

## Hiện trạng và chiến lược phát triển công nghệ in 3D của nước ta trong xu thế cuộc các mạng 4.0

### Current status and strategy of developing Vietnam's 3D printing technology in the trend of Industry 4.0

Đặng Văn Nghìn

*Viện Cơ học và Tin học ứng dụng, Viện Hàn lâm Khoa học và công nghệ Việt Nam*

*Email: 1412310@hcmut.edu.vn*

*Mobile: 0165 245 45 99*

---

#### Tóm tắt

##### *Từ khóa:*

Công nghiệp 4.0; In 3D; Cuộc cách mạng công nghiệp tiếp theo; Đề xuất chiến lược phát triển công nghệ in 3D.

Hiện nay in 3D là một trong những công nghệ có vai trò quan trọng của cuộc cách mạng công nghiệp lần thứ 4. Bài báo trình bày tổng quan tiến trình nghiên cứu và xu thế phát triển của công nghệ này trên thế giới. Đặc biệt ở đây là hiện trạng nghiên cứu của Việt Nam trong vòng 20 năm qua cũng như đề xuất chiến lược phát triển công nghệ in 3D ở Việt Nam đến năm 2030.

#### Abstract

##### *Keywords:*

Industry 4.0; 3D Printing; The next industrial Revolution; Strategy of developing 3D printing technology.

Nowadays, 3D printing is one of the important technologies of Industry 4.0. This article presents an overview of the research process and its evolution in the world. Especially the current research status in Vietnam over the past 20 years as well as the proposed strategy of developing 3D printing technology in Vietnam until 2030.

Ngày nhận bài: 29/06/2018

Ngày nhận bài sửa: 05/9/2018

Ngày chấp nhận đăng: 15/9/2018

---

## 1. TẦM QUAN TRỌNG CỦA CÔNG NGHỆ IN 3D TRONG CUỘC CÁCH MẠNG 4.0

Công nghệ bồi đắp vật liệu in 3D là công nghệ được các nhà khoa học trên thế giới dự báo sẽ là 1 trong những công nghệ cốt lõi trong cuộc cách mạng công nghiệp lần thứ 4.

Để có thể đáp ứng nhanh sản phẩm cho khách hàng tiêu thụ đã xuất hiện một công nghệ mới là công nghệ tạo mẫu nhanh.

Tại hội nghị thượng đỉnh toàn cầu về công nghệ tạo mẫu nhanh tổ chức vào năm 1998 tại Michigan - Mỹ. Ông Cappello đại diện cho hãng xe hơi FIAT của Italia đã báo cáo kết quả là nếu dùng công nghệ truyền thống để sản xuất manifold phải mất 6 tháng với chi phí là 150 ngàn USD, trong khi áp dụng công nghệ in 3D thì có thể rút ngắn thời gian sản xuất xuống còn 1 tháng (giảm 6 lần) với chi phí là 15 ngàn USD (giảm 10 lần) “điều kỳ diệu” là một thuật ngữ mà các nhà khoa học in 3D trên thế giới nói đến công nghệ in 3D này.

Nhà phân tích Alan Kendrick của hãng NERAC từ góc nhìn của ngành công nghiệp hàng không vũ trụ cho rằng ngành công nghệ in 3D phải chăng sẽ là cuộc cách mạng công nghiệp tiếp theo.

Trong khi các tác giả T. Campbell [1] suy nghĩ là công nghệ in 3D sẽ làm thay đổi thế giới và các dự báo tốc độ phát triển nhanh đến năm 2030. Không những vậy, công nghệ in 3D còn được dự báo sẽ là cuộc cách mạng công nghiệp tiếp theo ở thế kỷ 21.

Trong cuốn sách “Chế tạo nhanh” là cuộc cách mạng mới cho kỷ nguyên kỹ thuật số của tác giả N.HopKimSon đề cập đến các nội dung về tạo mẫu nhanh và chế tạo nhanh.

GS. E. J. Kenedy và G. Meyer đến từ Nottingham ở ĐH Maryland (Mỹ) có quan điểm là cuộc cách mạng công nghiệp tiếp theo trên nền tảng in 3D nhà máy sản xuất tại nhà và mô hình điều khiển xã hội.

