

# ẢNH HƯỞNG CỦA CÔNG SUẤT NGUỒN LASER ĐẾN ĐỘ ĐỒNG ĐỀU CHIỀU DÀY CHI TIẾT THÀNH MỎNG CHẾ TẠO BỞI CÔNG NGHỆ TẠO HÌNH BẰNG TIA LASER

Đoàn Tất Khoa\*, Hồ Việt Hải

*Khoa Cơ khí, Học viện Kỹ thuật quân sự, 236 Hoàng Quốc Việt, Hà Nội*

\*Email: doankhoactm@gmail.com

Đến Tòa soạn: 25/8/2014; Chấp nhận đăng: 1/4/2015

## TÓM TẮT

Trong công nghệ tạo hình bằng tia laser, các tham số công nghệ ảnh hưởng trực tiếp đến chất lượng sản phẩm. Bài báo nghiên cứu sự ảnh hưởng của công suất nguồn laser đến độ đồng đều chiều dày chi tiết thành mỏng. Sử dụng phương pháp phân tử hữu hạn mô phỏng trường nhiệt độ chi tiết thành mỏng, kết quả cho thấy nếu cố định công suất laser trong suốt quá trình tạo hình thì nhiệt độ vùng nóng chảy sẽ tăng theo chiều cao tạo hình, do đó làm tăng chiều dày thành mỏng theo độ cao. Muốn duy trì sự ổn định nhiệt độ của vùng nóng chảy ở một giá trị nhất định để đảm bảo sự đồng đều về chiều dày thành mỏng thì phải điều chỉnh công suất laser giảm dần theo chiều cao tạo hình. Thực nghiệm đo nhiệt độ vùng nóng chảy trong quá trình tạo hình cho kết quả phù hợp với kết quả mô phỏng, đồng thời xác định được quy luật điều chỉnh công suất nguồn laser theo độ cao tạo hình đã nâng cao được độ đồng đều về chiều dày chi tiết thành mỏng.

*Từ khóa:* công nghệ tạo hình bằng tia laser, vùng nóng chảy, trường nhiệt độ, thành mỏng.

## 1. GIỚI THIỆU

Công nghệ chế tạo sản phẩm sử dụng phương pháp thiêu kết trực tiếp bột kim loại bằng tia laser (Laser Direct Metal Forming, LDMF) là một trong những công nghệ tạo hình sản phẩm kim loại hiện đại hiện nay. Công nghệ này bắt đầu phát triển từ những năm 90 thế kỷ XX, là sự tích hợp của công nghệ laser, công nghệ điều khiển số (CNC), công nghệ máy tính, công nghệ vật liệu... sử dụng nguồn năng lượng laser thiêu kết bột kim loại tạo hình sản phẩm theo nguyên lý tạo hình từng lớp vật liệu (layer by layer) mà không cần sử dụng các dụng cụ cắt cũng như các loại đồ gá phức tạp. Công nghệ này sau đó được phát triển rất nhanh, được ứng dụng rộng rãi trong các lĩnh vực hàng không vũ trụ, công nghiệp ô tô, tàu thủy, quân sự và y học [1]. Ưu điểm vượt trội của công nghệ LDMF là khi tạo hình sản phẩm không phải quan tâm đến độ cứng của vật liệu; hoạt động trên nguyên lý sử dụng chùm tia laser năng lượng cao để làm nóng chảy bột kim loại theo từng đơn vị thể tích nhỏ. Sau khi chùm tia laser di chuyển sang vị trí khác thì vùng kim loại nóng chảy được kết tinh với tốc độ nguội cực nhanh, quá trình này tiếp tục cho đến khi hình thành xong một lớp vật liệu. Sau đó, quá trình được lặp lại để tạo hình lớp tiếp theo trên lớp

vật liệu vừa được tạo hình và kết thúc khi hoàn thành lớp cuối cùng của sản phẩm [2].

Công suất nguồn laser là một trong những tham số quan trọng cần điều khiển trong quá trình tạo hình. Nghiên cứu quy luật ảnh hưởng của công suất laser đến chất lượng sản phẩm có ý nghĩa rất quan trọng. Công suất nguồn laser ảnh hưởng trực tiếp đến nhiệt độ vùng nóng chảy khi tạo hình, do đó ảnh hưởng đến kích thước của lớp tạo hình [3]. Làm thế nào để tìm ra quy luật ảnh hưởng của công suất nguồn laser đến độ chính xác về kích thước lớp tạo hình, nâng cao chất lượng sản phẩm là một yêu cầu cấp thiết và có ý nghĩa thực tiễn. Xuất phát từ những khó khăn gặp phải trong quá trình tạo hình, tiến hành mô phỏng số trường nhiệt độ thành mỏng để tìm quy luật ảnh hưởng của công suất nguồn laser đến nhiệt độ vùng nóng chảy, từ đó định hướng thực nghiệm đo nhiệt độ thực tế vùng nóng chảy và sự ảnh hưởng của nó đến độ đồng đều về chiều dày thành mỏng, tiến hành điều chỉnh công suất nguồn laser để nâng cao độ đồng đều chiều dày thành mỏng.

