hàm mục tiêu (chỉ tiêu) cần đánh giá.

Có rất nhiều yếu tố ảnh hưởng đến chất lượng bề mặt mẫu in 3D. Có thể chia chúng thành các nhóm: yếu tố vật liệu (nhựa in PLA, ABS...); yếu tố thông số chế độ in; yếu tố con người (công tác chuẩn bị, file in...); yếu tố máy móc thiết bị (độ chính xác máy in 3D, thiết bị giảm rung, căn chỉnh bàn in) ...;

Trong phạm vi của luận văn này, tác giả tập trung nghiên cứu ảnh hưởng của yếu tố thông số chế độ in đến chất lượng bề mặt mẫu in 3D với máy in 3D Prusa i3. Các yếu tố này bao gồm: số nét in bên thành vật thể (Perimeters), số lớp in bao phủ ở trên cùng và dưới cùng (Solid layers Top/Bottom), độ đặc rỗng của vật thể (Fill density), cấu trúc nhằm nâng đỡ vật thể (Support material), tốc độ in thành trong ngoài của vật thể (Perimeters), tốc độ khi in phần lấp đầy bên trong của vật in (Infill)..... Các thông số cần được nghiên cứu và tối ưu hóa: độ dày lớp in (Layers height), tốc độ in thành trong ngoài của vật thể (Perimeters). Để loại bớt các yếu tố không cần thiết, nhằm đảm bảo tính khả thi và hiệu quả của thực nghiệm, tác giả chọn các yếu tố ảnh hưởng để nghiên cứu bao gồm **độ dày lớp in, tốc độ in thành trong ngoài của vật thể**.

Đây là các yếu tố thuộc nhóm Z (kiểm tra được, điều khiển được). Bên cạnh đó, cần lựa chọn chỉ tiêu (mục tiêu) đánh giá đối tượng, sao cho các chỉ tiêu này vừa đáp ứng các yêu cầu của quy hoạch thực nghiệm, vừa đại diện cho các điều kiện tối ưu của đối tượng nghiên cứu. Để đánh giá được chất lượng của sản phẩm in 3D, bằng việc tham khảo các tài liệu trước đó cùng với việc in thử nghiệm trong thực tế, tác giả lựa chọn thông số đánh giá là độ nhám bề mặt của sản phẩm khi in 3D.

Độ nhám, hay độ nhẵn bóng bề mặt thường được đánh giá qua 2 chỉ tiêu sau: Sai lệch trung bình (R_a) và Chiều cao nhấp nhô (R_z). Sai lệch trung bình số học của profile R_a , được đo bằng μm . Là trung bình số học các giá trị tuyệt đối của profile (h_i) trong khoảng chiều dài chuẩn (L). Chỉ tiêu R_a thường dùng để đánh giá độ nhám bề mặt cấp 5 đến cấp 11.+ Chiều cao trung bình của profile R_z , μm . Là trị số trung bình của tổng các giá trị tuyệt đối của chiều cao 5 đỉnh cao nhất (t_i) và chiều sâu của 5 đáy thấp nhất (k_i) của profile trong khoảng chiều dài chuẩn (L). Chỉ tiêu R_z thường dùng để đánh giá độ nhám bề mặt cấp 1 đến cấp 5 và cấp 13, 14. Tiêu chuẩn Việt Nam chia độ nhẵn bề mặt ra làm 14 cấp độ như bảng dưới đây, trong đó cấp 14 là cao nhất (bề mặt nhẵn bóng nhất)[7].



Hình 3. 1: Sai lệch trung bình R_a và chiều cao nhấp nhô R_z

Chất lượng bề mặt	Cấp độ nhẵn	R_a (μm)	R_z (μm)	Chiều dài chuẩn L (mm)
Thô	1	80	320	8
	2	40	160	
	3	20	80	
	4	10	40	
Bán tinh	5	5	20	2.5
	6	2.5	10	
	7	1.25	6.3	
Tinh	8	0.63	3.2	0.25
	9	0.32	1.6	
	10	0.16	0.8	

	11	0.08	0.4	
--	----	------	-----	--

Bảng 3. 1: Các cấp độ nhẵn bề mặt

Như vậy, hệ khảo sát chế độ in 3D bao gồm:

- Hai yếu tố đầu vào:
 - Độ dày lớp in (mm).
 - Tốc độ in thành trong ngoài của vật thể (mm/s).
- Một yếu tố đầu ra: Độ nhám bề mặt của sản phẩm in 3D-(Ra - μ m)

3.4.2. Lập kế hoạch thực nghiệm

Yêu cầu cơ bản của giai đoạn này là chọn được dạng kế hoạch thực nghiệm phù hợp với điều kiện tiến hành thí nghiệm và với đặc điểm các yếu tố của đối tượng. Mỗi dạng kế hoạch đặc trưng bởi các chuẩn tối ưu và tính chất khác nhau, mà không phải bao giờ cũng có thể phân tích đối chứng một cách rạch ròi. Vì thế ở đây nên quan tâm nhiều đến điều kiện thí nghiệm và đặc điểm đo đạc, nhận giá trị của mục tiêu.

Do chưa có thông tin cho biết hệ đang ở vùng phi tuyến thì để mô tả quá trình trong hệ tác giả lựa chọn hàm tuyến tính và không có các hệ số bình phương. Để xác định các tham số tác giả lựa chọn kế hoạch bậc một hai mức tối ưu toàn phần của Box-Wilson còn được gọi là kế hoạch 2^k (k là số yếu tố đầu vào).

Kế hoạch bậc một hai mức tối ưu có các ưu điểm cơ bản sau:

- Kế hoạch trực giao, vì vậy tính toán đơn giản, các thông số đều tính độc lập với nhau, nên khi loại bỏ các hệ số không có nghĩa sẽ không phải tính lại các hệ số có nghĩa.
- Kế hoạch tối ưu D, nghĩa là định thức của ma trận thông tin của kế hoạch ($X'X$) là cực đại, nên các thông số đều tính với độ chính xác cao nhất và theo cả N thực nghiệm.
- Kế hoạch có tính tâm xoay, ở tâm kế hoạch thông tin đặc nhất, càng xa tâm thông tin càng loãng, lượng thông tin tỉ lệ nghịch với bình phương bán kính; vì vậy chỉ cần làm thí nghiệm lặp tại tâm.

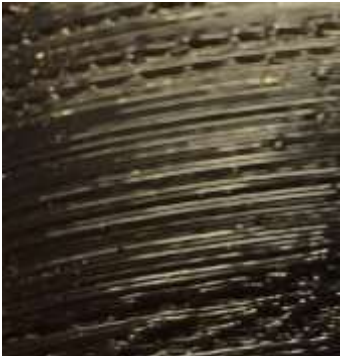
- Ngoài ra còn có ưu điểm nữa là nếu mô tả thống kê bậc một không tương hợp thì khi chuyển sang bậc hai ta vẫn dùng được nó làm nhân kế hoạch bậc hai.

Với mô hình kế hoạch bậc một hai mức tối ưu đã chọn, ta tiến hành lựa chọn vùng khảo sát (miền quy hoạch) cho các thông số chế độ in 3D. Qua việc tham khảo các tài liệu liên quan và thực tế in thử nghiệm cho thấy việc lựa chọn thông số chế độ in 3D thích hợp phụ thuộc rất nhiều vào yếu tố loại, hãng máy in 3D. Trong phạm vi luận văn này, tác giả lựa chọn máy in Prusa i3, loại nhựa in PLA, không sử dụng bàn gia nhiệt .

Một số hình ảnh và số liệu khi in với các chế độ khác nhau:

ST T	Hình ảnh sản phẩm in 3D	Chế độ in		Đánh giá ngoại dạng
		Độ dày lớp in- D (mm)	Tốc độ in - v (mm/s).	
1		0.03	20	Sản phẩm in 3D bị bong tróc, bề mặt không đồng đều
2		0.05	30	Bề mặt vật in khá đồng đều

3		0.2	40	Bề mặt vật in khá đồng đều, chỉ có một số đường in bị xô lệch
4		0.1	80	Bề mặt vật in khá đồng đều,
5		0.2	120	Bề mặt vật in khá đồng đều
6		0.3	80	Bề mặt có hiện tượng không đồng đều
				Bề mặt

7		0.4	40	có hiện tượng không đồng đều,
8		0.4	120	Bề mặt có hiện tượng không đồng đều, nét in thô, có bị xô lệch
9		0.4	180	Bề mặt không đồng đều, nét in thô, xô lệch

Hình 3. 2: Mẫu in thử nghiệm với chế độ khác nhau

Qua đánh giá sơ bộ quá trình in thử nghiệm ở trên, tác giả nhận thấy với độ dày lớp in 0,03, tốc độ in từ 150mm trở lên thì máy in Prusa i3 đang sử dụng cho ra sản phẩm mẫu in có bề mặt đứt đoạn, không đồng đều, nét in xô lệch lồi lõm không đảm bảo yêu cầu. Vì thế tác giả lựa chọn miền quy hoạch cho các thông số chế độ in như sau:

$$\text{Miền quy hoạch} \quad \left\{ \begin{array}{l} D = 0.05 \div 0.4(mm) \\ v = 20 \div 150(mm / s) \end{array} \right\}$$

Để tiện cho việc tính toán và đồng nhất các ký hiệu, tác giả đặt các thông số đầu vào: độ dày lớp in (D); Vận tốc khi in (v) lần lượt ứng với các biến Z_1 ; Z_2 . Tính toán mức cơ sở và khoảng biến thiên theo công thức (3.1); (3.2), ta có:

$$Z_1^0 = \frac{Z_{1\min} + Z_{1\max}}{2} = \frac{0.05 + 0.4}{2} = 0.225(mm)$$

$$\Delta Z_1 = \frac{Z_{1\max} - Z_{1\min}}{2} = \frac{0.4 - 0.05}{2} = 0.175(mm)$$

$$Z_2^0 = \frac{Z_{2\min} + Z_{2\max}}{2} = \frac{20 + 150}{2} = 85(mm/s)$$

$$\Delta Z_2 = \frac{Z_{2\max} - Z_{2\min}}{2} = \frac{150 - 20}{2} = 65(mm/s)$$

Điểm có tọa độ Z_1^0 , Z_2^0 , gọi là tâm kế hoạch hay mức cơ sở. Chuyển từ hệ tọa độ thực sang hệ tọa độ không thứ nguyên phải dùng công thức (3.3):

$$x_j = \frac{Z_j - Z_j^0}{\Delta Z_j}$$

Yếu tố	Các mức			Khoảng biến thiên
	Mức trên (+1)	Mức cơ sở (0)	Mức dưới (-1)	
Z_1 (D): Độ dày lớp in (mm)	0.4	0.225	0.05	0.175
Z_2 (v): Vận tốc khi in (mm/s)	150	85	20	65

Bảng 3. 2: Bảng điều kiện thực nghiệm (giá trị và khoảng biến thiên của các thông số chế độ in cần khảo sát là D và v)

Trong hệ tọa độ không thứ nguyên, tọa độ mức trên là +1 và mức dưới là -1, tâm là 0 và trùng với gốc hệ tọa độ. Với mô hình kế hoạch bậc một toàn phần hai mức tối ưu đã chọn, số yếu tố đầu vào $k = 2$, ta có số thí nghiệm cần phải làm là $N = 2^k = 2^2 = 4$ thí nghiệm. Để tính toán phương sai lặp, tác giả làm thêm 3 thí nghiệm lặp tại tâm của kế hoạch. Vậy số thí nghiệm cần phải tiến hành là $N = 4 + 3 = 7$ thí nghiệm.

Mô hình hồi quy có dạng phương trình như sau:

$$\hat{Y} = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_{12}X_{12} \quad (3.8)$$

Kế hoạch tiến hành thí nghiệm được cho trong bảng sau

Số thí Nghiem	Các yếu tố theo tỉ lệ thực		Các yếu tố theo tỉ lệ mã hóa		Hàm mục tiêu
	Z_1	Z_2	X_1	X_2	y
1	0.05	20	-	-	
2	0.04	20	+	-	
3	0.05	150	-	+	
4	0.4	150	+	+	
5	0.225	85	0	0	
6	0.225	85	0	0	
7	0.225	85	0	0	

Bảng 3. 3: Bảng kế hoạch thực nghiệm

3.5. Tiến hành thực nghiệm

3.5.1. Số hóa mẫu cổ vật và thiết kế chi tiết bị khuyết của cổ vật

3.5.1.1. Lựa chọn mẫu cổ vật

Mẫu cổ vật cần được phục dựng trong đề tài này là bộ chốe bàn thờ (bộ gồm 2 chiếc, mỗi chiếc gồm thân và nắp đậy) có chất liệu bằng gốm sứ. Trong đó có 1 chiếc đã bị vỡ phần nắp đậy và không thể phục hồi do các mảnh vỡ nhỏ và không đầy đủ. Chốe thường xuất hiện trên bàn thờ Phật và bàn thờ gia tiên của người Việt dùng để đựng muối gạo và nước sạch. Chốe thờ được thiết kế với bố cục gồm 3 phần:

- Phần nắp: Có dáng một chiếc lồng bàn úp, giữa có núm tròn như búp sen, phần trên nắp gấp khúc tròn xuống miệng rồi loe lớn ra thành vành chòm lên miệng chốe.

