

# NGHIÊN CỨU NÂNG CAO ĐỘ CHÍNH XÁC CỦA CÁC MẪU RỖNG TRONG 3D-PRINTING VỚI KÍCH THƯỚC TỪ 10 ĐẾN 100 MM

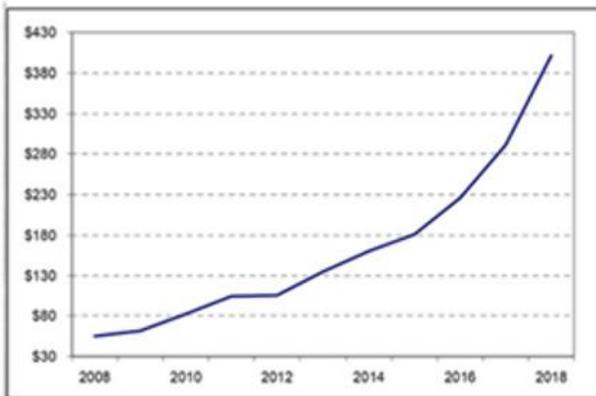
Nguyễn Công Nguyễn<sup>1</sup>

**Tóm tắt:** Với sự cạnh tranh toàn cầu về yêu cầu giảm thời gian và giá thành sản phẩm, công nghệ tạo mẫu nhanh (Rapid Prototyping-RP) nổi lên như một chìa khóa công nghệ đáp ứng được yêu cầu rút ngắn thời gian thiết kế và phát triển sản phẩm. Mặc dù RP có rất nhiều ưu điểm, nhưng nó cũng có hạn chế về độ chính xác. Đặc biệt là phương pháp in 3D-Printing dùng bột và chất kết dính có độ chính xác không cao cả về kích thước lẫn bề mặt của mẫu. Báo cáo này nghiên cứu nâng cao độ chính xác của các mẫu rỗng trong in 3D cho các sản phẩm có kích thước từ 10 đến 100mm.

**Từ khóa:** Tạo mẫu nhanh, độ chính xác, in 3D, độ chính xác kích thước, máy ZPrinter 310 Plus.

## 1. GIỚI THIỆU CHUNG

Công nghệ tạo mẫu nhanh bằng in 3D (Rapid Prototyping-RP) nổi lên như một chìa khóa công nghệ và phát triển rất nhanh trong những năm gần đây. Theo Wohlers Report 2019 tăng trưởng doanh số bán hàng đơn vị trung bình của máy in 3D tăng với tốc độ hàng năm 87,3% từ 2008-2015. Thị trường thế giới đạt 7 tỉ đô la năm 2017 (Wohlers Report, 2018). Riêng vật liệu bột polymer đạt hơn 400 triệu đô la năm 2018 (Hình 1).



Hình 1. Sự tăng trưởng của bột polyme in 3D  
Đơn vị: triệu đô la (Wholer Report 2019)

Mặc dù RP có rất nhiều ưu điểm, nhưng cũng có hạn chế về độ chính xác (C. K. Chua, 2010). Đặc biệt, phương pháp in 3D dùng bột và chất kết

đính có độ chính xác kích thước và chất lượng bề mặt của mẫu không cao. Báo cáo nghiên cứu nâng cao độ chính xác kích thước của các mẫu "rỗng" được tạo ra bằng phương pháp 3D với kích thước từ 10 đến 100 mm. Phạm vi kích thước nhỏ từ 1 đến 10 mm và kích thước lớn hơn 100 mm được đề cập ở báo cáo khác.

Mục đích của nghiên cứu là lập được phương trình sai số cho kích thước từ 10mm đến 100 mm. Từ đó có thể xác định được sai số cho kích thước in cụ thể để hiệu chỉnh trong bản vẽ thiết kế và đạt được kích thước có độ chính xác  $a = \pm 0.1$  mm.