Trong cuốn sách của mình về công nghệ in 3D tác giả C.Barnatt cũng dành riêng chương đầu tiên về cuộc cách mạng tiếp theo.

Giáo sư tiến sĩ R.S.Kalva của Ấn độ trong báo cáo nói công nghệ in 3D sẽ là tương lai của ngành chế tạo máy và là cuộc cách mạng công nghiệp tiếp theo.

Tác giả Barry Berman [2] khẳng định ngay trong bài báo trên tạp chí triển vọng kinh doanh in 3D là cuộc cách mạng công nghiệp mới.

Tại hội nghị quốc tế về cuộc cách mạng công nghiệp tiếp theo - chế tạo máy và xã hội trong thế kỷ 21 tại Tuninnf - Italia vào ngày 14-15/11/2014, chuyên gia tư vấn Roland Berger [3] đã trình bày báo cáo về cuộc cách mạng công nghiệp lần thứ 4. Ở đây tác giả mạnh dạn đưa ra mô hình nhà máy 4.0 mà cốt lõi là công nghệ in 3D.

Tác giả Muniz trong chính sách công nghiệp của cộng đồng châu Âu vào năm 2012 cũng nhấn mạnh in 3D sẽ là chìa khóa cho cuộc cách mạng công nghiệp mới.

Trong tài liệu tác giả đã giới thiệu hệ thống thực - ảo là nền tảng của cuộc cách mạng 4.0, còn trong tài liệu các tác giả đã tích hợp hệ thống thực ảo trong thiết bị bồi đắp vật liệu - in 3D.

## **2. HIỆN TRẠNG PHÁT TRIỂN CÔNG NGHỆ IN 3D TRÊN THẾ GIỚI VÀ VIỆT NAM**

### **2.1. Tổng quan tình hình nghiên cứu trên thế giới**

#### **2.1.1. Sự ra đời và phát triển**

Vào năm 1984 Charles W.Hull nộp bằng sáng chế đầu tiên (Patent US 4575330) về máy in 3D theo phương pháp tạo hình lập thể SLA (Stereo Lithography Apparatus) và được công nhận năm 1986. Cũng trong năm 1986, ông tiếp tục thành lập công ty 3D System để phát triển máy in 3D và chiếc máy đầu tiên trên thế giới ra đời vào năm 1987.

Cũng trong năm 1987, Carl Deckard, tại đại học Texas đã nộp bằng sáng chế US 4863538 tại Mỹ và quá trình in 3D bằng phương pháp thiêu kết chọn lọc bằng laser (SLS) và được công nhận vào năm 1989.

Vào năm 1989 Scott Crump, người đồng sáng lập của Stratasys Inc. Đã nộp một bằng sáng chế US 5121329 về công nghệ đùn nhựa nóng chảy FDM (Fused Deposition Modelling).

Năm 1991, Michael Feygin nộp bằng sáng chế US 5354414 về công nghệ dán theo lớp LOM (Laminated Object Manufacturing).

Vào năm 1993, Emanuel Sachs thuộc viện công nghệ Massachusetts (MIT) đăng ký sáng chế “3 Dimensional Printing technique (3DP)” (Patent US 5204055).

Năm 2004-2005 Tiến sĩ Bowyer đưa ra RepRap như một khái niệm về một mã nguồn mở, tự sao chép máy in 3D phát triển từ tên thương mại FDM, nhưng được gọi là phương pháp gia

công từ sợi nhựa nóng chảy FFF (Fused Filament Fabrication). Nhờ vào mã nguồn mở này đã mang lại nguồn lợi lớn cho các công ty, một trong số đó là Stratasys.

Một số công nghệ in 3D kim loại như: DMD, SLM, EBM...

### 2.1.2. Khái niệm và phân loại công nghệ in 3D

Tên khởi đầu của in 3D là tạo mẫu nhanh (Rapid Prototyping). Tuy nhiên có nhiều thuật ngữ liên quan đến công nghệ này như: Công nghệ gia công không khuôn, gia công theo lớp, gia công tự động,...