- Phần thân: Mép miệng chốe phẳng, để mộc tạo điều kiện tiếp giáp với nắp rất khít, vành ngoài vẽ tròn thành gờ nhỏ. Cổ đứng, ngắn, vai nở, thân phình dần về đáy. Trên phần nở nhất của chốe trang trí hình Rồng hoặc họa tiết hoa sen

- Phần chân đế: Dưới cùng là chân đế Chốe có thể choãi ra (đối với chốe to) hoặc thon vào (đối với chốe nhỏ), sát mép dưới là đường vòng tròn bao quanh màu xanh lam tạo bố cục trang trí cân đối và hài hòa cho sản phẩm.



Hình 3. 3: Hình dạng phần nắp chóc thờ

Để số hóa sản phẩm, sử dụng máy quét 3D Horus. Sau đó sử dụng phần mềm Geomagic Studio để xây dựng hoàn chỉnh mô hình CAD cho sản phẩm.

3.5.1.2. Thiết bị số hóa

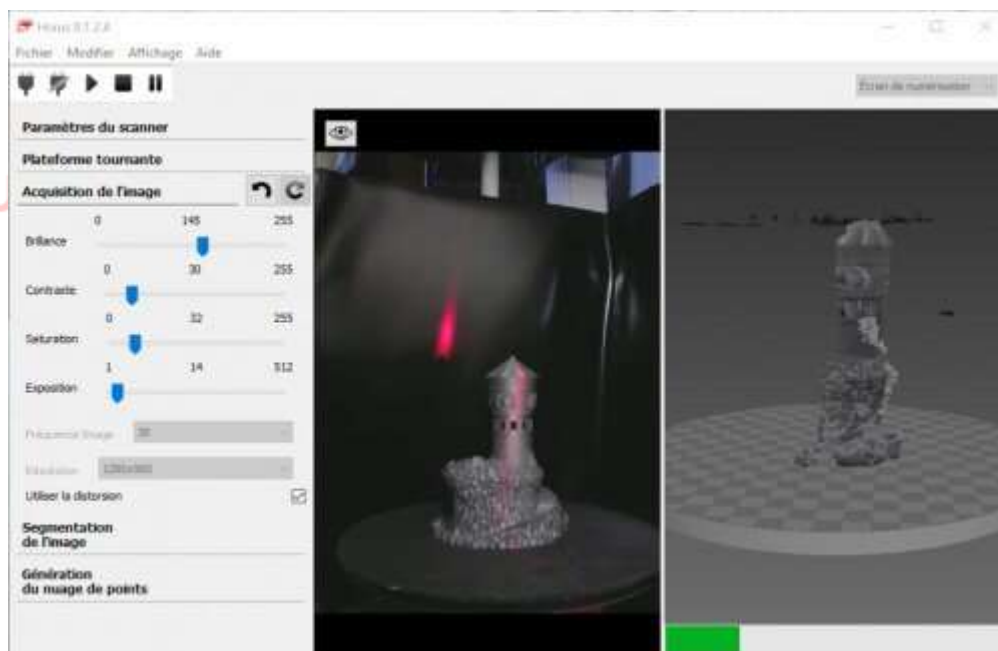
Tên máy quét: SCANNER 3D HORUS [4]

Tính năng

- Loại máy quét: cá nhân/văn phòng
- Công nghệ: Laser Triangulation
- Kích thước (mm): 450 x 330 x 230 mm
- Các kích thước tối đa của mô hình hóa (mm): 250 x 205mm
- Mô hình tối thiểu (mm) kích thước: 50 mm
- Trọng lượng (kg): 2,25 kg
- Độ chính xác (mm): 0,50
- Xuất khẩu định dạng: lớp
- Phần mềm: Horus
- Kết nối: Cáp USB
- Hệ thống tương thích: Windows, Linux, Mac
- Nguồn điện: 12 V 1.5 A



Hình 3. 4: Máy quét 3D Horus



Hình 3. 5: Giao diện của máy quét 3D Horus

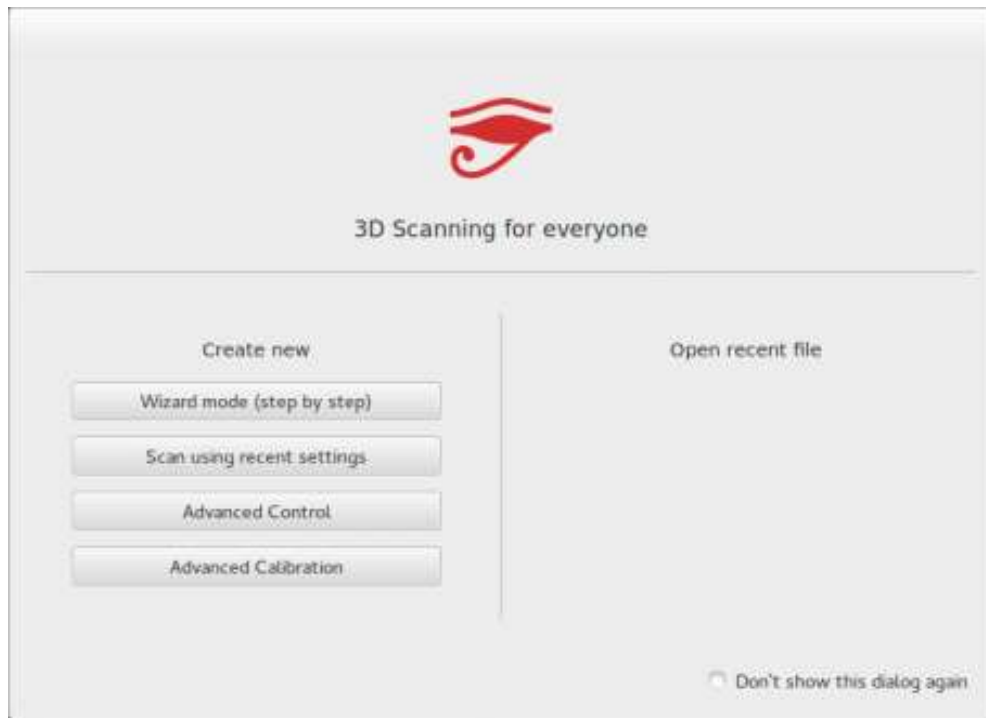
Để sử dụng máy, trước hết ta hiệu chỉnh lại các thông số

Cài đặt

Horus có thể được cài đặt trên hệ điều hành Ubuntu, Windows và Mac.

Bước đầu tiên với Horus

Lần đầu tiên khi sử dụng máy, một thông báo chào mừng xuất hiện.

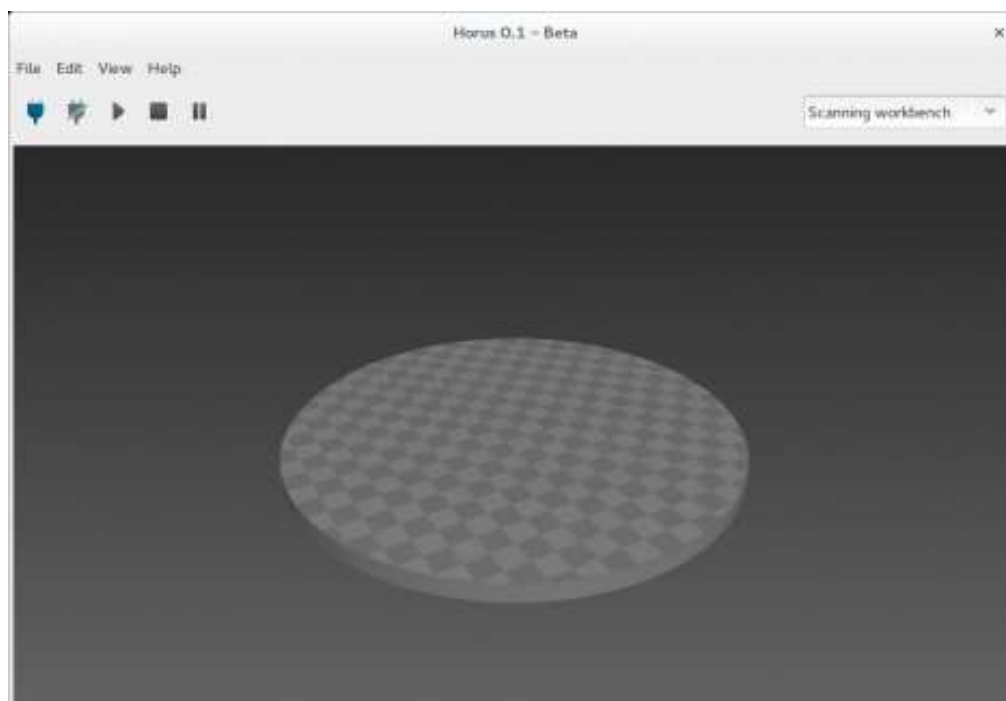


Hình 3. 6: Cửa sổ làm việc ban đầu của máy quét 3D Horus

Cửa sổ này cung cấp các phím tắt cho các chức năng chính như khởi chạy trình hướng dẫn, quét hoặc truy cập bảng cấu hình nâng cao. Nó cũng bao gồm quyền truy cập nhanh vào các mô hình được sử dụng gần đây (đám mây điểm hoặc lưới).

Cửa sổ chính

Cửa sổ chính có thanh menu, thanh công cụ và menu thả xuống để chuyển giữa các chế độ làm việc



Hình 3. 4: Cửa sổ chính làm việc của máy quét 3D Horus

Phần mềm bao gồm tùy chọn tải file và lưu file, cũng như đặt lại các tham số mặc định. Nó cũng cung cấp quyền truy cập vào các tùy chọn trong đó người dùng có thể điều chỉnh các tham số kết nối, firmware hoặc chọn ngôn ngữ ứng dụng.

Phần quét cho phép các tùy chọn để tải file, lưu và xóa mô hình. Mô hình là một đối tượng 3D, có thể là đám mây điểm dạng file PLY hoặc lưới STL.

Phản hướng dẫn hiệu chỉnh

Trình hướng dẫn sẽ hướng dẫn người dùng thông qua phiên bản đơn giản hóa của các quy trình kết nối, hiệu chỉnh và điều chỉnh các tham số quét.

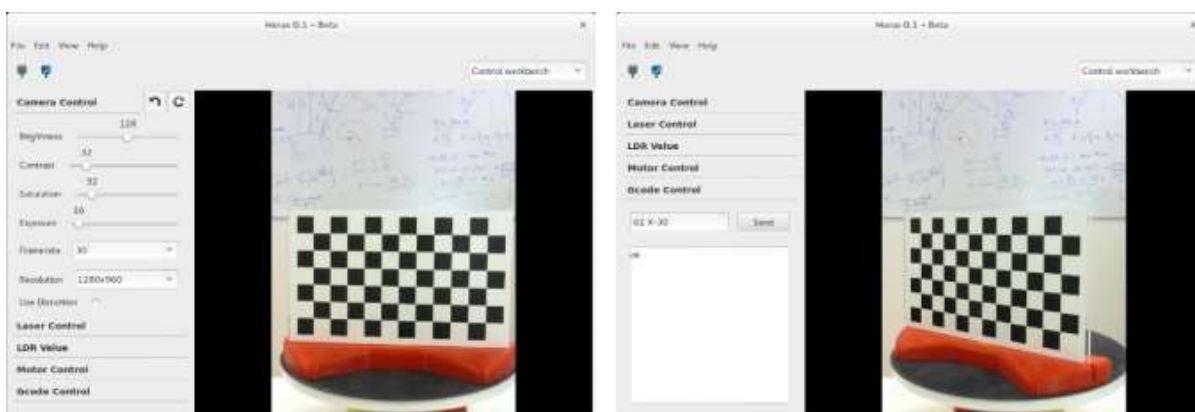


Hình 3. 5: Hướng dẫn hiệu chỉnh máy quét 3D Horus

Cấu hình nâng cao

Phần này mô tả các bàn làm việc kiểm soát và hiệu chuẩn.

Kiểm soát nâng cao: cho phép kiểm soát tất cả các thành phần của máy quét một cách độc lập: máy ảnh, laser và động cơ bước. Nó cũng cho phép đọc các cảm biến LDR - một tính năng được thêm vào để thực hiện điều chỉnh thông minh camera.