## 2. MÔ PHỎNG SỐ TRƯỜNG NHIỆT ĐỘ CHI TIẾT TRONG CÔNG NGHỆ LDMF

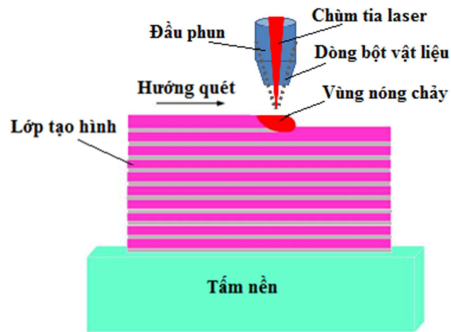
Sử dụng phần mềm phân tích phần tử hữu hạn ANSYS xây dựng mô hình ba chiều trường nhiệt độ tức thời của kết cấu thành mỏng trong công nghệ thiêu kết trực tiếp bột kim loại để tạo hình sản phẩm.

### 2.1. Mô hình phần tử hữu hạn

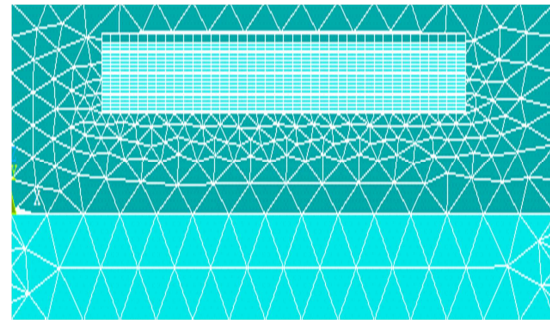
Trong quá trình tạo hình sản phẩm, muốn xác định chính xác quy luật thay đổi nhiệt độ theo thời gian kết cấu thành mỏng, phải thiết lập mô hình tính toán giống với quá trình tạo hình thực tế. Để thực hiện quá trình này, đề tài đã sử dụng kỹ thuật phân tích cao cấp “sinh tử phần tử” (Birth and Death Element) trong phần mềm ANSYS [4]. Hình 1 thể hiện nguyên lý của kỹ thuật “sinh tử phần tử” mô phỏng trường nhiệt độ trong quá trình hình thành kết cấu thành mỏng. Đầu tiên, khi chùm tia laser chưa hoạt động thì tất cả các phần tử tạo hình đều bị “giết chết”, khi chùm tia laser quét đến các vị trí có phần tử bị “giết chết” thì các phần tử này sẽ được kích hoạt. Do đó, thông qua kỹ thuật “sinh tử phần tử” trong phần mềm ANSYS có thể xây dựng được mô hình tính toán trường nhiệt độ của chi tiết thành mỏng giống như quá trình tạo hình thực tế.

Đối với mô hình ba chiều của kết cấu thành mỏng, để có thể xác định chính xác quy luật phân bố trường nhiệt độ của chi tiết, yêu cầu kích cỡ chia lưới phần tử phải tương đối nhỏ để đạt được độ chính xác tính toán. Nhưng để tránh hiện tượng chia lưới quá nhỏ, dẫn đến thời gian tính toán quá dài, khi chia lưới phần tử hữu hạn, trong vùng vật liệu tạo hình chọn phương pháp chia lưới rất nhỏ, các vùng khác trong mô hình chọn phương pháp chia lưới tương đối thô, sử dụng phần tử nhiệt sáu mặt tám tiết điểm SOLID70 như thể hiện trong Hình 2. Vật liệu nền là hợp kim chịu nhiệt DZ125L dạng tấm, kích thước 50×20×5 mm, vật liệu tạo hình cũng là hợp kim chịu nhiệt DZ125L dạng bột. Thành phần và các đặc tính nhiệt vật lý của vật liệu thể hiện trong Bảng 1, Bảng 2 [5]; kích thước thành mỏng là 20×0,5×4 mm, kết cấu có 20 lớp, chiều dày mỗi lớp là 0,2 mm. Tham số công nghệ thể hiện trong Bảng 3.

Ảnh hưởng của công suất nguồn laser đến độ đồng đều chiều dày chi tiết thành mỏng chế tạo ...



Hình 1. Sơ đồ nguyên lý công nghệ LMDF.



Hình 2. Mô hình phần tử hữu hạn.

Bảng 1. Thành phần vật liệu hợp kim chịu nhiệt DZ125L (%).

C	Cr	Co	Mo	W	Al	Ti	Ta	B	Ni
0,09	9,70	9,64	2,18	7,14	4,90	3,12	3,78	0,015	Cân bằng

Bảng 2. Đặc tính nhiệt vật lý của hợp kim chịu nhiệt DZ125L.

Nhiệt độ °C	Hệ số giãn nở 1/°C	Mật độ kg/m <sup>3</sup>	Hệ số truyền nhiệt W/°C	Nhiệt dung riêng J/kg °C	Hệ số Poisson
20	1,48×10 <sup>-5</sup>	8230	8	350	0,33
200	1,52×10 <sup>-5</sup>	8230	9,67	385	0,33
400	1,56×10 <sup>-5</sup>	8230	13,44	456	0,33
600	1,62×10 <sup>-5</sup>	8230	16,79	498	0,33
800	1,69×10 <sup>-5</sup>	8230	19,63	506	0,34
1000	1,75×10 <sup>-5</sup>	8230	19,43	473	0,35
1100	1,80×10 <sup>-5</sup>	8230	19,00	443	0,35

Bảng 3. Tham số công nghệ.