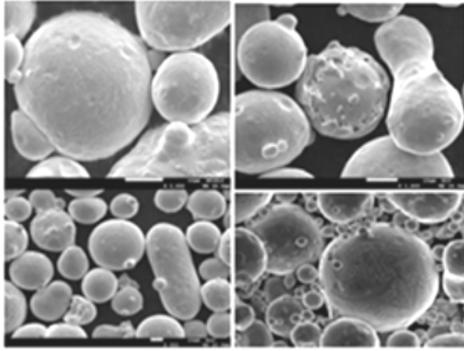
## 2. PHƯƠNG PHÁP VÀ VẬT LIỆU NGHIÊN CỨU

Nghiên cứu được thực hiện trên máy in ZPrinter 310 Plus. Vật liệu in là bột High Performance Composite ZP150 (Hình 2) và chất kết dính ZB60. Hạt bột có kích thước đường kính trung bình 100  $\mu$ m (Mitch Heynick and Ivo Stotz, 2000). Bề dày lớp in 0,1mm. Nghiên cứu được hoàn thành bằng phương pháp thực nghiệm.

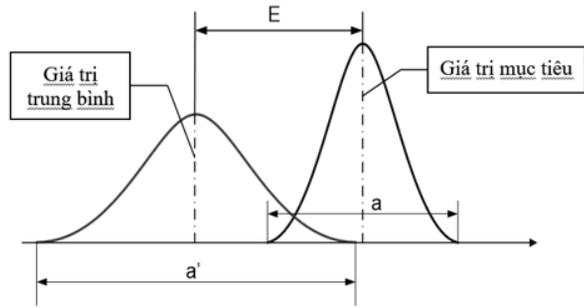
Trong lĩnh vực công nghệ chế tạo máy, sau khi một loạt chi tiết được gia công, sai số thường xảy ra hai dạng: 1) Kích thước khác với kích thước danh nghĩa, 2) dung sai lớn hơn dung sai yêu cầu (Hình 3).

E: Sai số kích thước; a: miền phân bố kích thước yêu cầu (dung sai); a': miền phân bố kích thước thực. Đường bên phải là đường phân bố kích thước yêu cầu; đường bên trái là đường phân bố kích thước thực.

<sup>1</sup> Khoa Cơ khí, Trường Đại học Thủy lợi



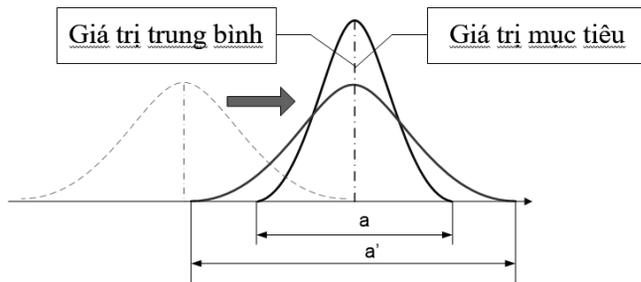
Hình 2. Bột in ZP 150



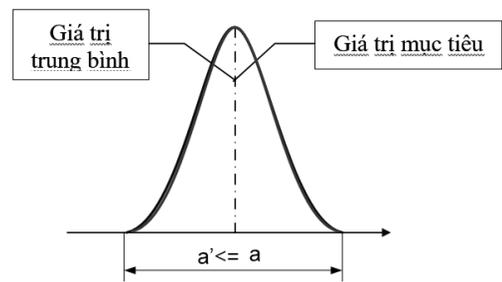
Hình 3. Sai số kích thước và dung sai

Mục đích của thí nghiệm là 1) dịch chuyển đường phân bố kích thước thực (bên trái) về trùng với đường phân bố kích thước yêu cầu (bên phải) để

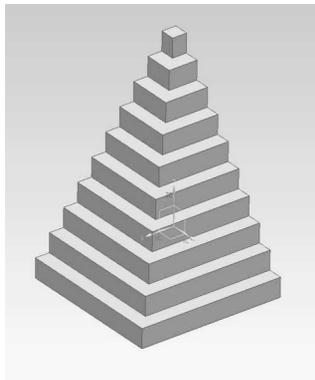
sai số  $E=0$  (hình 4); 2) giảm miền phân bố thực  $a'$  về nhỏ hơn hoặc bằng miền phân bố thực  $a$  (hình 5).