Hình 3. 6: Hiệu chỉnh cấu hình nâng cao máy quét 3D Horus

Phần điều khiển camera cho phép thay đổi các thông số sau:

- Độ sáng: độ sáng hình ảnh
- Độ tương phản: sự khác biệt tương đối của cường độ hình ảnh
- Độ bão hòa: cường độ màu của hình ảnh
- Phơi sáng: thời gian mở của ống kính máy ảnh tính bằng mili giây
- Tốc độ khung hình: số lượng hình ảnh được chụp mỗi giây
- Độ phân giải: kích thước của hình ảnh, luôn trong mối quan hệ 4: 3
- Biến dạng: cho phép hiệu chỉnh biến dạng của ống kính - các giá trị này được tính trong quá trình hiệu chỉnh máy ảnh

Các laser trái và phải có thể được bật hoặc tắt thông qua bàn làm việc này. Giá trị của các cảm biến LDR cũng có thể thu được. Giá trị này nằm trong khoảng từ 0 đến 1023, tùy thuộc vào lượng ánh sáng được phát hiện bởi mỗi cảm biến.

Trong phần động cơ: có thể được kích hoạt hoặc vô hiệu hóa. Góc quay và tốc độ góc và gia tốc cũng có thể được cài đặt.

Menu G-code: cho phép giao tiếp với bộ xử lý.

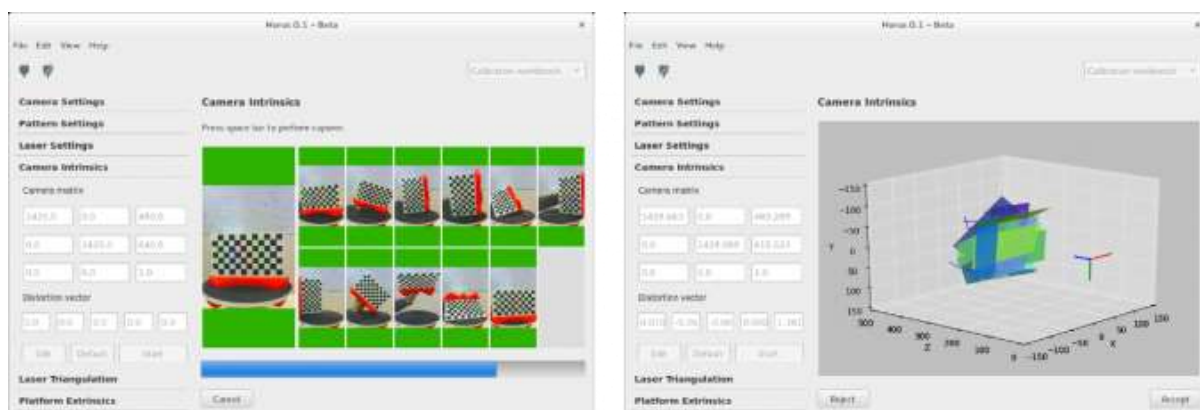
Hiệu chuẩn nâng cao

Cho phép điều chỉnh các thông số camera để có được hiệu chuẩn tối ưu. Nó cũng cho phép thực hiện ba hiệu chỉnh cơ bản để xác định các thông số máy quét: cảm biến máy ảnh và hiệu chuẩn ống kính, hiệu chuẩn laser liên quan đến máy ảnh và hiệu chuẩn nền tảng quay so với máy ảnh. Cũng có thể thay đổi các giá trị mẫu hiệu chuẩn để sử dụng các mẫu khác nhau.

Hiệu chỉnh máy ảnh

Trong hiệu chuẩn này, các thông số bên trong của máy ảnh được lấy. Đó là:

- Khoảng cách tiêu cự (ngang và dọc)
- Trung tâm quang học (ngang và dọc)
- Biến dạng ống kính



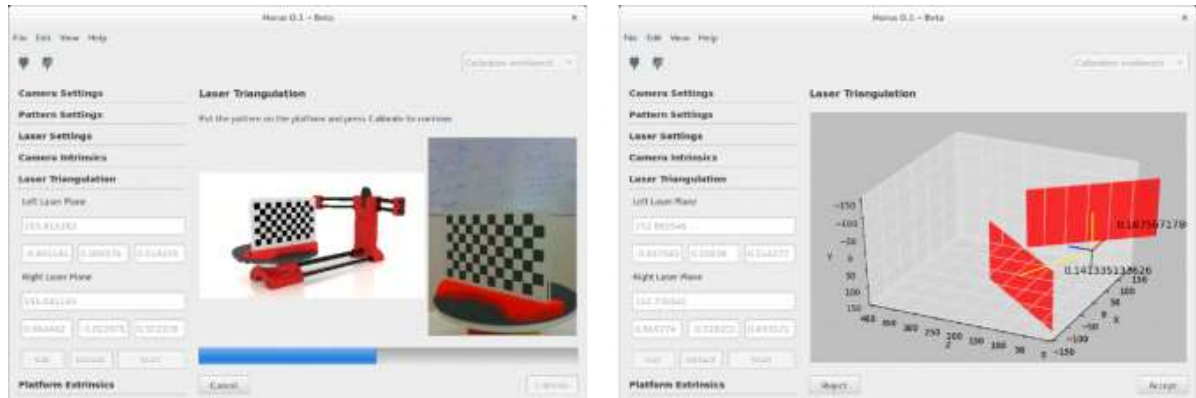
Hình 3. 7: Hiệu chuẩn máy ảnh máy quét 3D Horus

Hiệu chuẩn laser

Trong hiệu chuẩn này, các phương trình mặt phẳng laser được xác định, được mô tả bằng phương đối với mặt phẳng và khoảng cách đến điểm gốc. Vị trí và hướng của laser không quan trọng. Hiệu chuẩn này xác định các mặt phẳng của chúng với

độ chính xác bằng milimét, bất kể vị trí của chúng.

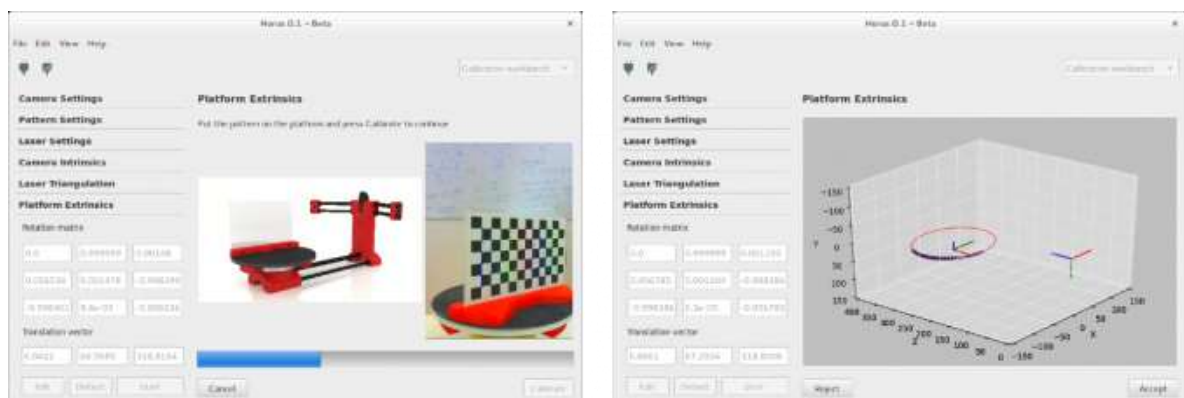
Hiệu chuẩn laser là chìa khóa để xác định đám mây điểm liên quan đến hệ thống camera. Đây là hiệu chuẩn quan trọng nhất.



Hình 3. 8: Hiệu chuẩn laze máy quét 3D Horus

Hiệu chuẩn đĩa quay

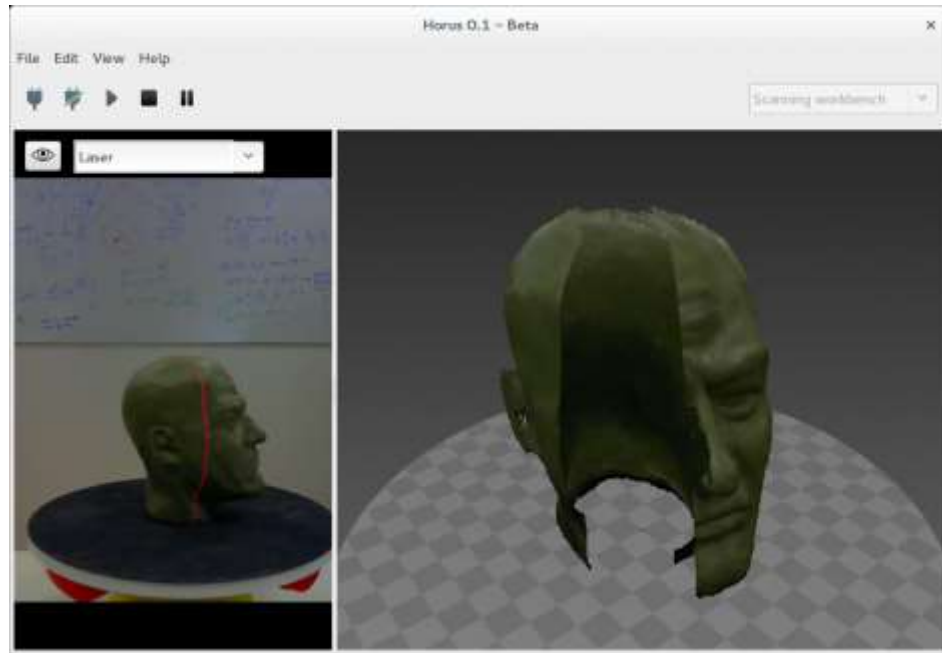
Xác định vị trí và góc quay của hệ thống đĩa so với hệ thống camera.



Hình 3. 9: Hiệu chuẩn đĩa quay máy quét 3D Horus

Bắt đầu quét

Đám mây điểm của đối tượng cần quét được tạo ra và ta có thể xem trong quá trình quét



Hình 3. 10: Quá trình quét bằng máy quét 3D Horus

Khi kết thúc quá trình quét, chúng ta có đám mây điểm ở định dạng PLY, ta phải sử dụng các phần mềm để xử lý điểm ảnh và đưa về định dạng STL hoặc OBJ. Sử dụng phần mềm [4]

Horus là một phần mềm đa nền tảng được thiết kế để kiểm soát máy quét 3D Horus. Phần mềm có giao diện đồ họa để quản lý thông tin, thu thập và đồng bộ hóa dữ liệu, xử lý hình ảnh, các quy trình hiệu chuẩn và tạo và trực quan hóa các đám mây điểm.

Phần mềm được phát triển và tối ưu hóa cho hệ điều hành Windows / Linux/ Ubuntu và cũng đã được thử nghiệm trên Mac. Phần mềm được xây dựng trên nền tảng ngôn ngữ lập trình Python 3 . Nó sử dụng wxPython 4 , NumPy 5 , SciPy 6 , Matplotlib 7 , OpenGL 8 và một phiên bản OpenCV 9 được tối ưu hóa cho Linux.



Hình 3. 11: Phần mềm Horus

3.5.1.3. Quá trình quét mẫu sản phẩm [12]:

Bước 1 : Chuẩn bị máy quét (lắp ráp, hiệu chỉnh máy quét, kết nối hệ thống đường cáp truyền, khởi động máy tính...).



Hình 3. 12: Kết nối cáp và zắc cắm trên máy scan 3D Horus

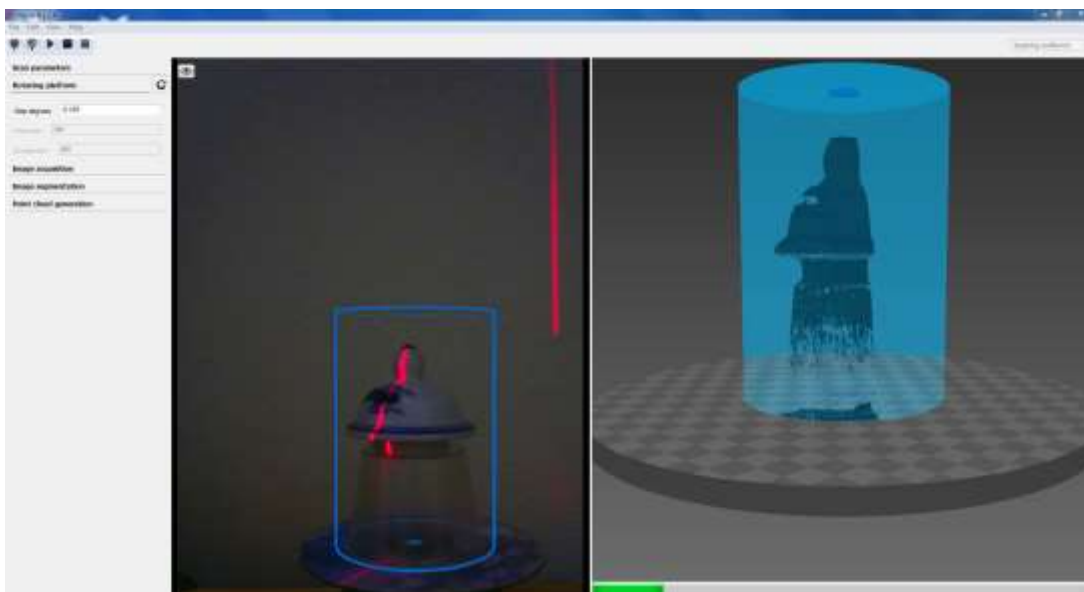
Bước 2 : Vệ sinh chi tiết cần quét, đối với chi tiết trong đề tài này có một phần màu sắc tối màu là hoa văn nên cần được phủ một lớp sơn sáng màu. Đánh dấu trên chi tiết các điểm tham chiếu (chấm tròn), và đặt chi tiết lên bàn quét xoay tròn.