Công suất laser (W)	Tốc độ quét (mm/s)	Tốc độ cấp bột (g/phút)	Bán kính chùm tia laser (mm)
230	10	6,5	0,5

**2.2. Mô hình nguồn nhiệt và điều kiện biên cho trường nhiệt độ**

### 2.2.1. Các giả thiết

- Tốc độ tạo hình và tốc độ quét của chùm tia laser giống nhau;
- Nhiệt độ môi trường (nhiệt độ trong phòng thí nghiệm) là 20°C;
- Điều kiện biên là truyền nhiệt đối lưu và bức xạ nhiệt;
- Nhiệt độ của vùng nóng chảy là nhiệt độ do năng lượng nguồn laser sinh ra.

### 2.2.2. Phương trình điều khiển

Đặc điểm của công nghệ thiêu kết trực tiếp bột kim loại bằng tia laser là tốc độ gia nhiệt làm nóng chảy bột kim loại rất nhanh, sau khi chùm tia laser di chuyển đi thì vùng kim loại nóng chảy cũng được làm nguội và kết tinh với tốc độ cực nhanh, điều đó làm cho nhiệt độ của chi tiết và các đặc tính nhiệt vật lý của vật liệu thay đổi với tốc độ rất nhanh. Do đó truyền nhiệt trong công nghệ LDMF thuộc loại truyền nhiệt tức thời phi tuyến tính. Phương trình cân bằng năng lượng như sau [6]:

$$\rho C \frac{\partial T}{\partial t} = Q + \frac{\partial}{\partial x} (K_x \frac{\partial T}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (K_y \frac{\partial T}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (K_z \frac{\partial T}{\partial z}) \quad (1)$$

trong đó:

$K_x, K_y, K_z$  - hệ số truyền nhiệt theo các hướng x,y,z / W·(m·K)<sup>-1</sup>;

Q - hiệu suất sinh nhiệt trong một đơn vị thể tích / W·m<sup>-3</sup>;

$\rho$  - mật độ vật liệu / kg·m<sup>-3</sup>;

C - nhiệt dung riêng của vật liệu / J·kg·K<sup>-1</sup>;

t - thời gian / s.

### 2.2.3. Điều kiện biên

- Điều kiện biên ban đầu của hệ thống:

$$T(x, y, z, t)_{t=0} = T_0 \quad (2)$$

trong đó:

$T_0$  - nhiệt độ ban đầu là 20°C.

- Điều kiện biên đối lưu:

$$q_d = h(T_s - T_0) \quad (3)$$

trong đó:

h - hệ số đối lưu / W·m<sup>-2</sup>·°C<sup>-1</sup>;

$T_s$  - nhiệt độ tức thời / °C;

$T_0$  - nhiệt độ môi trường xung quanh.

- Điều kiện biên bức xạ:

$$q_r = \varepsilon \sigma (T_s^4 - T_0^4) \quad (4)$$

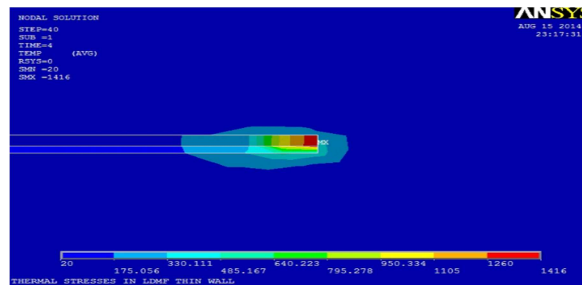
trong đó:

$\varepsilon$  - công suất bức xạ / W·m<sup>-2</sup>·sr<sup>-1</sup>;

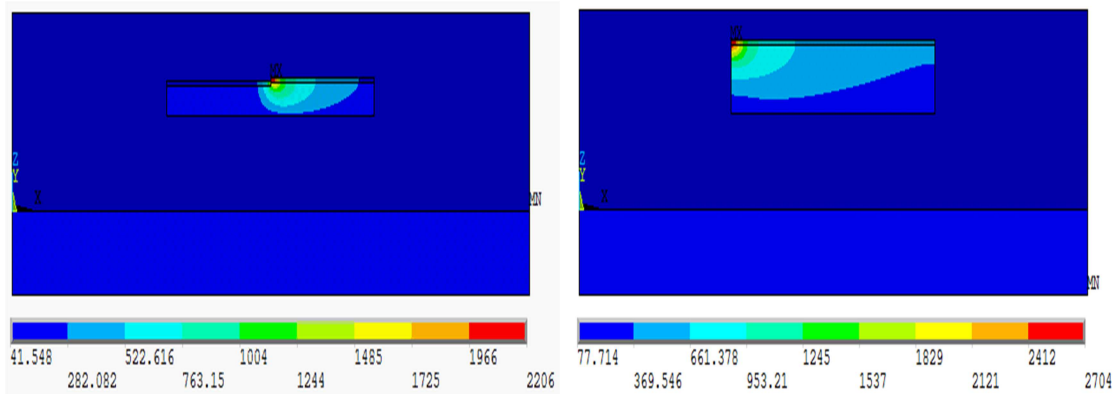
$\sigma$  - hệ số Stephen Boltzmann / (5.67×10<sup>-8</sup>) W·m<sup>-2</sup>·K<sup>-4</sup>.