Tuy nhiên khái niệm chính xác và toàn diện hơn cả về công nghệ này được Terry Wohlers- Chủ tịch hiệp hội tạo mẫu nhanh trên thế giới đưa ra vào năm 2001 như sau:

“Tạo mẫu nhanh là công nghệ chế tạo mô hình vật lý hoặc mẫu in từ dữ liệu thiết kế ba chiều trên máy tính hoặc từ dữ liệu cắt lớp điện toán CT, cộng hưởng từ MRI hoặc từ dữ liệu của các thiết bị số hóa ba chiều”.

Ngày nay có rất nhiều công nghệ in 3D khác nhau đang được sử dụng và thương mại hóa. Trong đó nhiều công nghệ có những đặc điểm chung về nguồn vật liệu, năng lượng, phương pháp tạo mẫu.

Có rất nhiều cách để phân loại hệ thống in 3D trên thị trường và một trong những cách tốt hơn là phân loại chúng bằng trạng thái vật liệu ban đầu. Theo cách này, hệ thống in 3D có thể dễ dàng phân loại thành: Dựa trên vật liệu lỏng, vật liệu rắn và vật liệu bột.

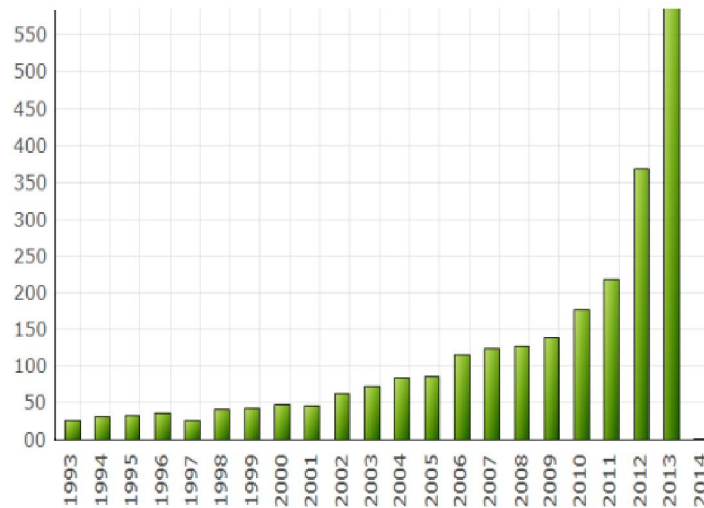
Tuy nhiên theo các cách phân loại này thì chưa thể hiện bản chất vật lý của các công nghệ tạo in 3D. Vào năm 2012 hiệp hội thử nghiệm và vật liệu ASTM của Hoa Kỳ đã đưa ra tiêu chuẩn về thuật ngữ: công nghệ bồi đắp vật liệu (Additive Manufacturing).

**Bảng 1.** Phân loại của công nghệ bồi đắp vật liệu

Đồng đặc vật liệu nhựa cảm quang	- Công nghệ in thạch bản SLA. - Công nghệ ánh sáng kỹ thuật số DLP.
Phun vật liệu	- Công nghệ tạo mẫu nhiều vòi phun MJM.
Đùn vật liệu	- Công nghệ đùn nhựa nóng chảy FDM.
Làm nóng chảy kim loại.	- Công nghệ in nóng chảy bằng chùm điện tử EBM. - Công nghệ thiêu kết bột nhựa bằng laser SLS. - Công nghệ thiêu kết bột nhựa bằng nhiệt SHS. - Công nghệ thiêu kết trực tiếp kim loại bằng laser DMLS.
Phun chất kết dính	- Công nghệ đầu phun mực kết dính bột PBIH. - Công nghệ tạo mẫu dựa trên lớp phủ dính kết PP.
Dán tấm	- Công nghệ cắt dán giấy bằng laser LOM. - Công nghệ tạo mẫu bằng siêu âm.
Kết dính bằng năng lượng trực tiếp	- Công nghệ kết dính kim loại bằng laser.