Hình 3. 13: Chi tiết nắp đậy chóc thờ trước và sau khi phun phủ

Bước 3 : Quét mẫu

Nguyên tắc quét : Vì mẫu quét có hình dạng phức tạp nên ta quét theo các góc độ khác nhau. Sau đó ghép ghép các mặt quét với nhau theo các điểm chung đã đánh dấu để tạo thành mẫu quét hoàn chỉnh. Khi đã thu được hình dạng khá hoàn chỉnh của mẫu quét ta sẽ lưu file với đuôi STL và chuyển sang các phần mềm thiết kế ngược để xây dựng lại mô hình CAD cho chi tiết.

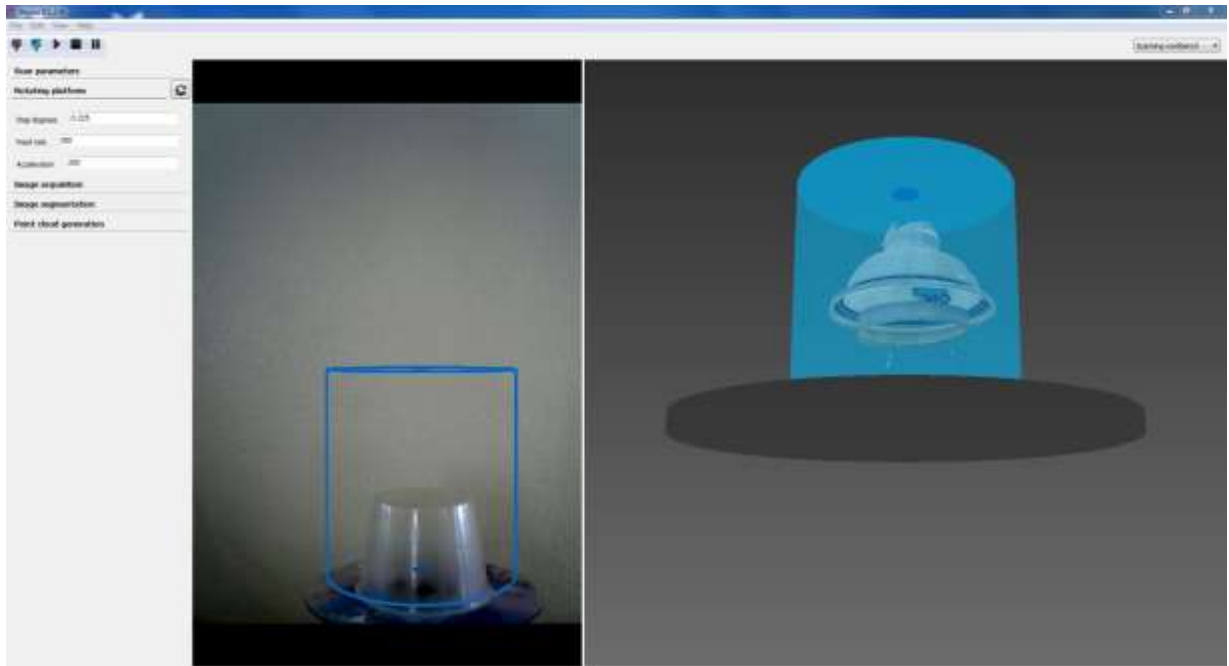


Hình 3. 14: Quét chi tiết nắp chóc

* Quét các bề mặt của chi tiết bao gồm hình dạng của nhiều khối ở các vị trí khác nhau, chính vì vậy để thu được toàn bộ dữ liệu của bề mặt chúng ta cần tiến hành quét nhiều lần ở nhiều góc độ khác nhau.

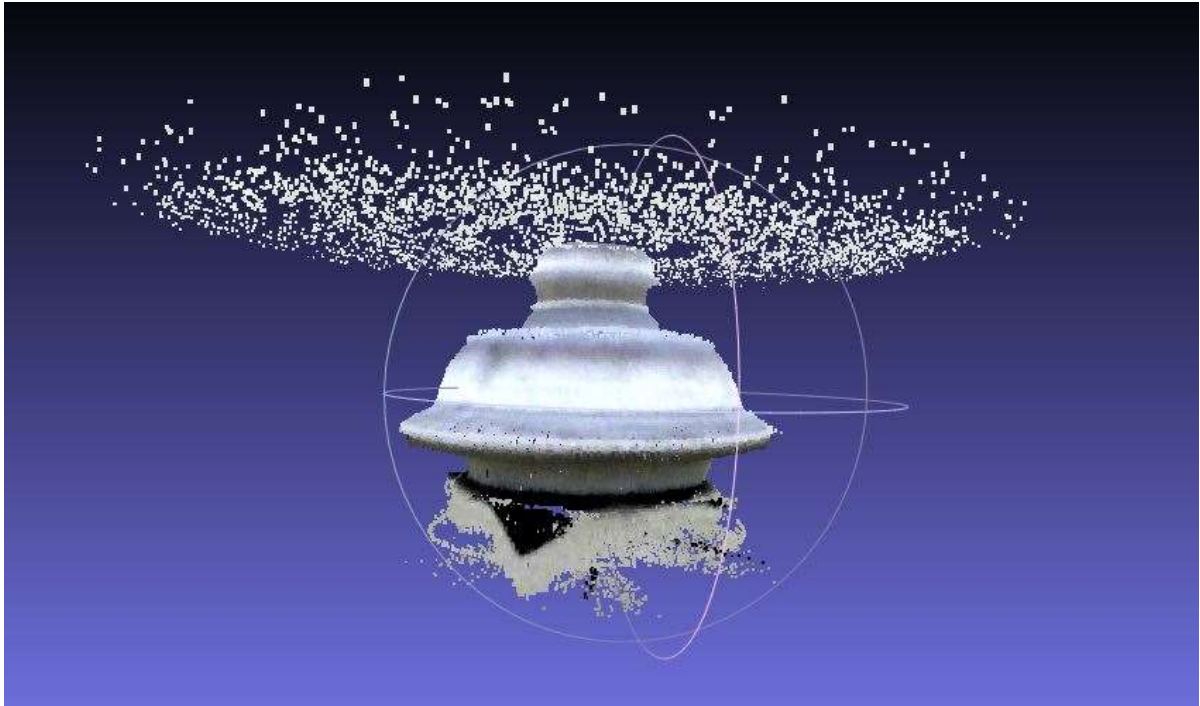
Sau mỗi lần quét chúng ta chỉ cần xoay bàn đi 1 góc nào đó để thu dữ liệu của các vùng tiếp theo. Với những vùng mà ánh sáng không thể tới được chúng ta có thể điều chỉnh tâm nguồn sáng và cũng có thể kê đệm chi tiết. Dữ liệu quét của mỗi vùng sẽ được máy tính tính toán và ghép lại với nhau sau mỗi lần quét, hình thành nên hình dạng bề mặt của chi tiết.

* Ghép các hình với nhau. Vì phải quét nhiều lần, mỗi lần là 1 ảnh, phần mềm đã tự động ghép dữ liệu thu sau mỗi lần quét để tạo nên hình dạng của mỗi mặt nhưng để đảm bảo cho hình ảnh mẫu quét trơn chu, đẹp và thuận tiện cho bước thiết kế mô hình CAD.



Hình 3. 15: Chi tiết sau khi đã quét xong theo 1 góc độ.

Khi quét bất kỳ một mẫu nào không tránh khỏi nhưng sai số nhất định chính vì vậy mẫu sau khi quét chưa thật sự hoàn thiện có những chỗ cần chỉnh sửa. Phần mềm cũng có tính năng chỉnh sửa những khuyết tật (do quá trình quét để lại) trong phạm vi nhất định. Đến đây chúng ta đã hoàn thành công việc quét mẫu sản phẩm, công việc tiếp theo của chúng ta đó chính là Export sang file STL và thiết kế lại mô hình CAD cho chi tiết.



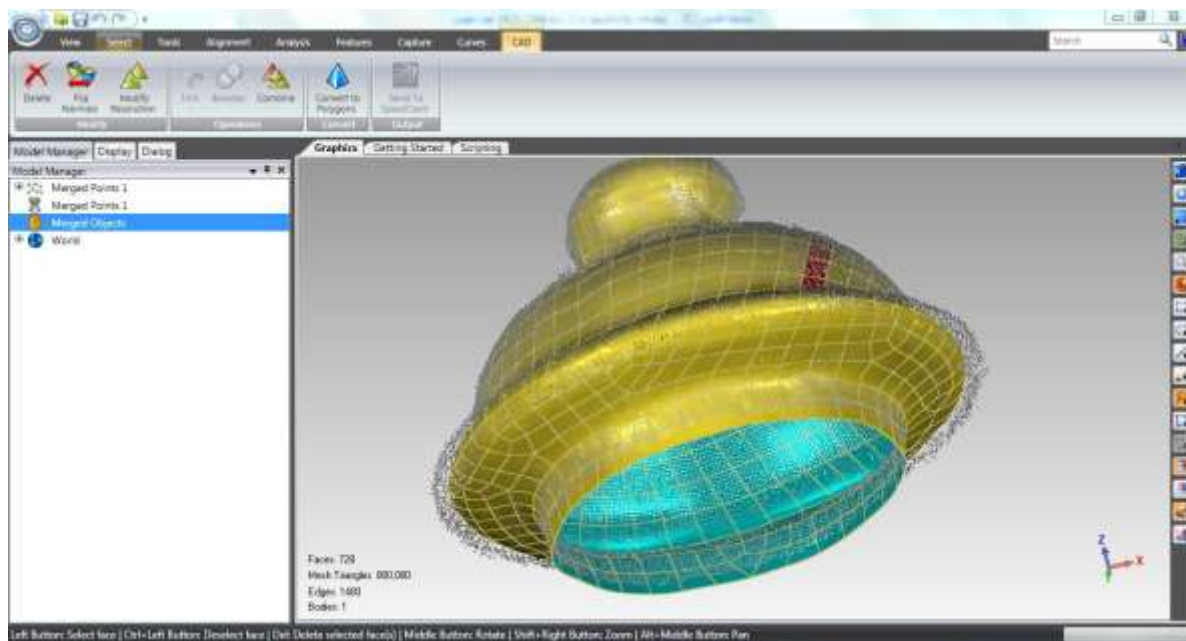
Hình 3. 16: Các khuyết tật sau khi quét

3.3. Ứng dụng phần mềm Geomagic Studio thiết kế lại mô hình CAD trên cơ sở dữ liệu số hóa.

3.5.1.4 Giới thiệu chung về phần mềm Geomagic Studio

Geomagic Studio là phần mềm tốt nhất trên thế giới về mảng thiết kế ngược. Geomagic Studio có thể ứng dụng trong sản xuất riêng lẻ, bảo tồn di sản.... Phần mềm Geomagic Studio sử dụng dữ liệu quét 3D có thể tạo ra mô hình chính xác như chế tạo ban đầu. Ngoài ra, từ dữ liệu quét 3D, có thể thay đổi theo ý tưởng thiết kế mới nhằm tái tạo một hay nhiều vô hạn các hình dạng phức tạp một cách nhanh chóng và dễ dàng

Geomagic Studio tích hợp được với tất cả các máy quét 3D và phần mềm CAD/CAM. Tính năng tự động và đơn giản hóa quy trình làm việc giúp giảm tối đa thời gian và tiết kiệm chi phí.



Hình 3. 17: Phần mềm Geomagic Studio

Tính năng vượt trội của **Geomagic Studio**

Chia lưới đám mây điểm thành các đa giác một cách chính xác và thông minh.

Tăng hiệu quả và tối ưu hóa thời gian sản xuất. Geomagic Studio hoạt động nhanh hơn so với các phần mềm CAD cổ điển, ngay cả đối với các đối tượng phức tạp.

Chức năng và tính năng tự động cao giúp người dùng có thể nhanh chóng tiếp cận với phần mềm, tích hợp với các phần mềm CAD lớn, xuất ra các file có định dạng tiêu chuẩn như: STL, OBJ, VRML, DXF, PLY, 3DS, PDF.

Hỗ trợ hàng loạt các máy quét tiêu chuẩn (các loại máy Scan 3D).

Phần mềm Geomagic có giấy chứng nhận PTB (Physikalisch-Technische Bundesanstalt).