### 2.3. Kết quả tính toán và phân tích

Hình 3 thể hiện trường nhiệt độ thành mỏng tại các thời điểm khác nhau. Hình 3(a) là hình ảnh trường nhiệt độ tại thời điểm khi kết thúc lớp thứ nhất (thời gian tạo hình 1 lớp là 2s, dừng 1s để nâng đầu quét laser lên, tổng thời gian tạo hình 1 lớp là 3s), trên hình có thể thấy trạng thái của trường nhiệt độ là trạng thái “động”, tức là nhiệt độ thay đổi theo sự di chuyển của chùm tia laser. Hình 3(b) thể hiện trường nhiệt độ tại thời điểm tạo hình ½ lớp thứ 10, trên hình cho thấy nhiệt độ vùng nóng chảy rất cao, khoảng 2200 °C (lớn hơn nhiệt độ nóng chảy của vật liệu 1450 °C). Hình 3(c) thể hiện trường nhiệt độ ở thời điểm kết thúc lớp thứ 20, lúc này nhiệt độ của thành mỏng đã tăng lên 2700 °C và nhiệt độ tấm nền cũng đã tăng lên đáng kể.



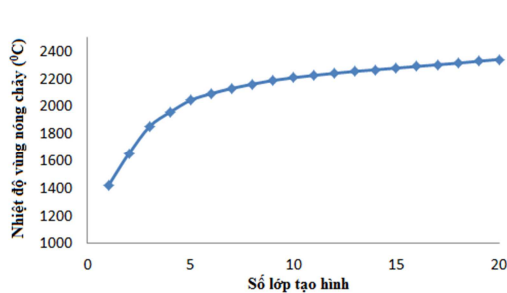
(a) Kết thúc lớp 1



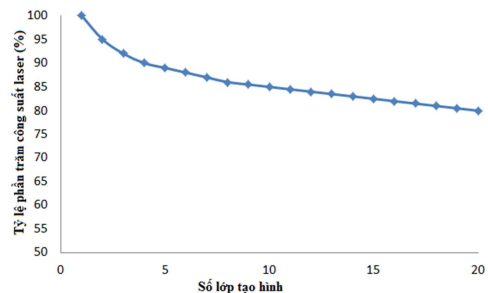
(b) Giữa lớp thứ 10

(c) Kết thúc lớp 20

Hình 3. Sự thay đổi nhiệt độ thành mỏng tại các thời điểm khác nhau.



Hình 4. Sự thay đổi nhiệt độ vùng nóng chảy theo số lớp tạo hình.



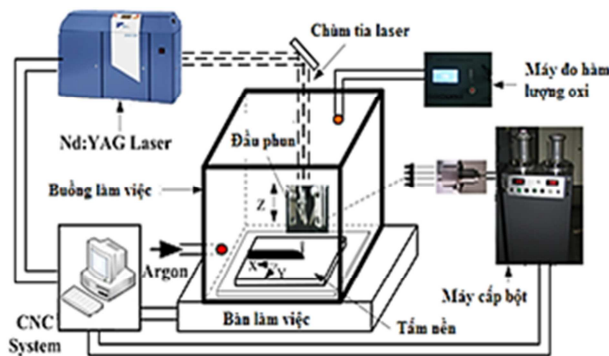
Hình 5. Sự thay công suất nguồn laser theo số lớp tạo hình khi giữ nguyên nhiệt độ vùng nóng chảy.

Hình 4 thể hiện sự thay đổi nhiệt độ từ lớp thứ nhất đến lớp thứ hai mươi khi giữ nguyên công suất nguồn laser ở giá trị 230 W, kết quả cho thấy nhiệt độ vùng nóng chảy tăng dần theo số lớp tạo hình, từ lớp 1 đến lớp thứ 5 nhiệt độ tăng nhanh, sau đó mức độ tăng nhỏ dần và có xu hướng ổn định. Đó là do khi mới bắt đầu tạo hình, nhiệt độ tấm nền thấp (bằng nhiệt độ môi trường 20 °C), tốc độ truyền nhiệt của vùng nóng chảy xuống tấm nền rất cao, do đó mà nhiệt độ vùng nóng chảy ở lớp đầu tiên thấp (1400 °C). Khi tạo hình các lớp tiếp theo, vùng nóng chảy truyền nhiệt trực tiếp xuống lớp vừa mới tạo hình xong (có nhiệt độ cao hơn nhiệt độ tấm nền), do đó mà nhiệt độ vùng nóng chảy ở các lớp tiếp theo càng ngày càng tăng theo độ cao tạo hình. Đến một số lớp nhất định sự tích lũy nhiệt độ ở các lớp phía dưới đạt đến một giá trị nhất định, do đó nhiệt độ vùng nóng chảy ở các lớp tiếp theo dần đạt đến trạng thái ổn định, không tăng được nữa. Một nghiên cứu chỉ ra rằng kích thước vùng nóng chảy phụ thuộc vào nhiệt độ vùng nóng chảy [7], do đó trong quá trình tạo hình cần phải giữ cho nhiệt độ vùng nóng chảy luôn ổn định ở một khoảng giá trị nhất định để đảm bảo chất lượng sản phẩm tạo hình. Dựa vào quy luật thay đổi nhiệt độ vùng nóng chảy theo chiều cao chi tiết mà điều chỉnh công suất nguồn laser sao cho nhiệt độ vùng nóng chảy ở các lớp luôn ổn định ở một giá trị nhất định. Hình 5 thể hiện quy luật thay đổi công suất nguồn laser khi giữ nguyên nhiệt độ vùng nóng chảy ở giá trị 1650 °C. Từ Hình 5 có thể thấy, khi tạo hình lớp đầu tiên giữ công suất nguồn laser ở một giá trị nhất định, sau đó giảm dần công suất laser ở các lớp tiếp theo, đến một số lớp nhất định giữ công suất nguồn laser ở trạng thái ổn định. Có như thế mới đảm bảo được nhiệt độ vùng nóng chảy ở các lớp luôn ổn định.