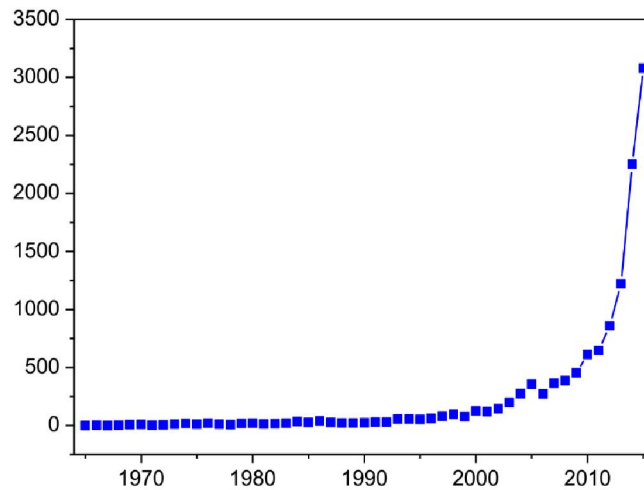
### 2.1.3. Các kết quả đạt được

Sự phát triển công nghệ in 3D và sự xuất bản các bằng sáng chế liên quan bắt đầu xuất hiện từ những năm 1980 với sự gia tăng rõ rệt trong các hoạt động xung quanh công nghệ này xảy ra trong 5 năm qua.



**Hình 1.** Thống kê số lượng bằng sáng chế liên quan đến công nghệ in 3D

Theo một số IP bắt đầu hết hạn từ năm 2000, kỹ thuật AM đã bắt đầu thu hút rất nhiều sự quan tâm từ ngành công nghiệp, dẫn đến một sự tăng trưởng đáng kể trong nghiên cứu AM liên quan, do đó số lượng AM công bố đã tăng theo cấp số nhân với hơn 3.000 trên toàn cầu trong năm 2015 (hình 1) [4].



**Hình 2.** Tổng số các ấn phẩm AM trên toàn cầu hàng năm

Số sách về công nghệ in 3D từ năm 1993 đến nay đã có khoảng 90 cuốn. Trong các sách, số tay có thể thấy xu thế phát triển từ tạo mẫu nhanh, tạo khuôn nhanh đến sản xuất nhanh (có thể chế tạo nhanh chi tiết nhựa, gốm sứ, kim loại và hợp kim).

Các kết quả nghiên cứu về in 3D kim loại được trình bày trong các tài liệu [7,8]. Áp dụng trong nhiều công việc khác nhau như tên lửa, y học và trang sức.

Một trong những thành tựu của công nghệ này là áp dụng trong an ninh quốc phòng được trình bày trong tài liệu [9].

In 3D kim loại là một công nghệ phức tạp đa vật lý, nhiều thông số cho nên trước khi nghiên cứu thí nghiệm thường tiến hành mô hình hóa và mô phỏng. Các kết quả nghiên cứu này được trình bày trong 2 cuốn [10,11].

Có thể nói trong giai đoạn này công nghệ in 3D đang phát triển bùng nổ và có những hướng phát triển mới là công nghệ in 4D được J.C André trình bày trong tuyển tập 4 cuốn [12].

Một hướng nghiên cứu áp dụng của công nghệ in 3D là trong y học và hình thành các sản phẩm thương mại về in 3D sinh học để in nội tạng của người [13,14], cũng như áp dụng cho các vật liệu khác như gốm, sứ, thủy tinh và vật liệu thông minh.

## 2.2. Hiện trạng của Việt Nam

Nhóm đầu tiên về công nghệ tạo mẫu nhanh được thành lập vào tháng 3 năm 1999 tại khoa Cơ khí trường đại học Bách khoa TP.HCM. Mục đích của nhóm là nghiên cứu và phát triển loại công nghệ mới này [5].

Vào năm 2001 khoa Cơ khí đầu tư máy SLA250 Viper.

Vào giai đoạn 2005-2006 Phòng thí nghiệm trọng điểm quốc gia Điều khiển số và Kỹ thuật hệ thống cũng trang bị hai loại máy là Polyjet và SLS. Trường đại học Bách khoa Hà Nội cũng đầu tư một máy Polyjet, còn đại học Thái Nguyên thì mua một máy theo công nghệ 3D Printing (tên mới là Binder Jetting). Khu công nghệ cao trường đại học Sư phạm kỹ thuật TP.HCM và trường đại học Nha Trang đầu tư máy FDM.