Ngoài ra, Geomagic Studio còn có các module để thiết kế mô phỏng, lập trình gia công CAM (Tối ưu hóa thiết kế và đạt hiệu quả cao trong gia công). [5]

3.5.1.5. Quá trình sử dụng phần mềm Geomagic Studio trong xử lý dữ liệu scan, xây dựng mô hình CAD cho chi tiết mẫu quét

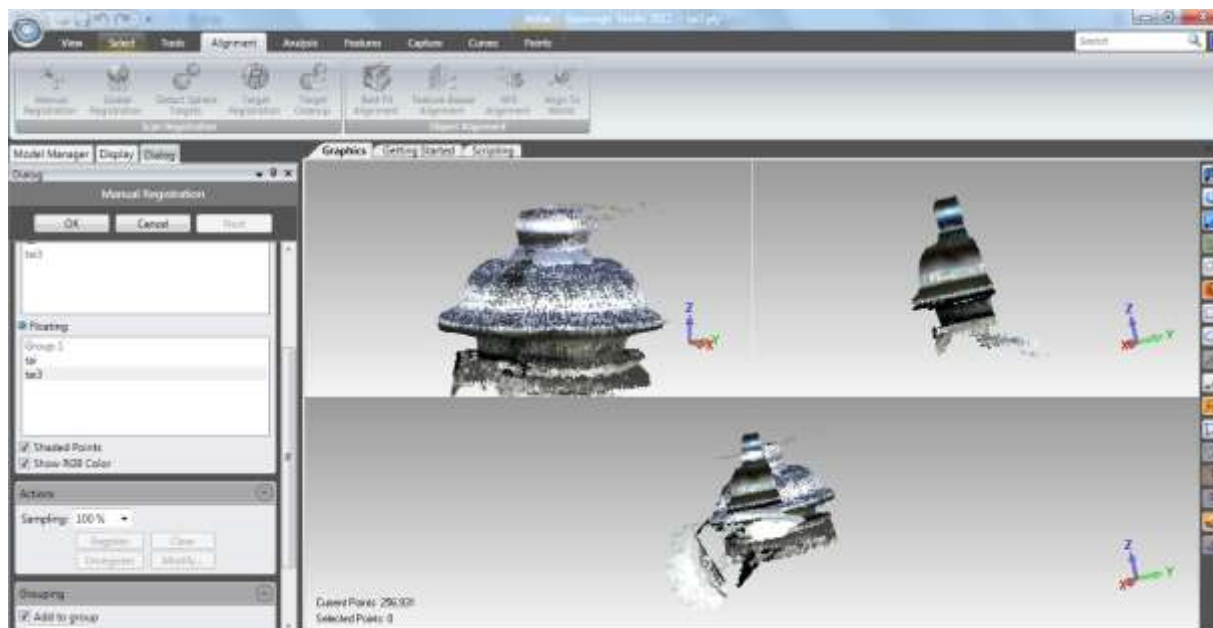
Dữ liệu thu được sau khi quét bằng máy scan 3D Horus có dạng thô, nhiều khuyết tật nên ta sẽ chỉnh sửa, tối ưu dữ liệu và phân vùng trước khi dựng mô hình

Quá trình sử lý dữ liệu số hóa được thực hiện như sau :

Từ màn hình làm việc, chọn -Import File, chọn các file FLY đã lưu từ các lần quét trước.



Chọn Alignment > Scan Registration > Manual Registration để sắp xếp các bản quét



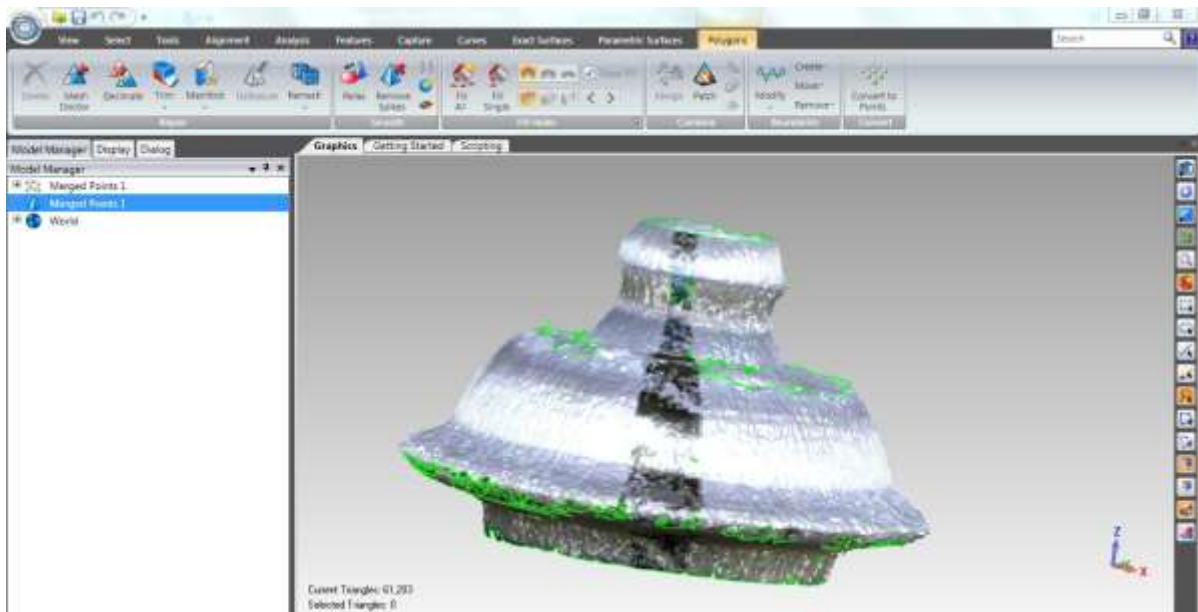
Hình 3. 19: Sắp xếp các bản quét

Sau khi đã sắp xếp các layer nhưng chúng vẫn tách biệt và cần phải được kết hợp thành một đối tượng duy nhất. Chọn Points > Combine > Combine Point Objects

Sử dụng các công cụ khác như Disconnected Components; Manual Editing; Reduce Noise để giảm nhiễu và loại bỏ các tập hợp điểm thừa

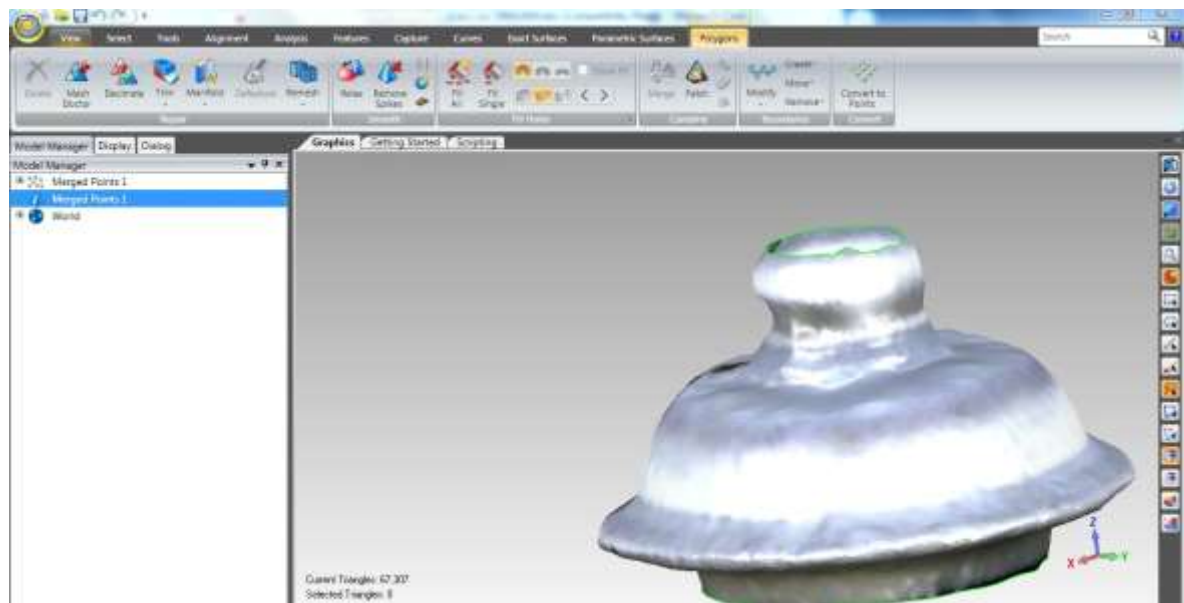
Chuyển định dạng từ tập hợp điểm sang dạng lưới STL

Chọn Points > Wrap > Wrap



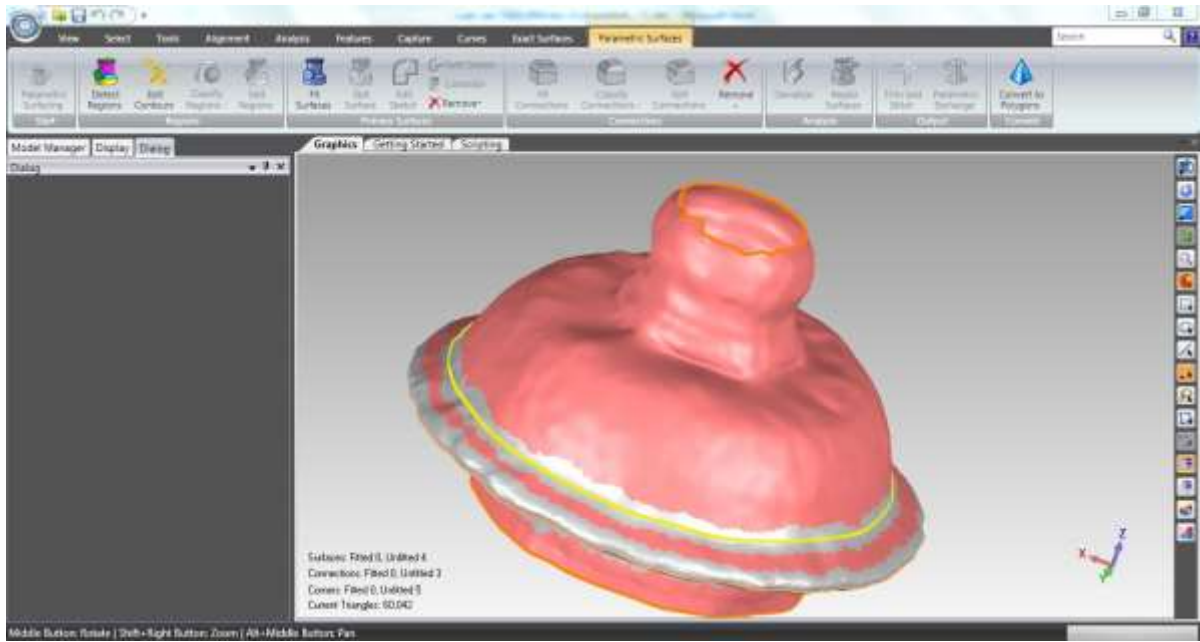
Hình 3. 20: Vật thể ở dạng lưới

Sử dụng các công cụ như Spike Removal; Manual Editing; Make Manifold; Reduce Noise; Mesh Doctor; Filling Holes để chỉnh sửa và hoàn thiện lưới.