### 3. THÍ NGHIỆM

#### 3.1. Phương pháp thí nghiệm

Thiết bị thí nghiệm như thể hiện trên hình 6, bao gồm: nguồn phát chùm tia laser Nd:YAG, số hiệu JK1002SM-Anh, công suất 1 kW; tiêu cự 160 mm, đường kính hội tụ chùm laser 0,5 mm; máy cấp bột kim loại số hiệu DSPF-2; đầu phun cấp bột; hệ thống điều khiển CNC 3 trục; hệ thống cấp khí trơ Argon và một số thiết bị trợ giúp khác.



(a) Sơ đồ nguyên lý

(b) Thiết bị thí nghiệm

Hình 6. Sơ đồ nguyên lý và thiết bị thí nghiệm.

Vật liệu thí nghiệm: tấm nền sử dụng loại hợp kim chịu nhiệt DZ125L dạng tấm, kích thước 70×20×5 mm; vật liệu tạo hình sử dụng hợp kim chịu nhiệt DZ125L dạng bột, thành phần hóa học vật liệu hợp kim chịu nhiệt DZ125L như Bảng 2 thể hiện, chi tiết thành mỏng kích thước 50×0,5×10 mm (100 lớp). Tham số công nghệ sơ bộ như Bảng 3 thể hiện.

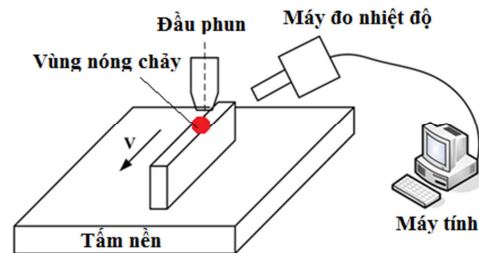
## Ảnh hưởng của công suất nguồn laser đến độ đồng đều chiều dày chi tiết thành mỏng chế tạo ...

Đầu tiên tạo hình chi tiết thành mỏng với điều kiện công suất nguồn laser không đổi là 230 W, trong quá trình tạo hình sử dụng thiết bị đo nhiệt độ hồng ngoại (SC7000 - hãng FLIR – Thụy điển) để đo nhiệt độ vùng nóng chảy trong quá trình tạo hình, xác định quy luật thay đổi nhiệt độ vùng nóng chảy theo số lớp tạo hình, sơ đồ đo như Hình 7 thể hiện. Sau đó cắt chi tiết thành các mẫu nhỏ để đo sự thay đổi về chiều dày chi tiết theo độ cao.

Sau khi xác định quy luật ảnh hưởng của công suất nguồn laser đến sự thay đổi chiều dày chi tiết tiến hành thí nghiệm với điều kiện công suất laser thay đổi theo chiều cao tạo hình, kiểm tra độ đồng đều về chiều dày chi tiết theo chiều cao thành mỏng.



(a) Máy đo nhiệt độ SC7000

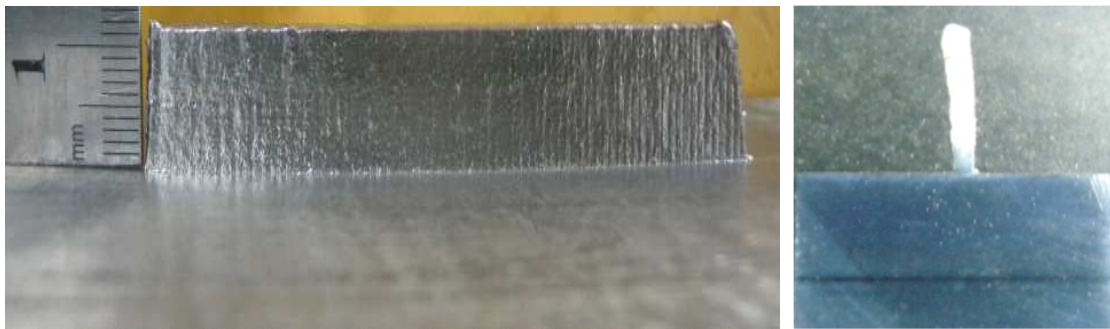


(b) Sơ đồ đo

Hình 7. Sơ đồ đo nhiệt độ vùng nóng chảy.