Về hoạt động khoa học công nghệ có các đề tài sau đây về công nghệ tạo mẫu nhanh:

- Năm 2002-2004 khoa Cơ khí ĐHBK TP.HCM được Bộ KH-CN giao đề tài cấp nhà nước “Nghiên cứu áp dụng công nghệ tạo mẫu nhanh để chế tạo các chi tiết phức tạp” chủ trì là PGS.TS Đặng Văn Nghìn, kết quả là đã cấy ghép cho 25 bệnh nhân bởi các miếng sọ não được chế tạo bởi công nghệ SLA cho 3 bệnh viện là: Chợ Rẫy, 115 và Nhân dân Gia Định.

- Năm 2012-2013 Viện Cơ học và Tin học ứng dụng được Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam giao đề tài cấp Viện “Nghiên cứu thiết kế chế tạo và điều khiển CNC hệ thống tạo mẫu nhanh” chủ trì là PGS.TS Đặng Văn Nghìn.

- Năm 2013-2014 Phòng thí nghiệm trọng điểm quốc gia Điều khiển số và Kỹ thuật hệ thống thực hiện đề tài cấp cơ sở “Nghiên cứu thiết kế và chế tạo máy tạo mẫu nhanh LOM”.

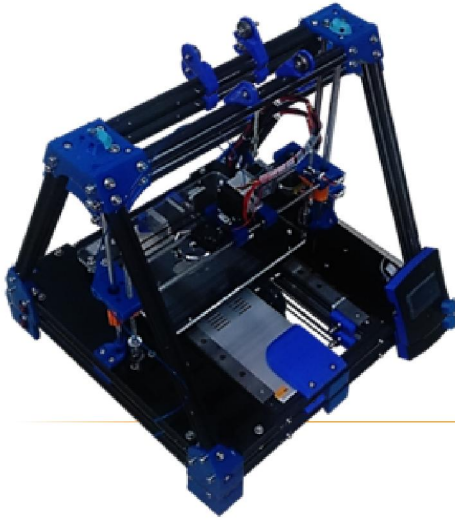
- Năm 2013-2015 Phòng thí nghiệm trọng điểm quốc gia Điều khiển số và Kỹ thuật hệ thống được Bộ KH-CN giao chủ trì đề tài độc lập “Nghiên cứu thiết kế chế tạo máy tạo mẫu nhanh FDM” do PGS.TS Thái Thị Thu Hà chủ trì, đây là máy tạo mẫu nhanh công nghiệp lần đầu tiên được chế tạo tại Việt Nam.



<b>Kích thước máy</b>	600x600x1000mm
<b>Hành trình các trục</b>	Trục X: 400mm Trục Y: 400mm Trục Z: 450mm
<b>Số lượng đầu đùn</b>	2 (1 đầu chạy vật liệu tạo mẫu, một đầu chạy vật liệu hỗ trợ)
<b>Đường kính đầu</b>	0.3mm
<b>Vật liệu</b>	Sợi nhựa ABS đường kính 1,75mm
<b>Nhiệt độ đầu đùn</b>	180-280°C ±5 °C
<b>Nhiệt độ buồng máy</b>	30-70°C ±5 °C

**Hình 3.** Máy in 3D VINA FDM 2015

- Sản phẩm của đề tài là máy in 3D cho công nghệ đùn nhựa nóng bản VINA FDM 2015, được thực hiện vào năm 2015 có các đặc tính kỹ thuật kèm theo.
- Nhóm tác giả Nguyễn Hoàng Vũ, Nguyễn Tấn Thắng và Nguyễn Thị Thúy Thanh của trường Cao đẳng Công thương Tp.HCM đã thực hiện đề tài cấp Bộ “Nghiên cứu thiết kế chế tạo chi tiết chân giả bằng công nghệ FDM”.
- Năm 2015-2017 Viện Cơ học và Tin học ứng dụng thực hiện đề tài trẻ cấp Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam “Nghiên cứu, thiết kế, chế tạo chi tiết cấy ghép y học áp dụng công nghệ in 3 chiều”.