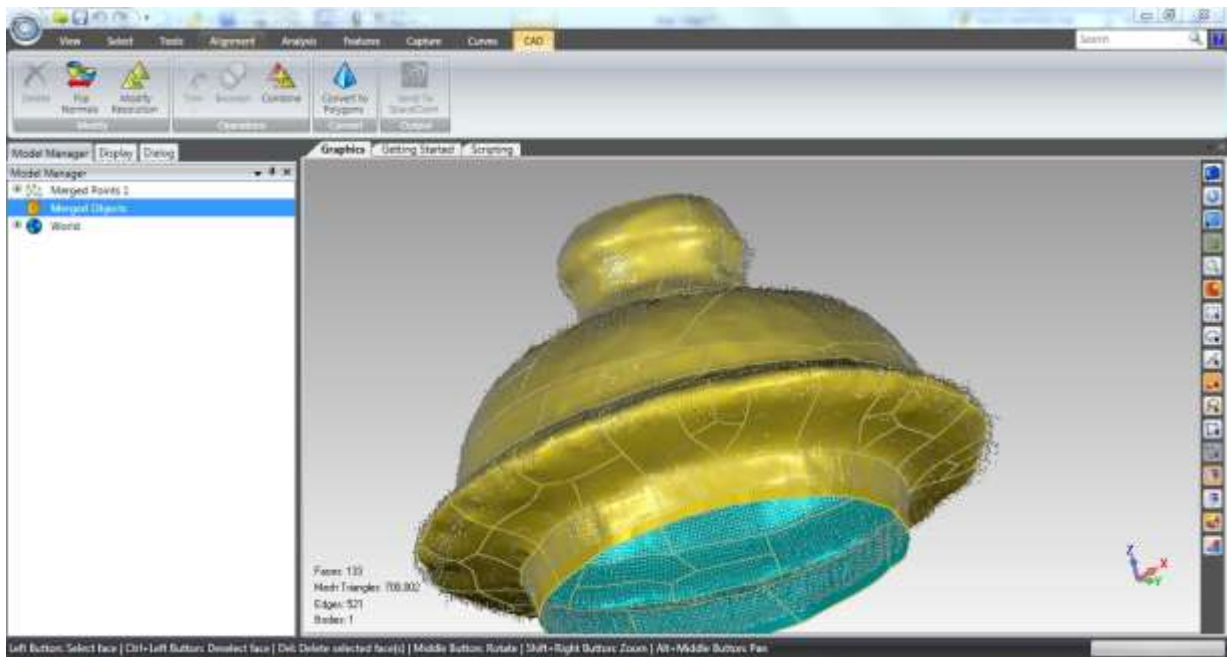
Hình 3. 21: Chỉnh sửa lưới

Chuyển sang Parametric Surfacing



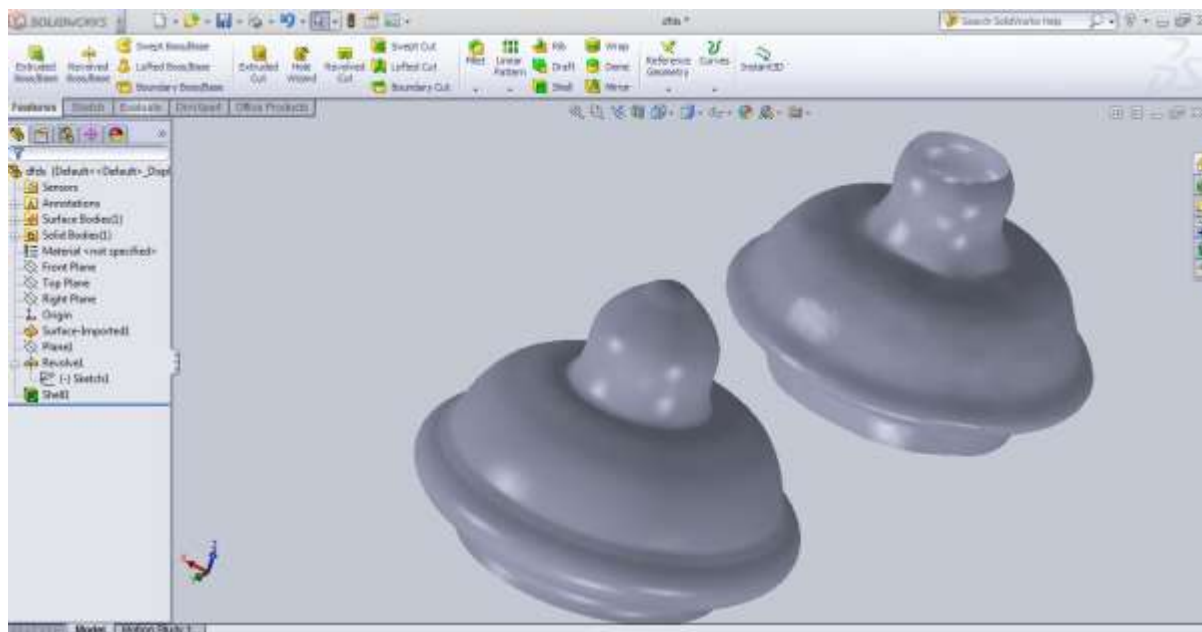
Hình 3. 22: Chế độ Parametric Surfacing

Xuất sang file CAD

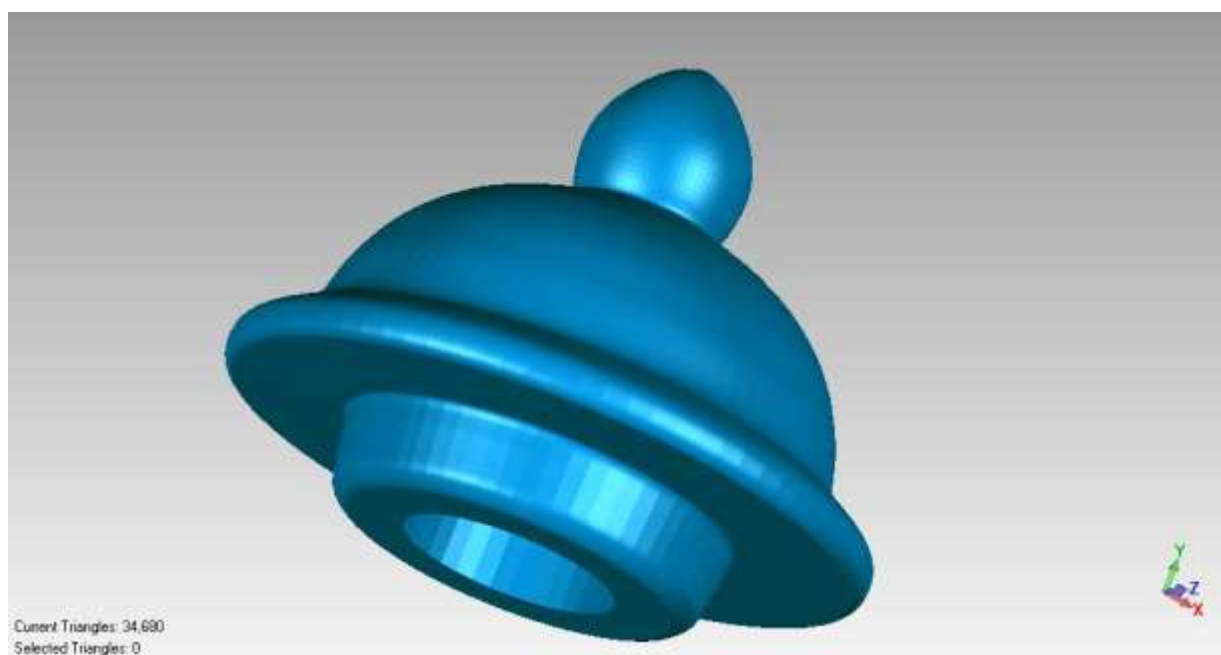


Hình 3. 23: Chế độ CAD

Sử dụng Solidwork để hoàn thiện trước khi xuất sang file STL



Hình 3. 24: Sử dụng Solidwork hoàn thiện file



Hình 3. 25: File hoàn thiện

3.5.2. Quy trình thực nghiệm in 3D:

3.5.2.1. Vật liệu in 3D:

Vật liệu được lựa chọn trong tạo mẫu cho chi tiết được sử dụng là nhựa PLA (Polylactic axit). Là nhựa nhiệt dẻo phân hủy sinh học có nguồn gốc từ các nguồn tái tạo, chẳng hạn như bột ngô, mía, củ sắn hoặc thậm chí tinh bột khoai tây, nó có độ tính thấp và thân thiện với môi trường so với tất cả các sản phẩm nhựa từ dầu mỏ. Chính vì điều này nên nhựa PLA là một giải pháp thân thiện với môi trường, nhất là trong lĩnh vực in 3D.

Nhược điểm chính của nó là nó khó làm mát vì quá nóng. Vì nguồn PLA có thể tái tạo nên nó có sẵn. PLA có sẵn hầu hết các màu sắc và có thể mờ hoặc rắn. PLA có thể phát sáng trong bóng tối.

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...



Hình 3. 26: Nhựa PLA dùng cho máy in 3D

3.5.2.2. Các bước thực hiện:

Bước 1: Chuẩn bị máy in 3D, kiểm tra cơ cấu cơ khí và hệ thống điều khiển điện tử

Bước 2: Chuẩn bị nhựa in 3D.

Bước 3: Kiểm tra thử chuyển động tịnh tiến theo các trục của đầu in của máy

Bước 4: Kiểm tra và thử hoạt động của công tắc endstop.

Bước 5: Cài đặt thông số máy.

Bước 6: Kéo dây nhựa in 3D vào mô tơ kéo của đầu phun nhựa

Bước 7: Điều chỉnh nhựa in

Bước 8: Nhập file Gcode để in 3D

Bước 9: Cài đặt thông số và chế độ support của phần mềm in.

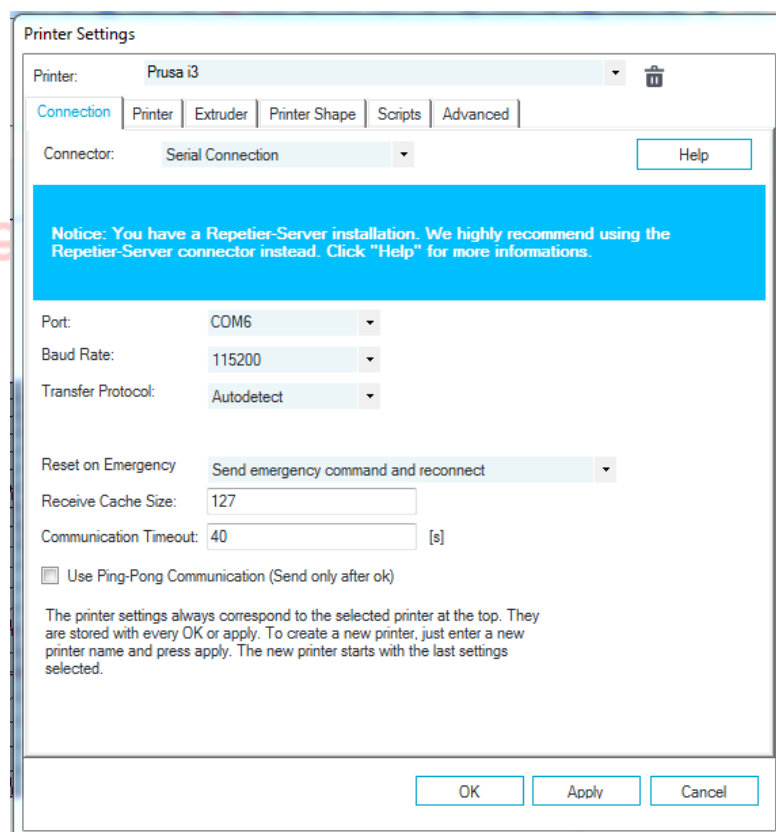
Bước 10: Thực hiện lệnh in

Bước 11: Kết thúc lệnh in

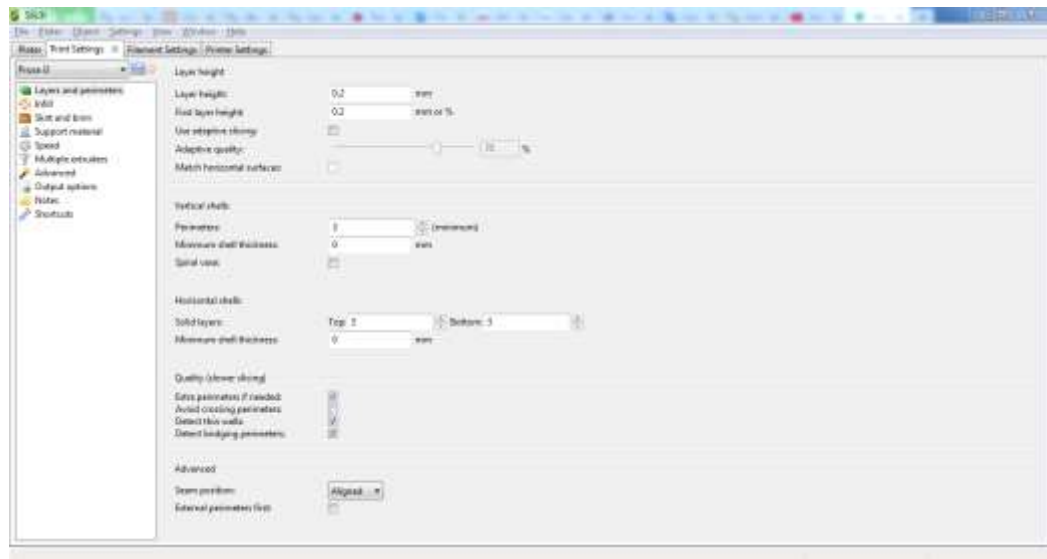
Bước 12: Dừng máy, lấy mẫu in ra khỏi bàn in.

Bước 13: Xử lý sản phẩm (tách bỏ các lớp support...)