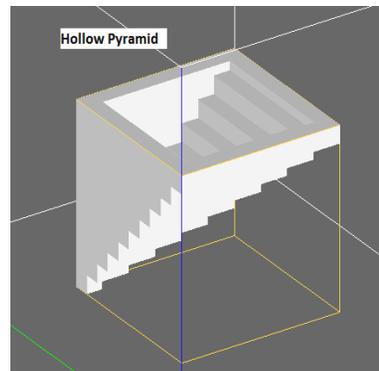
Hình 4. Dịch chuyển sai số



Hình 5. Giảm miền phân bố thực



Hình 6. Mẫu in một phần tư hình tháp bậc



Hình 7. Mẫu in rỗng

Phương pháp in 3D dùng vật liệu bột là phương pháp cho sai số lớn nhất trong các phương pháp in 3D. Cụ thể:

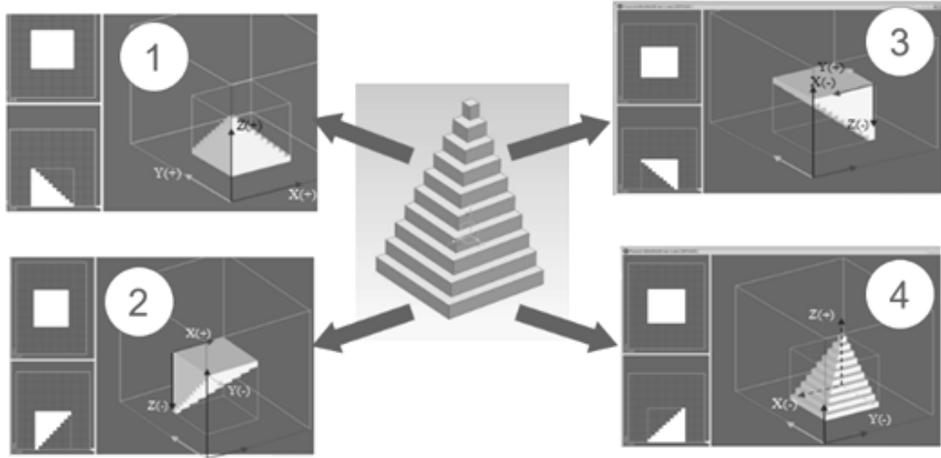
- Hệ thống Stereolithography :  $\pm 100 \mu\text{m}$  (John A. Slotwinski).
- Hệ thống FDM (Fused Deposition Modelling):  $(\pm 0.127 \div \pm 0.356 \text{ mm})$  (Stratasys, 2000).
- Hệ thống ZPrinter (Powder):  $\pm 0.5 \text{ mm}$ .

Để khảo sát kích thước mẫu in có kích thước từ 10 đến 100 mm cho cả 3 phương X, Y, Z, tác giả

dùng mẫu thí nghiệm là một phần tư hình tháp bậc, mỗi bậc 10 mm (Hình 6). Với mẫu này một lần in có thể đo được kích thước từ 10 đến 100 mm cho cả 3 phương X, Y, Z.

Trong thí nghiệm này, mẫu rỗng được in với bề dày lớp in (Layer thickness) là 0.1016 mm và 0.0889 mm (Hình 7).

Để giảm số lượng thí nghiệm, tác giả đã áp dụng mảng trực giao (orthogonal array) của phương pháp Taguchi. Kết quả là mẫu được in ở 4 vị trí như Hình 8.