### 3.2. Kết quả thí nghiệm và phân tích

Hình 8 thể hiện chi tiết thành mỏng tạo hình khi không thay đổi công suất laser trong suốt quá trình tạo hình, Hình 8(a) thể hiện hình dáng mặt bên thành mỏng, Hình 8(b) thể hiện hình dáng mặt cắt ngang thành mỏng theo phương vuông góc với phương quét chùm laser.

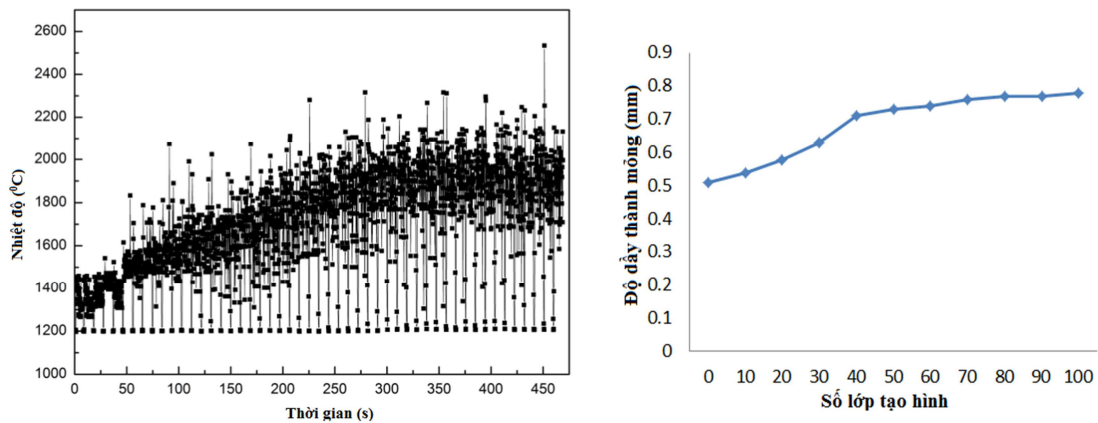


(a) Chi tiết thành mỏng

(b) Mặt cắt ngang vuông góc hướng quét

Hình 8. Chi tiết thành mỏng tạo hình khi không thay đổi công suất laser.

Sử dụng thiết bị đo nhiệt độ hồng ngoại để đo nhiệt độ vùng nóng chảy trong 50 lớp đầu tiên, sự thay đổi nhiệt độ vùng nóng chảy như Hình 9(a) thể hiện, Hình 9(b) thể hiện sự thay đổi về chiều dày thành mỏng theo chiều cao tạo hình.



(a) Sự thay đổi nhiệt độ vùng nóng chảy

(b) Sự thay đổi chiều dày theo chiều cao

Hình 9. Sự thay đổi nhiệt độ vùng nóng chảy và chiều dày thành mỏng khi không thay đổi công suất laser.

Từ Hình 9(a) có thể thấy, từ khi bắt đầu đến khoảng thời gian 300 s (tức là khoảng lớp thứ 30) nhiệt độ vùng nóng chảy có xu hướng tăng từ khoảng 1400 °C đến khoảng 1800 °C, sau đó nhiệt độ vùng nóng chảy dao động ở biên độ rất nhỏ, có thể nói là ở trạng thái “ổn định”, điều kiện truyền nhiệt cũng đạt đến trạng thái “ổn định”, do đó mà nhiệt độ vùng nóng chảy ổn định ở vùng khoảng 1800 °C. Mặt khác trên Hình 9(b) có thể thấy độ rộng thành mỏng từ lớp thứ nhất đến lớp thứ 40 tăng dần từ 0,51 mm đến khoảng 0,7 mm, sau đó chiều dày ổn định hoặc tăng rất chậm. So sánh hai trạng thái tăng nhiệt độ vùng nóng chảy và trạng thái tăng chiều dày thành mỏng phù hợp với nhau.

Khi tạo hình trong điều kiện công suất laser không thay đổi trong suốt quá trình thì nhiệt độ vùng nóng chảy tăng dần, khi đó xảy ra hiện tượng sức căng bề mặt nhỏ hơn trọng lực, dẫn đến vật liệu nóng chảy tràn sang hai bên trước khi kết tinh làm tăng độ rộng vùng nóng chảy, do đó độ dày thành mỏng tăng theo chiều cao của thành mỏng, ảnh hưởng nghiêm trọng đến độ chính xác kích thước thành mỏng. Để bảo đảm sự đồng đều về chiều dày thành mỏng trên suốt chiều cao thì bắt buộc phải điều khiển công suất nguồn laser hợp lí để đảm bảo sự ổn định về nhiệt độ vùng nóng chảy trong suốt quá trình tạo hình.