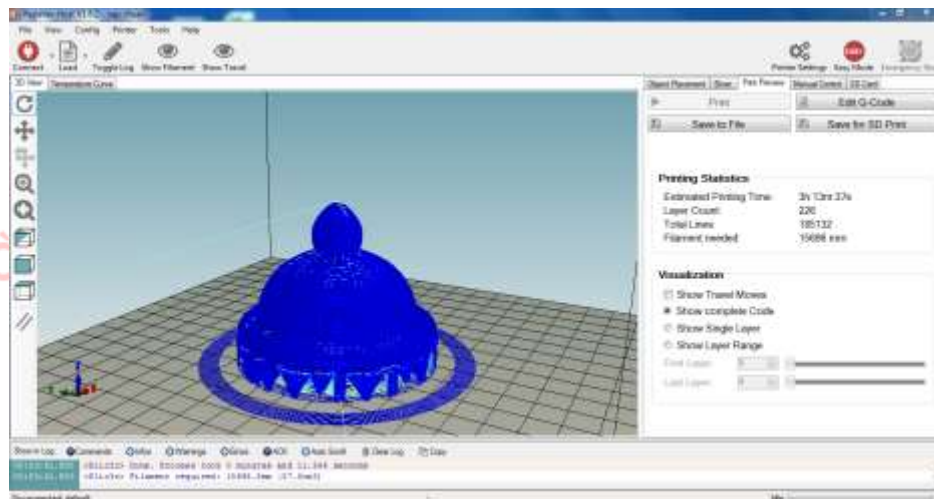
- Một số hình ảnh minh họa quá in:



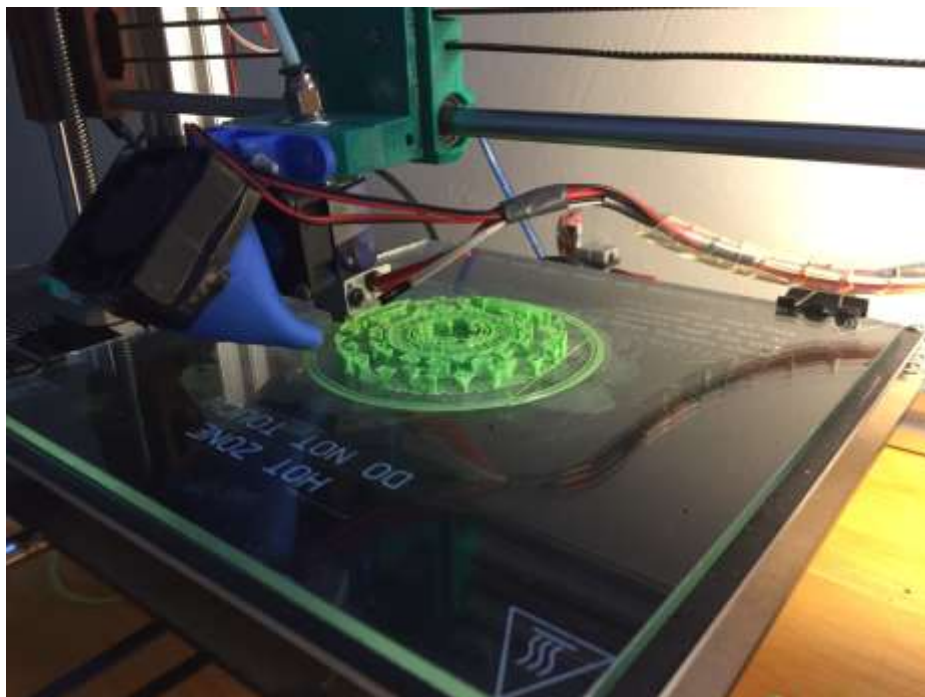
Hình 3. 27: Cài đặt máy in 3D



Hình 3. 28: Thiết lập phần mềm in



Hình 3. 29: Thiết lập suport



Hình 3. 30: Bắt đầu quá trình in



Hình 3. 31: Sản phẩm khi in xong

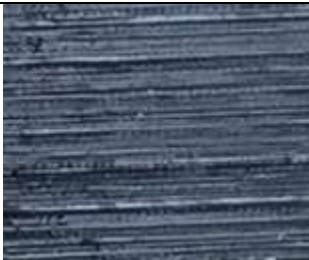


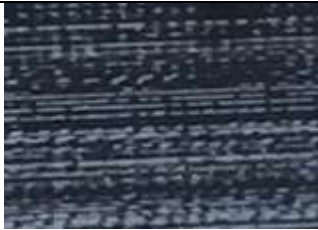
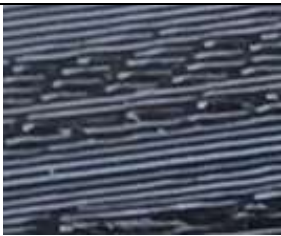
Hình 3. 32: Sử dụng máy in 3D Prusa i3

3.5.3. Kết quả in thực nghiệm:

3.5.3.1. Lấy mẫu thực nghiệm:

Sau khi tiến hành in với các chế độ in theo bảng 3.2. Tác giả tiến hành đánh số các mẫu để thuận lợi cho quá trình đo đạc sau này.

STT	Hình ảnh lớp in	Thông số in
1		$D= 0.05 \text{ (mm)}$ $v= 20 \text{ (mm/s)}$

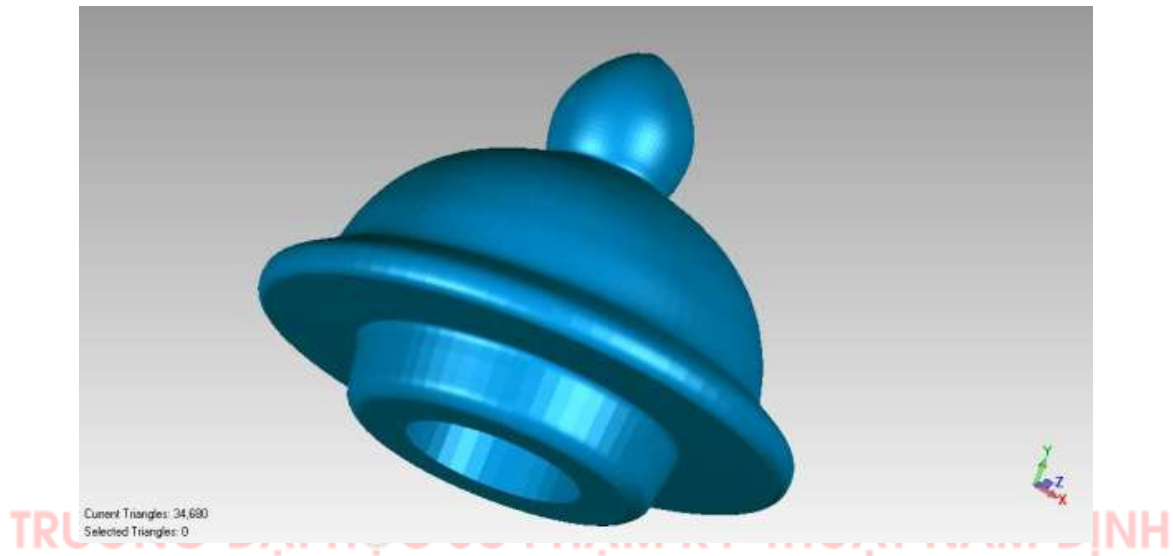
2				D= 0.4 (mm) v= 20 (mm/s)
3				D= 0.05 (mm) v= 150 (mm/s)
4				D= 0.4 (mm) v= 150 (mm/s)
5				D= 0.225 (mm) v= 85 (mm/s)
6				D= 0.225 (mm) v= 85 (mm/s)
7				D= 0.225 (mm) v= 85 (mm/s)

Hình 3. 33: Mẫu in thực nghiệm

3.5.3.2. Thống kê và xử lý số liệu thực nghiệm

3.5.3.2. 1. Lấy mẫu đo độ nhám bề mặt

Tác giả sử tiến hành in theo bảng thông số 3.2 từ mẫu 1 đến mẫu 7 theo file STL hình 3.7



Hình 3. 34: File in 3D cho 7 mẫu

3.5.3.2. 2. Thiết bị đo độ nhám bề mặt

Tác gia sử dụng máy đo độ nhám cầm tay 178-561-01E Mitutoyo tại phòng thực hành- trường Cao đẳng nghề Việt Xô- TP Ninh Bình.



Hình 3. 35: Máy đo độ nhám cầm tay 178-561-01E Mitutoyo

Tên sản phẩm:	Máy đo độ nhám cầm tay 178-561-01E Mitutoyo
Mã sản phẩm (Model / Code / Part No.):	178-561-01E
Thương hiệu:	<u>Mitutoyo</u>
Đơn vị tính:	Cái
Phạm vi đo:	17.5mm
Tốc độ đo:	0.25, 0.5, 0.75mm / s 1mm / s (Trở lại)
Dãy phát hiện:	360 μ m (-200 μ m đến + 160 μ m)
Đo lực:	0.75mN

Bảng 3. 4: Thông số cơ bản máy đo độ nhám cầm tay 178-561-01E Mitutoyo

Sau quá trình đo độ nhám bề mặt, tác giả thu được bảng ma trận kế hoạch như sau

Số thí Nghịem	Các yếu tố theo tỉ lệ thực		Các yếu tố theo tỉ lệ mã hóa		Hàm mục tiêu
	Z ₁	Z ₂	X ₁	X ₂	Ra (μm)
1	0.05	20	-	-	1,171
2	04	20	+	-	2,027
3	0.05	150	-	+	1,695
4	0.4	150	+	+	11,540
5	0.225	85	0	0	8,806
6	0.225	85	0	0	8,301
7	0.225	85	0	0	9,662

Bảng 3. 5: Bảng ma trận kế hoạch thực nghiệm

3.5.3.3. Xây dựng mô tả toán học

Sau khi đã đo đạc và tính toán để thu được giá trị của hàm mục tiêu ở bảng 3.6, tác giả tiến hành xác định các hệ số hồi quy trong phương trình hồi quy. Phương trình hồi quy (3.4): $\hat{Y} = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_{12}X_{12}$ (3.11)

Các hệ số của phương trình hồi quy là độc lập nhau. Công thức tổng quát để tính các hệ số a trong phương trình hồi quy của quy hoạch trực giao cấp I tương ứng với k yếu tố ảnh hưởng như sau [5]:

$$a_0 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n y_i$$

$$a_i = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n x_i y_i$$

$$a_{ij} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n x_{ij} y_i$$
(3.12)

Ý nghĩa của hệ số a trong phương trình hồi quy: giá trị của hệ số a_j trong phương trình hồi quy đặc trưng cho sự đóng góp của yếu tố thứ j vào đại lượng Y. Hệ số nào có giá trị tuyệt đối lớn nhất thì yếu tố tương ứng sẽ ảnh hưởng đến quá trình là nhiều nhất.

Để tiện lợi khi tính toán các hệ số tương hỗ (tương tác kép, tương tác ba) ta có thể mở rộng bảng ma trận kế hoạch như sau:

STT	X ₀	X ₁	X ₂	X ₁₂	Ra (μm)
1	+	-	-	+	1,171
2	+	+	-	-	2,027
3	+	-	+	-	1,695
4	+	+	+	+	11,540

Bảng 3. 6: Bảng ma trận kế hoạch mở rộng

Áp dụng công thức (3.12), ta tính được các hệ số của phương trình hồi quy:

$$a_0 = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 x_0 y_i = \frac{1.171 + 2.027 + 1.695 + 11.540}{4} = 4.11$$

$$a_1 = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 x_1 y_i = \frac{-1.171 + 2.027 - 1.695 + 11.540}{4} = 2.68$$

$$a_2 = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 x_2 y_i = \frac{-1.171 - 2.027 + 1.695 + 11.540}{4} = 2.50$$

$$a_{12} = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 x_{12} y_i = \frac{1.171 - 2.027 - 1.695 + 11.540}{4} = 2.25$$

Để kiểm tra ý nghĩa của các hệ số a trong phương trình hồi quy cần phải tính phương sai tái sinh (còn gọi là phương sai lặp – làm thí nghiệm lặp ở tâm kế hoạch). Tính có nghĩa của các hệ số của phương trình hồi quy có thể kiểm tra đối với mỗi hệ số theo chuẩn số Student và việc loại khỏi phương trình hồi quy (3.8) các hệ số không có nghĩa không phản ánh lên giá trị của các hệ số còn lại. Tất cả các hệ số của phương trình (3.8) được xác định với độ chính xác như nhau, nghĩa là độ lệch chuẩn của các hệ số a có chung một giá trị.

$$\text{- Độ lệch chuẩn [5]: } S_{aj} = \frac{S_{ts}}{\sqrt{n}} \quad (3.13)$$

Trong đó: + n : số thí nghiệm thực hiện

+ S_{ts} là phương sai tái sinh, được xác định theo công thức [5]: :

$$S_{ts}^2 = \frac{\sum_{a=1}^m (y_a^0 - \bar{y}^0)^2}{m-1} \quad (3.14)$$

Trong đó: y_a^0 : giá trị thí nghiệm thứ a tại tâm kế hoạch

m : số thí nghiệm lặp lại tại tâm kế hoạch

$\bar{y}^0$: giá trị trung bình của các thí nghiệm lặp:

$$\bar{y}^0 = \frac{1}{m} \left(\sum_{a=1}^m y_a^0 \right) \quad (3.15)$$

Áp dụng các công thức (3.13), (3.14), (3.15) để tính phương sai cho 3 thí nghiệm lặp tại tâm đã thực hiện trong Bảng 3.6 (các thí nghiệm 5, 6, 7). Ta thu được bảng sau:

STT	Y_a^0	$\bar{Y}^0$	$Y_a^0 - \bar{Y}^0$	$(Y_a^0 - \bar{Y}^0)^2$	$\sum (Y_a^0 - \bar{Y}^0)^2$
1	8,806	8,923	-0,117	0,014	0,947
2	8,301		-0,622	0,387	
3	9,662		0,739	0,546	

Bảng 3. 7: Kết quả các thí nghiệm ở tâm

Thay số vào công thức (3.14) ta có: $S_{ts}^2 = \frac{1}{3-1} \cdot 0,947 = 0,4735$

Suy ra: $S_{ts} = 0,689$. Thay vào (3.13) ta được: $S_{aj} = \frac{0.689}{\sqrt{4}} = 0.3445$

Sự có nghĩa của hệ số hồi quy được kiểm định theo tiêu chuẩn Student:

$$t_j = \frac{|a_j|}{S_{aj}} \quad (3.16)$$

Trong đó: t_j là giá trị chuẩn số Student

a_j là các hệ số của phương trình hồi quy

S_{aj} là độ lệch trung bình của hệ số thứ j.