**Hình 4.** Hệ thống tích hợp in 3D và quét 3D

- Đây là hệ thống tích hợp giữa 3 máy quét 3D giá rẻ và 1 máy in 3D dòng RepRap mã nguồn mở.
  - Năm 2014-2016 Phòng thí nghiệm trọng điểm quốc gia Điều khiển số và Kỹ thuật hệ thống thực hiện đề tài “Nghiên cứu thiết kế chế tạo hệ thống tích hợp giữa máy quét 3D với máy tạo mẫu nhanh”. Đề tài do PGS.TS Đặng Văn Nghìn chủ trì đã kết thúc, các sản phẩm của đề tài đã tham gia một số hội chợ, triển lãm trong nước.
- Hiện nay đã có một số trường đưa công nghệ in 3D vào chương trình đào tạo như: Đại học Bách khoa Tp.HCM, Đại học Nha Trang, Đại học Cần Thơ.

### **3. ĐỀ XUẤT CHIẾN LƯỢC PHÁT TRIỂN CÔNG NGHỆ IN 3D CỦA NƯỚC TA ĐẾN NĂM 2030**

Công nghệ in 3D là một trong những công nghệ mới nổi có vai trò quan trọng trong sản xuất ở thế kỷ 21. So sánh với các nước trên thế giới, tuy chúng ta đã có những nghiên cứu khởi đầu nhưng còn đơn lẻ và manh mún, cho nên tôi xin đưa ra một số ý kiến sau đây:

1. Xây dựng bản đồ công nghệ và lộ trình phát triển công nghệ in 3D với các kế hoạch ngắn hạn đến năm 2020 trung hạn đến 2025 và dài hạn đến 2030 hoặc xa hơn nữa.
2. Xây dựng chương trình đào tạo nguồn nhân lực về công nghệ in 3D.

Đề xuất và thực hiện các nhiệm vụ khoa học công nghệ về in 3D đặc biệt là in 3D kim loại tập trung vào ứng dụng cho y học, khuôn mẫu và an ninh quốc phòng.

Và sau đây là đề xuất chiến lược phát triển công nghệ in 3D của nước ta trong 3 giai đoạn đến năm 2030.

### **Giai đoạn 1: (2018-2020)**

#### **Mục tiêu:**

- Mục tiêu thứ nhất của giai đoạn này là hoàn thiện công nghệ in 3D, galvo để triển khai áp dụng trong các lĩnh vực chế tạo chi tiết cấy ghép y học, cắt và khắc vật liệu trong công nghiệp cũng như sản xuất nữ trang.
- Mục tiêu thứ 2 của giai đoạn này là phát triển và làm chủ công nghệ in 3D kim loại.

#### **Nội dung và các danh mục đề tài, dự án sản xuất thử nghiệm:**

1. Đề tài: Nghiên cứu thiết kế và chế tạo máy SLM.
2. Dự án sản xuất thực nghiệm: “Hoàn thiện công nghệ chế tạo và thử nghiệm chi tiết cấy ghép sọ não”.
3. Dự án sản xuất thực nghiệm: “Hoàn thiện công nghệ và thiết bị cắt các loại vật liệu bằng laser dùng đầu quét galvo”.
4. Đề tài: Nghiên cứu công nghệ và thiết bị sản xuất sản phẩm sinh học tự hủy.

### **Giai đoạn 2: (2020-2025)**

#### **Mục tiêu:**

- Mục tiêu thứ nhất của giai đoạn này là hoàn thiện công nghệ in 3D kim loại để sản xuất các chi tiết khuôn mẫu cũng như chi tiết cấy ghép kim loại.
- Mục tiêu thứ 2 của giai đoạn này là phát triển các công nghệ in 3D sinh học và nha khoa.

#### **Nội dung và các danh mục đề tài, dự án sản xuất thử nghiệm:**

1. Đề tài: Nghiên cứu thiết kế chế tạo hệ thống 3D - BIO PLOTTER.
2. Dự án SXTN: “Hoàn thiện công nghệ SLA, DLP trong công nghiệp sản xuất nữ trang”.
3. Dự án sản xuất thực nghiệm: “Hoàn thiện công nghệ SLM để sản xuất khuôn mẫu”.
4. Đề tài: “Nghiên cứu thiết kế hệ thống tích hợp giữa in 3D và quét 3D”.