Hình 8. Sơ đồ bố trí mẫu in trong khoang

Sau khi in, các mẫu được đo bằng máy FARO ARM (độ chính xác  $\pm 0.013$  mm). Kết quả cho thấy mẫu in ở vị trí số 1 có độ chính xác cao nhất. Từ đây rút ra kết luận, các mẫu có vị trí và hướng in như vị trí số 1 được áp dụng để khảo sát cho cả hình tháp đặc và hình tháp rỗng.

**Các bước thí nghiệm:** 1) in mẫu. 2) xử lý mẫu và đo. 3) thu thập dữ liệu, tính toán sai số. Nếu sai số đạt  $\pm 0.1$  mm thì dừng thí nghiệm, nếu chưa đạt thì lập phương trình quan hệ giữa sai số và kích thước danh nghĩa. 4) Tính toán kích thước hiệu chỉnh trong thiết kế CAD dựa vào phương trình sai số ở bước 3. 5) In mẫu với kích thước tính toán ở bước 4. 6) quay trở lại bước 2.

## 2. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

### 1) Mẫu rỗng với bề dày lớp in 0.1016 mm

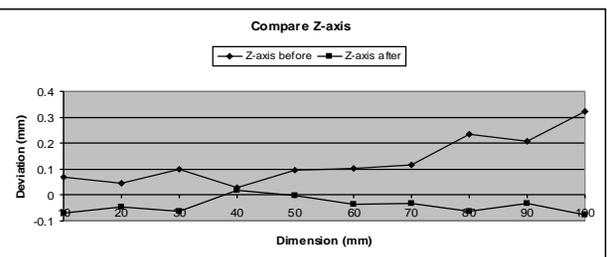
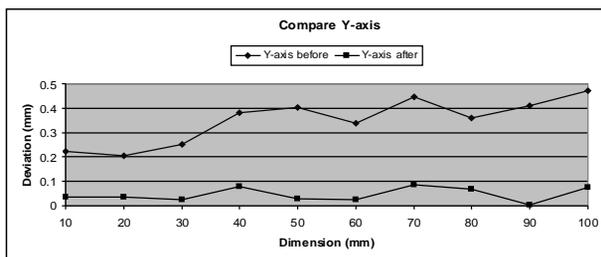
Sau khi tiến hành thí nghiệm qua 5 bước như trên, tác giả đã lập được phương trình sai số cho mẫu rỗng như sau:

$$\begin{cases} \Delta X = 0.0001 * X_0 + 0.3381 & (1.1) \\ \Delta Y = 0.0026 * Y_0 + 0.2042 & (1.2) \\ \Delta Z = 0.0026 * Z_0 - 0.0129 \text{ hoặc } \Delta Z = 5 * 10^{-05} Z_0^2 - 0.0027 * Z_0 + 0.0948 & (1.3) \end{cases}$$

-  $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ : Sai số của trục X, Y, Z (mm)

-  $X_0, Y_0, Z_0$ : Kích thước danh nghĩa (mm)

Áp dụng hệ phương trình sai số (1.1-1.3) để tính sai số cho các kích thước cụ thể, rồi hiệu chỉnh kích thước trên bản vẽ thiết kế, sau đó in mẫu. Kết quả (Hình 9) cho thấy sai số của mẫu đã thỏa yêu cầu về độ chính xác  $\pm 0.1$  mm. Đường phía trên là đường sai số trước khi hiệu chỉnh và có sai số lớn hơn. Đường phía dưới là đường sai số sau hiệu chỉnh và có sai số trong phạm vi mong muốn.



Hình 9. So sánh sai số trước và sau hiệu chỉnh với bề dày lớp in 0.1016 mm.