Dựa trên kết quả thực nghiệm cho thấy, đối với vật liệu hợp kim chịu nhiệt DZ125L, khi nhiệt độ vùng nóng chảy ổn định ở khoảng 1650 °C thì đảm bảo tốt độ đồng nhất về hình dáng, kích thước vùng nóng chảy [8]. Do đó, các thí nghiệm thiết đặt mục tiêu điều khiển công suất nguồn laser để luôn duy trì nhiệt độ vùng nóng chảy ở khoảng 1650 °C, tìm ra mối quan hệ giữa công suất nguồn laser và chiều cao thành mỏng (số lớp tạo hình). Dựa vào tín hiệu đo được của thiết bị đo nhiệt hồng ngoại làm cơ sở điều chỉnh công suất nguồn laser, đảm bảo nhiệt độ vùng nóng chảy luôn ổn định ở khoảng nhiệt độ trên. Mối quan hệ giữa công suất nguồn laser với số lớp tạo hình được xác định theo công thức 5.

$$P_i = P_0 \alpha_i \quad (5)$$

trong đó:

$P_i$  – công suất nguồn laser sử dụng ở lớp thứ  $i$  ( $2 \leq i \leq 40$ )/ W;

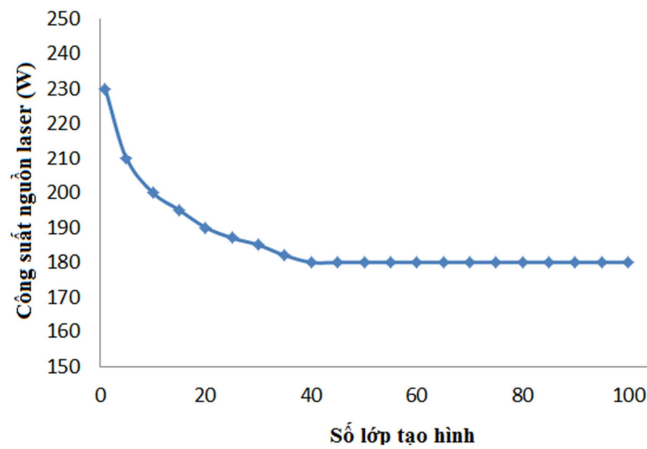
$P_0$  – công suất nguồn laser ở lớp đầu tiên/ W;

$\alpha_i$  – hệ số thay đổi nguồn laser theo số lớp  $i$ , ( $0,8 \leq \alpha_i \leq 1$ , khi số lớp  $i$  thay đổi từ 1 đến 40 thì hệ số  $\alpha_i$  giảm dần từ 1 đến 0,8. Sau đó giữ nguyên khi tạo hình các lớp tiếp theo).



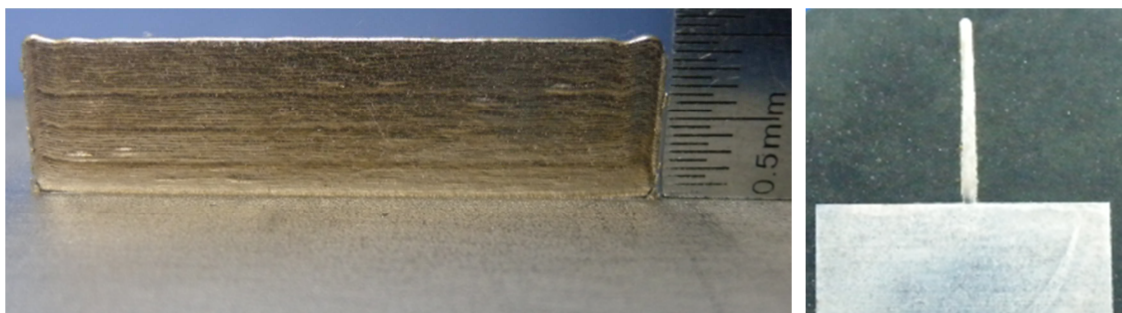
Ảnh hưởng của công suất nguồn laser đến độ đồng đều chiều dày chi tiết thành mỏng chế tạo ...

Hình 10 thể hiện mối quan hệ giữa công suất nguồn laser với số lớp tạo hình để duy trì nhiệt độ vùng nóng chảy ở khoảng 1650 °C.



Hình 10. Sự thay đổi công suất laser theo chiều cao thành mỏng để đảm bảo sự ổn định nhiệt độ vùng nóng chảy.

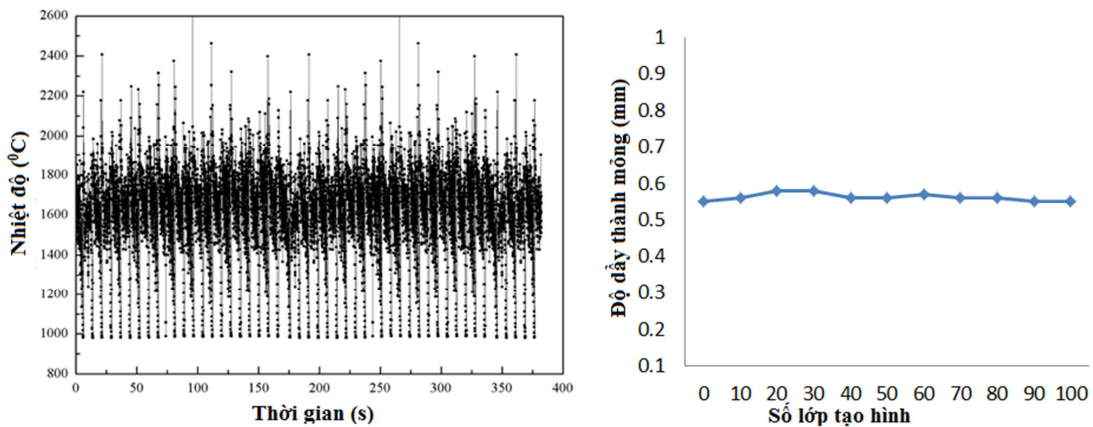
Tiến hành thí nghiệm tạo hình thành mỏng khi thiết đặt công suất laser thay đổi theo quy luật trên, kết quả đạt được chi tiết thành mỏng như Hình 11 thể hiện. Trong quá trình tạo hình sử dụng thiết bị đo nhiệt hồng ngoại để đo nhiệt độ vùng nóng chảy, kết quả thể hiện như Hình 12(a), từ hình có thể thấy nhiệt độ vùng nóng chảy luôn ổn định ở nhiệt độ khoảng 1650 °C. Sử dụng kính hiển vi điện tử quan sát hình ảnh mặt cắt ngang thành mỏng theo phương vuông góc với phương quét laser, kết quả như Hình 12(b) thể hiện. Từ Hình 12(b) có thể thấy chiều dày thành mỏng tương đối đồng đều trên toàn chiều cao, ổn định ở giá trị khoảng 0,56 mm. Do đó, sử dụng phương pháp thay đổi công suất nguồn laser theo quy luật hợp lí có thể giải quyết được vấn đề không đồng đều về chiều dày thành mỏng trong quá trình tạo hình, nâng cao được chất lượng sản phẩm.