Bậc tự do của phương sai có giá trị $f_2 = m - 1 = 3 - 1 = 2$. Nếu giá trị t_{aj} tính toán lớn hơn giá trị tra bảng $t_{(p,f_2)}$ ứng với giá trị đã chọn của mức có nghĩa p và bậc tự

do lập f_2 , thì hệ số b_j tồn tại khác không, nếu ngược lại thì cần loại bỏ. Với mức có nghĩa $p = 0,99$, bậc tự do lập $f_2 = 2$, tra bảng phụ lục 1 - giá trị chuẩn số Student, ta được $t_{(0,99;2)} = 6,965$. Theo đó, ta có bảng đánh giá sau:

STT	a_j	t_j	$t_{(0,99;2)}$	Đánh giá
a_0	4.11	11,930	6,965	Phù hợp
a_1	2.68	7,779		Phù hợp
a_2	2.5	7,257		Phù hợp
a_{12}	2.25	6,531		Loại

Bảng 3. 8: Bảng đánh giá các hệ số phương trình hồi quy

Như vậy, theo bảng 3.8, ta thấy các hệ số a_0, a_1, a_2 , có nghĩa. Tức là mô hình quan hệ giữa độ dày lớp in và vận tốc in với độ nhám vật in 3D có thể được mô tả ở dạng sau:

$$\hat{Y} = 4.11 + 2.68X_1 + 2.5X_2 \quad (3.17)$$

3.5.3.4. Kiểm tra tính tương hợp của mô hình đã thiết lập

Để đánh giá sự tương thích của phương trình hồi quy (3.17) với thực nghiệm cần phải kiểm định theo chuẩn Fisher [5]:

$$F = \frac{S_{du}^2}{S_{ts}^2} \leq F_B = F_{p;f_1;f_2} \quad (3.18)$$

Trong đó: S_{du}^2 – phương sai dư, tính theo công thức:

$$S_{du}^2 = \frac{1}{n-m-1} \sum (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (3.19)$$

F: giá trị tính của chuẩn số Fisher

F_B : giá trị tra bảng của chuẩn số Fisher ở mức có nghĩa p ; bậc tự do lập f_2 và bậc tự do dư $f_1 = n - m - 1$

n : số thí nghiệm $n = 4$

m : số các thông số cần xác định, trừ thông số a_0 ; theo (3.17) ta có $m = 2$

Từ (3.17) ta xác định được các giá trị của $\hat{y}$ tại các điểm thí nghiệm, đồng thời lập được bảng sau:

Stt	y_i	$\check{y}_i$	$y_i - \check{y}_i$	$(y_i - \check{y}_i)^2$	$\sum (y_i - \hat{y}_i)^2$
1	1,171	-1,07	2,241	5,022	20,201
2	2,027	4,29	-2,263	5,121	
3	1,695	3,93	-2,235	4,995	
4	11,540	9,29	2,25	5,063	

Bảng 3. 9: Giá trị hàm hồi quy

- Thay số vào (3.19) ta có $S_{du}^2 = \frac{1}{4-2-1} 20,201 = 20,201$

- Thay số vào (3.18) ta có $F = \frac{20,201}{0,475} = 42,53$

Tra bảng phụ lục 2, bảng chuẩn số Fisher ở mức có nghĩa $p = 0.99$ với $f_1 = n - m = 4 - 2 = 2$; $f_2 = 2$, ta được $F_B = 99$.

Ta thấy $F = 42,53 < F_B = 99$

Như vậy mô hình hàm hồi quy tương hợp với thực tế

$$\check{y} = 4.11 + 2.68X_1 + 2.5X_2$$

Áp dụng công thức tính toán chuyển phương trình hồi quy theo biến mã hóa (x_1, x_2) về phương trình theo biến thực (D, v) ta được phương trình hồi quy mô tả mối quan hệ giữa các thông số chế độ in 3D gồm độ dày lớp in và vận tốc in đến độ nhám bề mặt vật in như sau:

$$Ra = -2,57 + 15,314D + 0.038v \quad (3.20)$$

Trong phương trình hồi quy (3.20) nhận được, ta thấy rằng độ dày lớp in- D (mm) và tốc độ in v (mm/s) có ảnh hưởng lớn đến độ nhám bề mặt mẫu in Ra theo quan hệ toán học bậc 1 trong khoảng biến thiên của độ dày lớp in từ $0.05 \div 0.4(mm)$ và vận tốc in trong khoảng $v = 20 \div 150(mm/s)$.

3.6. Kiểm tra độ nhám bề mặt sản phẩm in 3D

3.6.1. Kết quả thử độ nhám bề mặt sản phẩm

Các mẫu in sau khi thử độ nhám bề mặt như trên, ta thu được bảng sau:

Số thí	Các yếu tố đầu	Kết quả đo độ nhám bề mặt	Độ nhám
--------	----------------	---------------------------	---------

thực nghiệm	điều kiện			độ nhám bề mặt
	D (mm)	v (mm/s)		
1	0.05	20		1,171
2	0.4	20		2,027
3	0.05	150		1,695

4	0.4	150		11,540
5	0.225	85		8,806
6	0.225	85		8,301

7	0.225	85		9,662
---	-------	----	--	-------

Bảng 3. 10: Bảng kết quả độ nhám bề mặt với các chế độ in khác nhau

3.6.2. Đánh giá và so sánh độ nhám bề mặt chi tiết in 3D với độ nhám vật mẫu

Tác giả tiến hành so sánh kết quả đo độ nhám của 7 mẫu in trên với vật mẫu (Vật mẫu là mẫu nắp chöße bằng sứ còn nguyên vẹn) để thấy được chất lượng bề mặt mẫu in (Độ nhám bề mặt càng nhỏ, chất lượng bề mặt càng mịn) ta có bảng sau:

Số thí nghiệm	Các mẫu in		Độ nhám bề mặt đo được e- μ m	Vật mẫu	Tỉ lệ (%)	Đánh giá
	D (mm)	v (mm/s)		Độ nhám bề mặt đo được e- μ m		
1	0.05	20	1,171	1,086	60.87	Không đạt
2	0.4	20	2,027		72.96	Đạt
3	0.05	150	1,695		64.69	Không đạt
4	0.4	150	11,540		73.69	Đạt
5	0.225	85	8,806		73.57	Đạt
6	0.225	85	8,301		72.43	Đạt
7	0.225	85	9,662		73	Đạt

Bảng 3. 11: So sánh giới hạn độ nhám bề mặt của sản phẩm in 3D so với vật mẫu theo chế độ in khác nhau

Từ bảng so sánh trên ta thấy, trong 7 thí nghiệm thì thí nghiệm 1 và 3 cho chất lượng bề mặt mẫu in tốt nhất. Những thí nghiệm còn lại bao gồm thí nghiệm 4 và 7 cho chất lượng bề mặt xấu nhất.

3.7. Đánh giá kết quả sự ảnh hưởng của thông số công nghệ tới độ nhám bề mặt sản phẩm in 3D

Từ các kết quả nghiên cứu trên, trong điều kiện nghiên cứu trên máy in 3D Pusa i3 phục vụ cho phục dựng cổ vật, ta có thể thấy rằng độ dày lớp in và vận tốc in có ảnh hưởng rất lớn đến chất lượng mẫu in 3D. Cụ thể:

- Độ nhám bề mặt vật in 3D tỉ lệ thuận với độ dày lớp in và vận tốc in.
- Khi giảm vận tốc in thì độ nhám bề mặt giảm, khi đó bề mặt vật in trở lên bóng hơn, tính thẩm mỹ cao hơn.
- Khi tăng độ dày lớp in thì độ nhám bề mặt tăng lên, vật in có bề mặt thô, tính thẩm mỹ của sản phẩm giảm.
- Tuy nhiên đến một giới hạn nhất định (giảm độ dày lớp in, vận tốc in) thì độ nhám bề mặt vật in sẽ không còn đảm bảo.

TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT NAM ĐỊNH

KẾT LUẬN

Luận văn được tác giả nghiên cứu kết hợp giữa lý thuyết và thực nghiệm về công nghệ in 3D. Kết quả thực nghiệm phản ánh tính đúng đắn của lý thuyết khi in 3D.

Cụ thể, tác giả đã nghiên cứu:

- Tổng quan về công nghệ thiết kế ngược, phương pháp in 3D;
- Tình hình nghiên cứu trong và ngoài nước về công nghệ in 3D;
- Tổng quan về vật liệu sử dụng trong in 3D;
- Xây dựng, lắp ráp, chế tạo máy in 3D theo dạng Pusa i3;
- Các thông số công nghệ trong in 3D;
- Các giai đoạn và tùy chỉnh trong quá trình in 3D;
- Ảnh hưởng của các yếu tố đến chất lượng in 3D;
- Ảnh hưởng của thông số độ dày lớp in và tốc độ in đến độ nhám bề mặt sản phẩm in 3D;

- Xây dựng được phương trình hồi quy mô tả mối quan hệ giữa các thông số chế độ in 3D đến độ nhám bề mặt sản phẩm in 3D.

$$Ra = -2,57 + 15,314D + 0.038v$$

Từ đó chỉ ra mối quan hệ giữa độ dày lớp in (D -mm) và tốc độ in (v -mm/s) đến độ nhám bề mặt Ra sản phẩm in 3D như sau:

+ Độ dày lớp in (D -mm) và tốc độ in (v -mm/s) là hai thông số quan trọng khi in 3D

+ Khi giảm độ dày lớp in thì độ nhám bề mặt Ra cũng giảm.

+ Vận tốc in cũng có ảnh hưởng tới độ nhám bề mặt nhưng không nhiều và mức giảm của độ nhám bề mặt có giới hạn nhất định dù giảm độ dày lớp in và vận tốc in.

Trong phạm vi nghiên cứu của luận văn này, khi sử dụng máy in 3D Prusa i3 phục vụ cho phục chế cổ vật, tác giả xin đưa ra chế độ in 3D tối ưu cho sản phẩm có chất lượng tốt nhất là:

- D (mm) - độ dày lớp in từ $0.05 \div 0.4$ (mm)
- V (mm/s)- vận tốc in trong khoảng $v = 20 \div 150$ (mm / s).

KIẾN NGHỊ

Trong phạm vi luận văn này, tác giả đã bước đầu nghiên cứu và tính toán được mối quan hệ giữa các thông số chế độ in 3D với chất lượng bề mặt sản phẩm in. Việc mô tả mối quan hệ này dưới dạng hàm tuyến tính bậc một cho kết quả tương thích với quá trình thực nghiệm. Kết quả này có thể dùng làm tiền đề cho những nghiên cứu sau này với những loại máy in 3D khác nhau. Tác giả xin đề xuất hướng nghiên cứu như sau:

- Có thể bổ sung thêm các yếu tố ảnh hưởng đầu vào và mục tiêu đầu ra khi nghiên cứu thực nghiệm để mô tả đầy đủ và chính xác quá trình in 3D.
- Nghiên cứu in 3D trên những vật liệu khác (Nhựa ABS...) với đường kính và mẫu in đa dạng, có độ phức tạp hơn.
- Tiến hành xây dựng phần mềm hỗ trợ để tính toán chính xác tỷ lệ giữa các thông số in 3D, đảm bảo chất lượng mẫu in là tốt nhất.

TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT NAM ĐỊNH

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] [2] Nguyễn Đắc Lộc, Sổ tay công nghệ chế tạo máy tập 1, 2007- Nhà xuất bản khoa học kỹ thuật
- [3] Trần Ngọc Tú, Đồ án "Nghiên cứu công nghệ thiết kế ngược và ứng dụng vào quá trình tạo mẫu nhanh".
- [4]. Tài liệu Công nghệ Scan 3D: <http://diwo.bq.com/en/horus-released/>
- [5]. Nguyễn Doãn Ý (2013), Giáo trình Quy hoạch thực nghiệm, Nhà xuất bản Khoa Học và Kỹ Thuật, Hà Nội.
- [6]. Nguyễn Minh Tuyển (2005), Quy hoạch thực nghiệm, Nhà xuất bản Khoa Học
- [7] Tiêu chuẩn độ nhám bề mặt : <http://www.bkmech.com.vn/tieu-chuan-do-nham-be-mat.html>

TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT NAM ĐỊNH