### 2) Mẫu rỗng với bề dày lớp in 0.0889 mm

Thí nghiệm được tiến hành tương tự như trên, chỉ

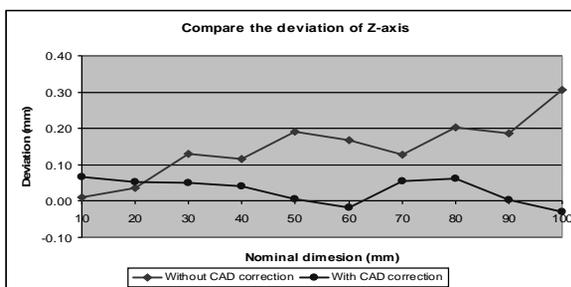
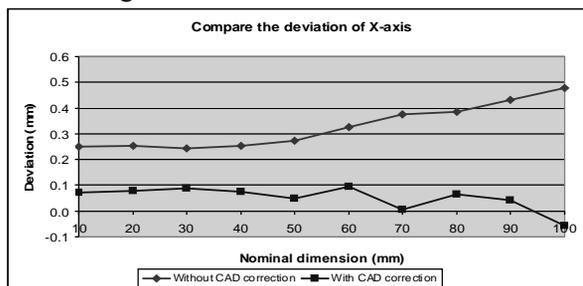
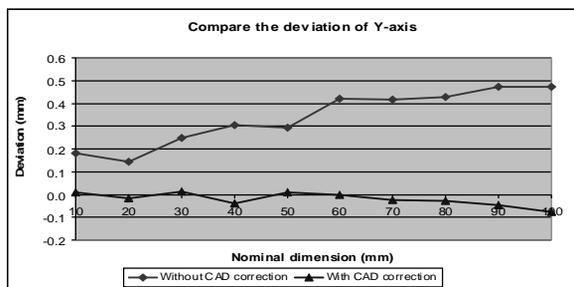
khác là bề dày mỗi lớp in là 0.0889 mm. Phương trình sai số trong trường hợp này là:

$$\begin{cases} \Delta X = 0.0027 * X_0 + 0.1779 & (2.1) \\ \Delta Y = 0.0038 * Y_0 + 0.1295 & (2.2) \\ \Delta Z = 0.0025 * Z_0 + 0.0108 & (2.3) \end{cases}$$

- $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ : Sai số của trục X, Y, Z (mm)
- $X_0, Y_0, Z_0$ : Kích thước danh nghĩa (mm)

Hệ phương trình sai số (2.1-2.3) để áp dụng để tính sai số cho các kích thước cụ thể, rồi hiệu chỉnh kích thước trên bản vẽ thiết kế, sau đó in mẫu. Kết quả cho thấy (Hình 9) sai số của mẫu đã thỏa yêu

cầu về dung sai  $a = \pm 0.1$  mm.