(a) Chi tiết thành mỏng

(b) Mặt cắt ngang

Hình 11. Chi tiết thành mỏng tạo hình trong điều kiện thay đổi công suất laser theo chiều cao.



(a) Sự thay đổi nhiệt độ vùng nóng chảy (b) Sự thay đổi chiều dày theo chiều cao  
 Hình 12. Sự thay đổi nhiệt độ vùng nóng chảy và chiều dày thành mỏng khi thay đổi công suất laser theo chiều cao.

#### 4. KẾT LUẬN

Thông qua mô phỏng số và thực nghiệm đo nhiệt độ vùng nóng chảy chi tiết thành mỏng trong suốt quá trình tạo hình trong công nghệ LDMF cho thấy:

- 1) Khi giữ không đổi công suất nguồn laser trong suốt quá trình tạo hình thì nhiệt độ vùng nóng chảy tăng theo độ cao chi tiết thành mỏng và đạt đến trạng thái ổn định khi chiều cao thành mỏng đạt đến một giá trị nhất định, do đó làm cho chiều dày thành mỏng cũng tăng dần theo chiều cao.
- 2) Khi giảm dần công suất nguồn laser theo số lớp tạo hình theo một quy luật hợp lý sẽ giữ cho nhiệt độ vùng nóng chảy ổn định trong suốt quá trình tạo hình và do đó đảm bảo được độ đồng đều về chiều dày thành mỏng.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Chua C. K., Leong K. F., and Lim C. S. - Rapid prototyping Principle and Applications, World Scientific, Singapore, 2003, pp. 178.
2. Kathuria Y. P. - Some aspects of laser surface cladding in the turbine industry, Surface and Coatings Technology **132** (2000) 262-269.
3. LeiWang and ShuaiWang - Effects of precipitated phases on the crack propagation behaviour of a Ni-based superalloy, International Journal of Fatigue **62** (2014) 210-216.
4. Hao Nanhai, Lu Wei and Zuo TieZhuan - Thermal mechanical coupling FAE of temperature field in Laser cladding process, Surface technology **6** (2004) 10-14.
5. Zhou C., Wang N., and Xu H. - Comparison of thermal cycling behavior of plasma-sprayed nanostructured and traditional thermal barrier coatings, Materials Science and Engineering **452** (2007) 569-574.
6. White F. M. - Heat transfer, Addison-Wesley Publishing Company, England, 1984, pp. 588.

7. Lu Z. L., and Li D. C. - Investigation into the direct laser forming process of steam turbine blade, *Optics and Lasers in Engineering* **49** (2011) 1101-1110.
8. He bin., and Li D. C. - Influence of scanning pattern on the edge collapse of solid parts in laser metal direct forming, *Optics & Laser Technology* **48** (2013) 171-177.

### ABSTRACT

#### THE EFFECT OF LASER POWER ON THE UNIFORM THICKNESS OF THE THIN-WALL PART FABRICATED BY THE LASER DIRECT METAL FORMING TECHNOLOGY

Doan Tat Khoa<sup>\*</sup>, Ho Viet Hai

*Military Technical Academy, 236 Hoang Quoc Viet, Tu Liem Dist., Hanoi, Vietnam*

<sup>\*</sup>Email: [doankhoactm@gmail.com](mailto:doankhoactm@gmail.com)

To discuss the effect of laser power on the uniform thickness of the thin-wall part fabricated by the Laser Direct Metal Forming (LDMF), the temperature field distribution was calculated by numerical simulation. The numerical results showed that the molten pool temperature and thickness of the thin-wall increases with the layer number when keeping laser power. In order to achieve a steady temperature distribution surrounding the molten pool, the laser power must be adjusted for each layer. According to the numerical results, the thin-wall part was fabricated by experiments. The experimental results show that the laser power should be changed with the layer number if a uniform thickness of the thin-wall part can be obtained, which is in agreement with the numerical simulation.

*Keywords:* laser direct metal forming (LDMF), molten pool, temperature field, thin-wall part.