### **Giai đoạn 3: (2026-2030)**

#### **Mục tiêu:**

- Mục tiêu thứ nhất của giai đoạn này là hoàn thiện công nghệ in 3D sinh học áp dụng trong nha khoa và y học.
- Mục tiêu thứ 2 của giai đoạn này là phát triển công nghệ in 3D kim loại thông minh và công nghệ in 3D lai (Hybrid) giữa in 3D kim loại và cắt gọt.

#### **Nội dung và các danh mục đề tài, dự án sản xuất thử nghiệm:**

1. Dự án sản xuất thực nghiệm: “Hoàn thiện công nghệ chế tạo các chi tiết y khoa và nha khoa bằng SLM”.
2. Dự án SXTN: “Hoàn thiện công nghệ sản xuất STENT sinh học tự hủy”.
3. Đề tài: “Nghiên cứu thiết kế chế tạo máy SLM thông minh”.
4. Đề tài: “Nghiên cứu thiết kế hệ thống lai (Hybrid)”.

### **TÀI LIỆU THAM KHẢO**

- [1]. Thomas Campbell, Christopher Williams, Olga Ivanova, Banning Garrett., 2011. *Could 3D Printing Change the World.*
- [2]. Barry Berman., 2014. Loyola University Chicago Law Journal Vol 45. *3D Printing: The New Industrial Revolution.*
- [3]. Roland Berger.,2014. *Think Act Industry 4.0.*
- [4]. Jing Li, Connor Myant, Billy Wu., 2016. *The Current Landscape For Additive manufacturing research.*

- [5]. Đặng Văn Nghìn, Viện Cơ học và Tin học ứng dụng, Viện Hàn lâm KH&CN Việt Nam. *Một vài suy nghĩ về chiến lược phát triển công nghệ in 3D của nước ta.*
- [6]. Chee Kai Chua, Chee How Wong, Wai Yee Yeong., 2017. *Standards, Quality Control, And Measurement Sciences In 3D Printing And Additive Manufacturing.*
- [7]. Li Yang, Keng Hsu, Brian Baughman, Donald Godfrey, Francisco Medina., 2017. *Additive Manufacturing of Metals: the Technology, Materials, Design and Production.*
- [8]. John O. Milewski., 2017. *Additive Manufacturing of Metals From Fundamental Technology to Rocket Nozzles, Medical Implants, and Custom Jewelry.*
- [9]. Adedeji B. Badiru, Vhance V. Valencia, David Liu., 2017. *Additive Manufacturing Handbook, Product Development for the Defence Industry.*
- [10]. Xu Guo. Gengdong Cheng. Wing-Kam Liu., 2018. *Report of the Workshop Predictive Theoretical, Computational and Experimental Approaches for Additive Manufacturing (WAM 2016).*
- [11]. Tarek I. Zohdi., 2018. *Modeling and Simulation of Functionalized Materials for Additive Manufacturing and 3D Printing: Continuous and Discrete Media, Continuum and Discrete Element Methods.*
- [12]. Jean-Claude André., 2018. *From Additive Manufacturing to 3D/4D Printing 3, Breakthrough Innovations: Programmable Material, 4D Printing and Bio-printing.*
- [13]. Aleksandr Ovsianikov. James Yoo, Vladimir Mironov., 2018. *3D printing and Biofabrication.*
- [14]. Ali Khademhosseini, Gulden Camci-Unal., 2018. *3D Bioprinting in Regenerative Engineering: Principles and Applications.*
- [15]. Eujin Pei. Mario Monzón Alain Bernard., 2019. *Additive Manufacturing- Developments in Training and Education.*
- [16]. L. Jyothish Kumar. Pulak M. Pandey David Ian Wimpenny., 2019. *3D Printing and Additive Manufacturing Technologies.*
- [17]. Bandar AlMangour., 2019. *Additive Manufacturing of Emerging Materials.*