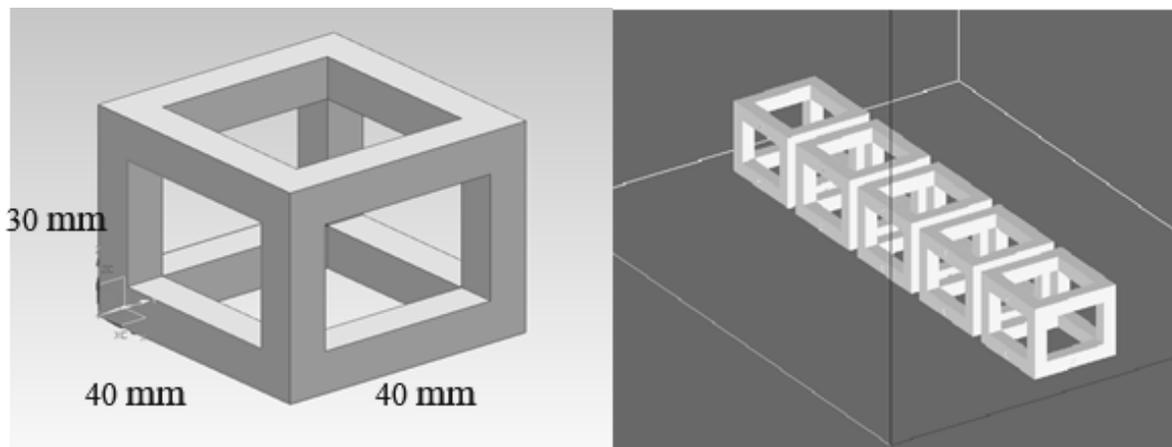


Hình 10. So sánh sai số trước và sau hiệu chỉnh với bề dày lớp in 0.0889 mm.  
Đường phía trên: trước hiệu chỉnh. Đường phía dưới: sau hiệu chỉnh.

### 3) Thẩm định kết quả

Để thẩm định về sự phân bố miền dung sai sau khi hiệu chỉnh, 5 mẫu hình lập phương rỗng với kích thước 40x40x30 mm và 5 mẫu hình lập phương

rỗng kích thước đã hiệu chỉnh ( $X = 39.5993, Y = 39.7670, Z = 29.7766$ ) được in với bề dày lớp in 0.0889 mm.

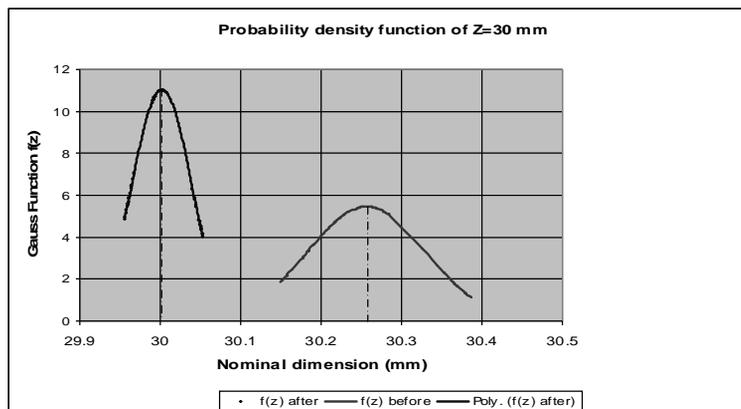
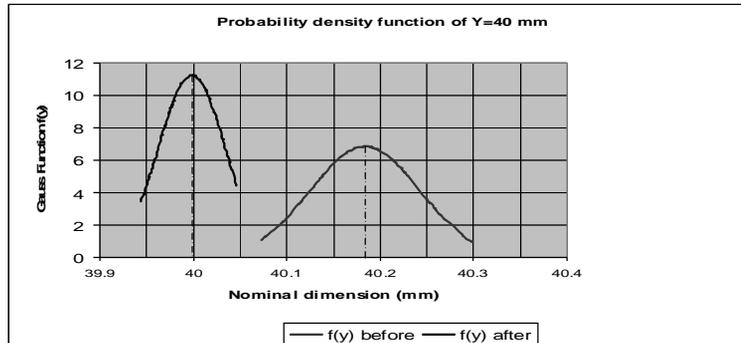
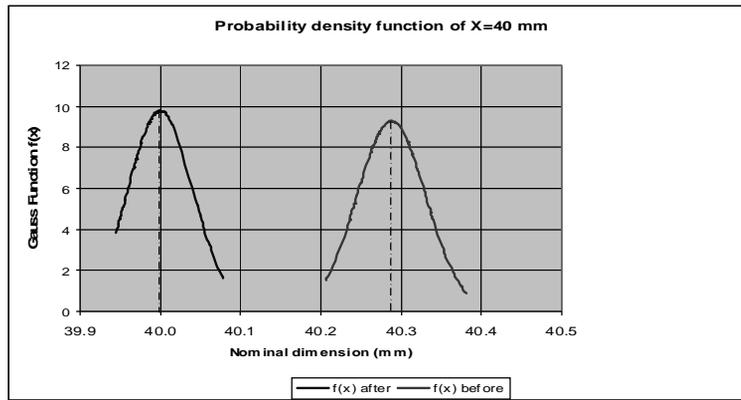


Hình 11. Mẫu in

Kết quả cho như Hình 12.

Từ hình 12, ta thấy sau hiệu chỉnh kích thước trên bản vẽ thiết kế thì sai số chế tạo E đã giảm về gần bằng không, nghĩa là giá trị trung bình của phân bố

kích thước đã được dịch chuyển về gần kích thước danh nghĩa, cho cả 3 trục. Dung sai cũng đã thỏa điều kiện đặt ra  $a = \pm 0.1$  mm.



Hình 12. Sự phân bố kích thước trước và sau hiệu chỉnh của 3 trục X, Y, Z.  
Đường bên trái: trước hiệu chỉnh. Đường bên phải: sau hiệu chỉnh.

### 3. KẾT LUẬN

Sau khi hiệu chỉnh tối ưu hóa các thông số của máy in, độ chính xác kích thước của mẫu in vẫn chưa đạt được mong muốn. Các sai nguyên nhân gây ra sai số có thể là do kết cấu truyền động cơ khí không chính xác, do rung động khi máy làm việc, do chất kết dính lan ra bên ngoài biên dạng cần in, do bề dày lớp in, do tốc độ in, ... Để khắc phục các nguyên nhân này, tác giả đưa ra phương pháp điều chỉnh trong khâu thiết kế tạo hình 3D. Để tính được sai số cho mọi kích thước danh

nghĩa trong khoảng từ 10 đến 100 mm, tác giả đã lập được phương trình sai số. Người sử dụng máy có thể sử dụng các phương trình này để tính sai số cho kích thước cụ thể, sau đó điều chỉnh trong thiết kế CAD để sau khi in có được mẫu đạt độ chính xác kích thước đặt ra ban đầu là  $\pm 0.1\text{mm}$ . Như vậy mục đích của thí nghiệm đã đạt và thỏa mãn độ chính xác đã đặt ra.

Đối với các chi tiết đặc hoặc có kích thước lớn hơn, sai số kích thước cũng sẽ lớn hơn, do vậy sẽ được tiếp tục nghiên cứu trong các báo cáo khác.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- C. K. Chua, et al. (2010), *Rapid Prototyping - Principles and Applications*, ISBN-13 978-981-277-897-0. World Scientific Publishing Co.
- D.T. Pham & S.S. Dimov, *Rapid Prototyping – A time compression tool*. Technology and Innovation, p.43-48.
- D.T. Pham and S.S. Dimov (2001), *Rapid Manufacturing: The Technologies and Applications of Rapid Prototyping and Rapid Tooling*, ISBN-13: 978-1-4471-1182-5. Springer.
- John A. Slotwinski, *Materials Standards for Additive Manufacturing*, PDES, Inc. Workshop March 14, 2013.
- Mitch Heynick and Ivo Stotz, *3D CAD, CAM and Rapid Prototyping*. LAPA Digital Technology Seminar - Workshop 1: Mai 10 & 11 2000.
- Wohlers report 2018.

### Abstract:

#### AN INVESTIGATION OF IMPROVING THE DIMENTION ACCURACY OF PARTS PRODUCED BY 3D-PRINING WITH SIZE FROM 10 TO 100 MM

*With the global competition for saving cost and time, Rapid Prototyping (RP) has emerged as a key enabling technology, with its ability to shorten product design and development time. Although RP has many advantages, it has also some disadvantages such as the accuracy of models or parts. Especially, the 3D-Printing method based on powder and binder has not very high accuracy in both dimension and surface finish. This work carries out an investigation of improving the accuracy of hollow parts in 3D printing for products with sizes from 10 to 100mm.*

**Keywords:** rapid prototyping, accuracy issue, 3D-Printing, dimensional accuracy, ZPrinter 310 Plus.

---

Ngày nhận bài: 08/8/2019

Ngày chấp nhận đăng: 12/9/2019